



ІІТМО

XII **КОНГРЕСС
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ
ТРУДОВ**



 **ТОМ 3**

**Санкт-Петербург
2023 г.**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

XII Конгресс молодых ученых
Сборник научных трудов

Том 3

ИТМО

Санкт-Петербург
2023

УДК 004, 063, 065, 504

ББК 20, 32, 40

ХII Конгресс молодых ученых. Сборник научных трудов. Том 3. – СПб.: Университет ИТМО, 2023. – 500 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на ХII Конгрессе молодых ученых по тематикам: исследования в области инфохимии для решения прикладных и фундаментальных задач биоанализа и химической технологии, компьютерная графика, мультимедиа и интерфейсы, нейротехнологии и программная инженерия, цифровые технологии в производстве, компьютерные и кибер-физические системы, сети и технологии, построения математических, прогностических и компьютерных моделей для решения ряда прикладных и фундаментальных задач науки и производства, химия функциональных наноматериалов и систем, индустриальная экология и экологическая и техносферная безопасность.

ISBN 978-5-7577-0699-3

ISBN 978-5-7577-0702-0 (Том 3)

The logo for ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'I' is stylized with a dot above it.

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). Представлен в мировом ТОП-200 по телекоммуникационным технологиям (Telecommunication engineering), а также в ТОП-300 по нанонаукам и нанотехнологиям (Nanoscience & Nanotechnology) ARWU. Входит в ТОП-200 по инженерным наукам (Engineering and Technology), в ТОП-300 по физике и астрономии (Physics & Astronomy), наукам о материалах (Materials Sciences), а также по машиностроению, аэрокосмической и промышленной инженерии (Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering) рейтинга QS. Лидер проекта «Приоритет – 2030».

© Университет ИТМО, 2023

© Авторы, 2023

Редакционная коллегия сборника научных трудов

Тематика исследования в области инфохимии для решения прикладных и фундаментальных задач биоанализа и химической технологии

Председатель – Скорб Е.В. доктор химических наук, заведующий лабораторией интеллектуальных технологий в инфохимии.

Масалович М.С. кандидат химических наук, доцент научно-образовательного центра инфохимии.

Муравьев А.А. кандидат химических наук, доцент научно-образовательного центра инфохимии.

Орлова Т. PhD, физико-математические науки, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра инфохимии.

Тематики компьютерная графика, мультимедиа и интерфейсы, нейротехнологии и программная инженерия, цифровые технологии в производстве, компьютерные и кибер-физические системы, сети и технологии

Председатель – Бобцов А.А. доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета компьютерных технологий и управления.

Андреев Ю.С. кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета систем управления и робототехники.

Заколдаев Д.А. кандидат технических наук, доцент, декан факультета безопасности информационных технологий

Кустарев П.В. кандидат технических наук, декан факультета программной инженерии и компьютерной техники.

Пыркин А.А. доктор технических наук, профессор, декан факультета систем управления и робототехники.

Тематика химия функциональных наноматериалов и систем

Председатель – Назарова Е.А. кандидат химических наук, заведующий лабораторией научно-образовательного центра химического инжиниринга и биотехнологий.

Кривошапкин П.В. доцент, доктор химических наук, директор научно-образовательного центра химического инжиниринга и биотехнологий.

Кривошапкина Е.Ф. доктор химических наук, заведующий лабораторией прикладных материалов для энергетики.

Морозов Н.А. кандидат химических наук, научный сотрудник лабораторией прикладных материалов для энергетики.

Тематика построения математических, прогностических и компьютерных моделей для решения ряда прикладных и фундаментальных задач науки и производства

Председатель – Трифанов А.И. кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра математики.

Бабушкин М.В., кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра математики.

Москаленко М.А. кандидат физико-математических наук, руководитель научно-образовательного центра математики.

Попков Р.А. кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра математики.

Попов Е.Н. кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра математики.

Правдин К.В. кандидат технических наук, преподаватель научно-образовательного центра математики.

Тематики индустриальная экология и экологическая и техносферная безопасность

Председатель – Тамбулатова Е.В. кандидат технических наук, декан факультета экотехнологий.

Кустикова М.А. кандидат технических наук, доцент факультета экотехнологий.

Сергиенко О.И. кандидат технических наук, доцент, доцент факультета экотехнологий.

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на ХII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО, проходившего с 3 по 6 апреля 2023 года, по тематикам: исследования в области инфохимии для решения прикладных и фундаментальных задач биоанализа и химической технологии, компьютерная графика, мультимедиа и интерфейсы, нейротехнологии и программная инженерия, цифровые технологии в производстве, компьютерные и кибер-физические системы, сети и технологии, построения математических, прогностических и компьютерных моделей для решения ряда прикладных и фундаментальных задач науки и производства, химия функциональных наноматериалов и систем, индустриальная экология и экологическая и техносферная безопасность.

Конгресс проводится ежегодно с 2004 года в целях стимулирования научно-технической деятельности молодых ученых, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня магистерских диссертаций и апробации выпускных квалификационных работ бакалавров и специалистов за 2023/2024 учебный год, а также в целях привлечения талантливых специалистов из высших учебных заведений в научные лаборатории Университета ИТМО, ознакомления с достижениями молодых ученых как профессионалов в различных отраслях, развития сотрудничества и привлечения абитуриентов в магистратуру и аспирантуру Университета ИТМО, совершенствования качества подготовки квалифицированных кадров, создания условий для развития научного творчества обучающейся молодежи, интеграции их в научно-технологичное пространство.

В рамках Конгресса молодых ученых Университета ИТМО проходят заседания секций, круглых столов с участием молодых ученых, выставка разработок молодых ученых.

ИНФОРМИЯ

**DEVELOPMENT OF A GENETICALLY ENGINEERED
SYSTEM FOR BACTOFECTION BASED ON PROBIOTIC STRIAN
ESCHERICHIA COLI NISSLE 1917**

Nairouz Deeb¹ (1st year PhD Student), **Georgy Otinov**¹ (2nd year PhD Student), **Al-Abbass Mohamed**¹ (2nd yesr Master's Student)

Thesis supervisor - candidate of biological sciences, associate professor - Koshel E.I.¹

1 – Laboratory of Solution Chemistry of Advanced Materials and Technologies,
ITMO University
e-mail: nairouz.deeb@gmail.com

The work was performed within the framework of practice-oriented research and development (R&D) financed from the centralized funds of ITMO University.

Annotaion

Conventional anti-tumor therapy approaches face numerous difficulties, including the difficulty to penetrate deep tumor tissue, toxicity to normal cells (lack of targeting), and cells eventually developing drug resistance. However, there is growing interest in using living, genetic modified bacteria as carriers for genetic material and therapeutic drugs. Probiotic bacteria can be manipulated using genetic engineering methods to have the ability to penetrate eukaryotic cells and deliver genetic material. Thus, the probiotic chosen for this study is *E. coli* Nissle 1917 (EcN).

Keywords

Bactofection, Cancer therapy, Drug delivery, ECN, Inv, Hly.

Introduction

"The process of active transfer of genetic material into mammalian cells via bacteria" is known as Bactofection [1], and throughout the previous years, *Salmonella* and *Listeria* were used in most studies for their ability to invade eukaryotic cells. Pathogenic bacteria must be modified and attenuated to become a human-applicable delivery system. A safer and more straightforward approach would be to use probiotic bacteria that can be modified using genetic engineering tools. The probiotic chosen for this study to develop is *E. coli* Nissle 1917 (EcN), a gram-negative enterobacterium bacterium which numerous studies have shown its ability to colonize tumor tissue in favor to healthy tissue due to the properties of its K5 capsule [2]. With the addition of two genes from two pathogenic. *Inv* from *Yersinia enterocolitica* which will give EcN the ability to attach to the surface of eukaryotic cells by binding to the Fc receptors in a higher affinity than the natural ligand [3], and *hly* from *Listeria monocytogenes*, which will ensure the bacteria escape from the phagosome and reach the cytosol by encoding Listeriolysin O (LLO) which prevents the fusion between the phagosome and the lysosome [4]. The system ensures that the carrier bacteria, adhere to the cell (avoids immune system eradication), invade the host cell with high efficiency, and then lysate thus releasing the carried genetic material into the host cytosol. With the ability to control payloads, targeting, and side effects, bacteria are the better choice as a controlled system that interacts with the tumor microenvironment. Thus, we can deduce that bacteriotherapy shows more promise than conventional cancer therapy, which is still lacking in many aspects (diverse side effects on normal tissue, inability to penetrate solid tumors (fig. 1).

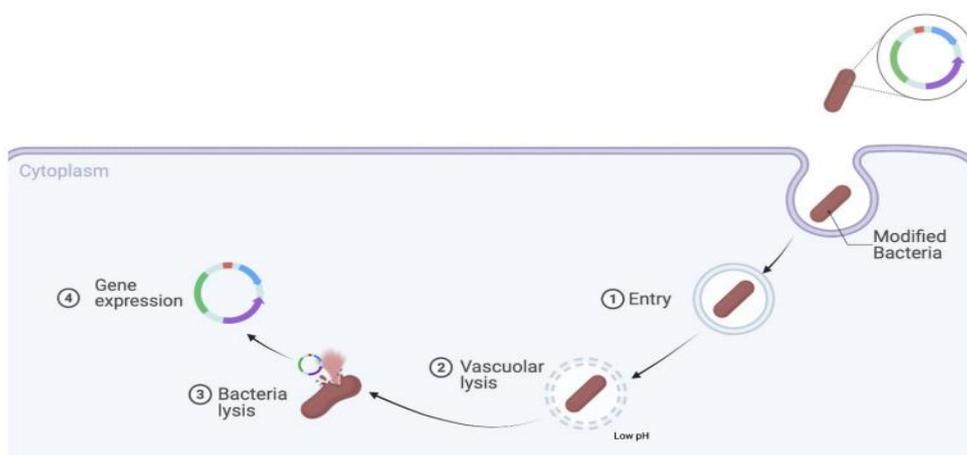


Fig. 1. A schematic illustration of *E. coli* Nissle 1917 Bactofection system, showing the multiple stages required for efficient delivery. 1) bacteria entering the cell into a double-membrane vacuole, 2) Bacteria escaping the vacuole, 3) bacteria going through lysis, 4) expression of delivered genetic material

Main part

Delivery levels of EcN carrying pAL:Ptrp-*inv*, obtained previously were checked. The system showed the ability of the modified EcN with pAL:Ptrp-*inv* to enter the cells after gentamicin test as well as fluorescence and confocal microscopy with using fluorescent dyes DAPI (Thermo Fisher Scientific, USA) and PI (Thermo Fisher Scientific, USA). Moreover, modified ECN was transformed with pTurboGFP-C (evrogen, Russia). The ability of the modified strain to deliver the reporter gene to HCT-116 cell line was quantified using CytoFlex cytometer (Beckman Coulter, USA), and then the data obtained was compared to level of transfection using Lipofectamine 2000 (ThermoFisher Scientific, USA) and pTurboGFP-C on the same cell line, where the fluorescence levels in the FITC-A channel passed 10^6 . This transfection was done to serve as a positive control. While the results of flowcytometry of HCT-116 cell line infected with modified EcN with different multiply of infection (MOI) (100, 500, 2000) showed that the population of eukaryotic cells with fluorescence in the FITC channel increased with increasing MOI. The maximum value was achieved at MOI equal to 2000 with approximately fluorescence levels 10^4 .

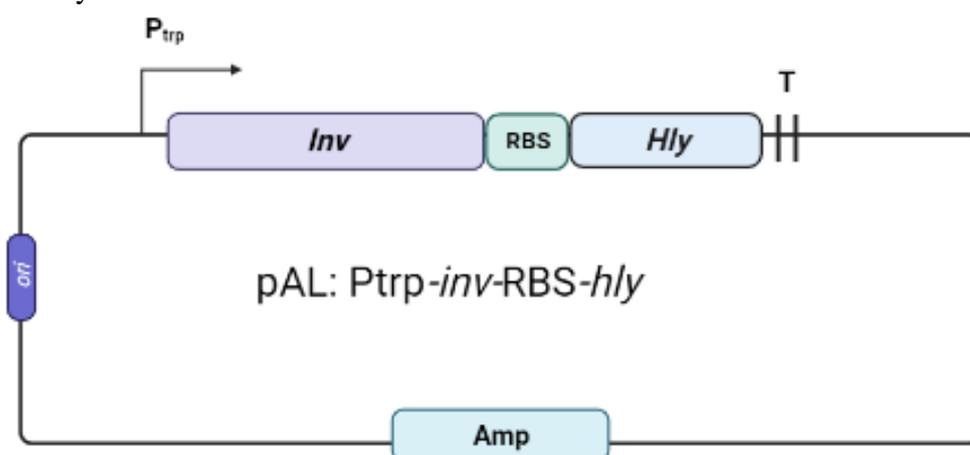


Fig. 2. An illustration of genetic vector pAl:trpinv-hly

Building on the previous experiments, we designed a new system that relies on adding *hly* gene to the previous system to increase the efficiency of the delivery as presented in figure 2.

A Ribosomal binding site has been added to *inv* gene, the construct was then cloned into pAl plasmid and followed by cloning of *hly* using XbaI and SalI restriction enzymes.

Conclusion

The results of flow cytometry showed that the population of eukaryotic cells with fluorescence in the FITC channel increased with increasing MOI. The maximum value was achieved at MOI (multiply of infection) equal to 2000. However, when compared to lipofectamine transfection results, the histogram clearly shows populations with greater fluorescence, indicating a low efficiency of delivery. Thus, the addition of *hly* gene is necessary to increase the efficiency of the Bactofection process. The new system has not been tested yet, but based on literature we expect an increase in the efficiency of the delivery.

References

1. Pálffy R., Gardlík R., Hodosy J., Behuliak M., Reško P., Radvánský J., & Celec P. (2005). Bacteria in gene therapy: bactofection versus alternative gene therapy. *Gene Therapy*, 13(2). 101–105.
2. Sonnenborn U. & Schulze J. (2009). The nonpathogenic *Escherichia coli* strain Nissle 1917 – features of a versatile probiotic. *Microbial Ecology in Health & Disease*. 21(3-4).
3. Pilgrim S., Stritzke, J., Schoen C., Kolb-Mäurer A., Geginat G., Loessner M.J., Goebel W. (2003). Bactofection of mammalian cells by *Listeria monocytogenes*: improvement and mechanism of DNA delivery. *Gene Therapy*. 10(24). 2036–2045.
4. Pisano. F., Kochut. A., Uliczka. F., Geyer R., Stolz T., Thiermann T., Dersch P. (2012). In Vivo-Induced InvA-Like Autotransporters Ifp and InvC of *Yersinia pseudotuberculosis* Promote Interactions with Intestinal Epithelial Cells and Contribute to Virulence. *Infection and Immunity*. 80(3). 1050–1064.

АНАЛИЗ ГЕНОМНЫХ ВАРИАНТОВ КЛЕТОК *Escherichia coli* K12, УСТОЙЧИВЫХ К ИНФЕКЦИИ ФАГОМ T7

Аксенов Р.Г.¹ (студент), **Комиссарова А.В.²** (студент)

Научные руководители – аспирант Скутель М.А.³, к.б.н. Исаев А.Б.³

1 – ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина

2 – ФГБОУ ВО ФУ при Правительстве РФ

3 – Сколковский институт науки и технологий

e-mail: artem.isaev@skoltech.ru

Работа была поддержана грантами Министерства Образования и Науки Российской Федерации (проект 075-10-2021-114), а также грантом Российского Научного Фонда (проект 22-14-00004).

Аннотация

В лаборатории анализа метагеномов были получены мутанты *Escherichia coli* BW25113, устойчивые к инфекции фагом T7 и обладающие мукоидным (слизистым) фенотипом. Было проведено полногеномное секвенирование мутантов с целью определения механизма приобретения устойчивости к бактериофагам. Найденные мутации затрагивают компоненты каскада передачи сигнала Rcs — основного регулятора экспрессии генного кластера *ujbEFGH*, ответственного за синтез колановой кислоты. Таким образом, было предположено, что обнаруженная устойчивость возникла в ходе отбора мутантов, образующих колановую капсулу, предотвращающую адсорбцию фаговых частиц за счёт создания физического барьера перед фаговым рецептором на поверхности клетки.

Ключевые слова

Генетический скрининг, мукоидный фенотип, коллановая кислота, *E. coli* K12, фаг T7, Rcs каскад.

Вирусы бактерий или бактериофаги (фаги), являются паразитами бактерий и играют важную роль в регуляции численности этих организмов. Фаги представляют собой наиболее распространенные биологические объекты на Земле и влияют на состав и структуру микробных сообществ. Таким образом, фаговая инфекция прямо или косвенно затрагивает циклы обмена питательных веществ в окружающей среде, биопroduкцию и здоровье человека и животных. Эволюционная гонка между фагами и бактериями является одной из движущих сил изменения этих сообществ и источником возникновения новых молекулярных механизмов защиты и контр-защиты [1].

Для более глубокого понимания способов взаимодействия фагов и бактерий, а также формирования фенотипов устойчивости проводятся всесторонние генетические скрининги, успешно генотипирующие известные рецепторы и другие факторы, важные для инфекции. Такие исследования в масштабе генома обладают уникальным потенциалом для выявления разнообразных механизмов резистентности [1, 2]. Так, на данный момент известно свыше 100 молекулярных систем защиты бактерий от вирусов, предотвращающих инфекцию на разных этапах развития вируса, начиная от блокировки адсорбции фага и заканчивая деградацией фагового генома в ходе второго цикла инфекции соседних клеток.

Однако понимание полного спектра возможных способов предотвращения фаговой инфекции все еще остается ограниченным. Это особенно важно для развития новых методов фаговой терапии – перспективного способа лечения бактериальных болезней

человека в эпоху возрастающего риска возникновения множественно лекарственно устойчивых вариантов патогенов [3].

В ходе работы мы отобрали мутантов клеток *E. coli* K-12 BW25113, которые демонстрировали рост в культуре клеток спустя более 20 часов после инфекции бактериофагом T7. Полученные мутанты обладали слизистым фенотипом, что позволило предположить появление мутаций, приводящих к усиленному синтезу клеточной капсулы или других способов модификации поверхности клетки. С целью идентификации конкретных мутаций, произошедших в клетках, мы осуществили полногеномное секвенирование бактериальной ДНК на платформе Illumina.

Алгоритм анализа данных был следующим: прочтения Illumina, были процессированы для удаления адаптера и оснований с низким качеством сигнала (>2 оснований с оценкой Phred<20) с помощью Trimmomatic v0.36 и проведена оценка качества с помощью FASTQC. Обрезанные прочтения были картированы на референсный геном *E. coli* BW25113 (NCBI: CP009273) с использованием программы bowtie2 (максимум 3 несовпадения на прочтение). Были получены sam файлы, содержащие координаты картированных прочтений, которые были оценены по качеству с помощью BAMQC. SNP calling (детекция несовпадающих позиций, т.е. установление мутаций) был выполнен с использованием SAMtools и BCFtools. Для визуализации положения 3 типов мутаций (single nucleotide polymorphisms, indels, deletions, insertions) с порогом качества FQ <80 мы использовали программу IGV-browser. Учитывались мутации в открытых рамках считывания (согласно принципу аминокислотной синонимичности) или некодирующей области (чтобы учесть возможные эффекты на экспрессию генов).

В результате нам удалось обнаружить ряд несинонимичных мутаций в генах регуляторного Rcs каскада передачи сигнала (таблица).

Известно, что активация генного каскада Rcs (регулятор биосинтеза капсул) необходима для выживания энтеробактерий в стрессовых условиях окружающей среды, при повреждении мембран или пептидогликанового слоя и при обработке антибиотиками.

В *Escherichia coli* K-12 путь передачи сигнала Rcs представляет собой сложную систему детекции поврежденных клеточной оболочки (envelope stress response systems, ESRS), которая передает сигнал путем фосфорилирования компонентов каскада. Ранее наблюдались многочисленные условия, которые активируют фосфорилирование Rcs, включая осмотический и кислотный шок, высыхание и нарушения целостности клеточной оболочки. Регуляторная активность Rcs включает гены, ответственные за синтез колановой кислоты, повышение кислотоустойчивости, регулирующие деление клеток и подвижность, а также образование биопленок. Система Rcs функционирует как глобальный регулятор, контролирующий состав клеточной поверхности в ответ на изменение окружающей среды [4, 5].

В состав Rcs комплекса входят липопротеин внешней мембраны *RcsF* и основной белок внутренней мембраны *IgaA* (аттенюатор), а также четыре отдельных белка: *RcsA*, *RcsB*, *RcsC* и *RcsD*. *RcsF* и *IgaA*, расположенные “выше” фосфорелирующего модуля, необходимы для нормального функционирования Rcs. Rcs контролирует экспрессию генов посредством каскада реакций переноса фосфатной группы. Перенос фосфата происходит от гибридной гистидинкиназы *RcsC* к *RcsD*, а затем к цитоплазматическому фактору транскрипции и глобальному регулятору *RcsB*. Фосфорилированный *RcsB*, либо отдельно, либо в комбинации со вспомогательным белком *RcsA*, регулирует транскрипцию ряда генов, включая кластер *yjbEFGH*. Липопротеин внешней мембраны *RcsF* обнаруживает дефекты липополисахаридов и/или нарушение пептидогликана, взаимодействует с периплазматическим доменом *IgaA*, образует комплекс *RcsF-IgaA* и запускает систему Rcs [6, 7].

**Детекция несинонимичных мутаций: по горизонтали мутанты клеток *E. Coli*
К-12 BW25113, по вертикали полиморфизмы генов**

	E11	D6	D11	B7-1	B11	G4	G8	G3	F11	F10
RcsC 2310582	T	T	T	T	T	G	T	T	T	T
RcsC 2310645	G	G	G	A	A	G	G	G	G	G
RcsC 2311764	A	A	A	A	A	A	G	A	A	A
igaA3519759	A	A	G	A	A	A	A	A	A	A
igaA 3519760	C	C	T	C	C	C	C	C	C	C
igaA 3519762	G	G	T	G	G	G	G	G	G	G
igaA 3519763	C	A	A	C	C	C	C	C	C	C
igaA 3519813	G	T	T	T	T	T	T	G	G	T
igaA 3521338	G	G	G	G	G	A	G	G	G	A
yjbF 4226214	A	A	A	AC	A	A	A	A	A	A
yjbG 4226844	T	T	T	T	T	T	A	T	T	T
yjbG 4227332	G	T	T	T	T	T	T	T	T	T
yjbG 4227467	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A
yjbG 4227496	G	G	G	G	A	G	G	G	G	G
yjbG 4227499	T	T	T	T	C/G	T	T	T	T	T
yjbG 4227500	G	G	G	G	T	G	G	G	G	G
yjbG 4227502	G	G	G	G	C	G	G	G	G	G
yjbH 4228522	C	T	C	C	C	C	C	C	C	C
waaC 3790245	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A
fepA 606500	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C
sohB 1324172	T	T	T	T	T	T	T	T	T	C
hldE 3189763	A	A	A	A	A	A	A	A	A	T
mdtP 4290335	T	T	T	T	T	T	T	T	T	C

Следовательно, ген *IgaA* является отрицательным регулятором пути фосфорилирования и передачи сигнала Rcs. В состоянии покоя белок *IgaA* блокирует белки *RcsC/D*. В ответ на раздражитель, *IgaA* перестает действовать и активируется каскад *RcsC/D*, передающий сигнал белкам *RcsB* и *RcsA*, активирующих экспрессию Rcs регулона. После прекращения действия стрессового фактора активность каскада снижается.

Регуляция активации пути Rcs геном *IgaA* необходима для выживания бактерии в различных стрессовых условиях окружающей среды, при повреждении мембран и при воздействии антибиотиков (рис. 1) [8].

Исходя из этого мы предполагаем, что обнаруженная нами точечная мутация в гене *igaA*, вероятно, привела к конститутивной активации Rcs каскада, способствовавшей повышенному биосинтезу колановой кислоты. В то же время мутации в гене *rcsC* вероятно привели к gain-of-function фенотипу, т.е. отключили негативную *IgaA* регуляцию. За счёт этого клетки приобрели капсулу, которая стала физическим барьером между бактериофагами и рецепторами, необходимыми фагам для начала инфекции и локализующимися на внешней мембране бактерий. В итоге физическая изоляция фаговых рецепторов привела к блокировке адсорбции фаговых частиц к поверхности клетки, а значит позволила *E. coli* приобрести резистентность к фагу T7.

Интересно, что помимо мутаций в регуляторном каскаде в некоторых клонах были обнаружены мутации в разных генах *yjbEFGH* оперона — биосинтетического кластера колановой кислоты, ключевого компонента колановой капсулы, защищающей бактериальную клетку от вышеупомянутых факторов. Важно, что Rcs каскад является

ключевым регулятором экспрессии *yjbEFGH* оперона, включающего гены *yjbE*, *yjbF*, *yjbG* и *yjbH*, поэтому идентифицированные мутации связаны в одном биохимическом пути (рис.2). Ранее также были представлены сведения о том, что сверхэкспрессия *yjbEFGH* и *waaC* приводит к продукции внеклеточного полисахарида [9, 10], а *hldE* [11], *fepA* [12], *sohB* [13] и *mdtP* [14] могут быть потенциально задействованы в образовании защитных мембранных биопленок, механизм образования которой данным рядом генов предстоит еще выяснить.

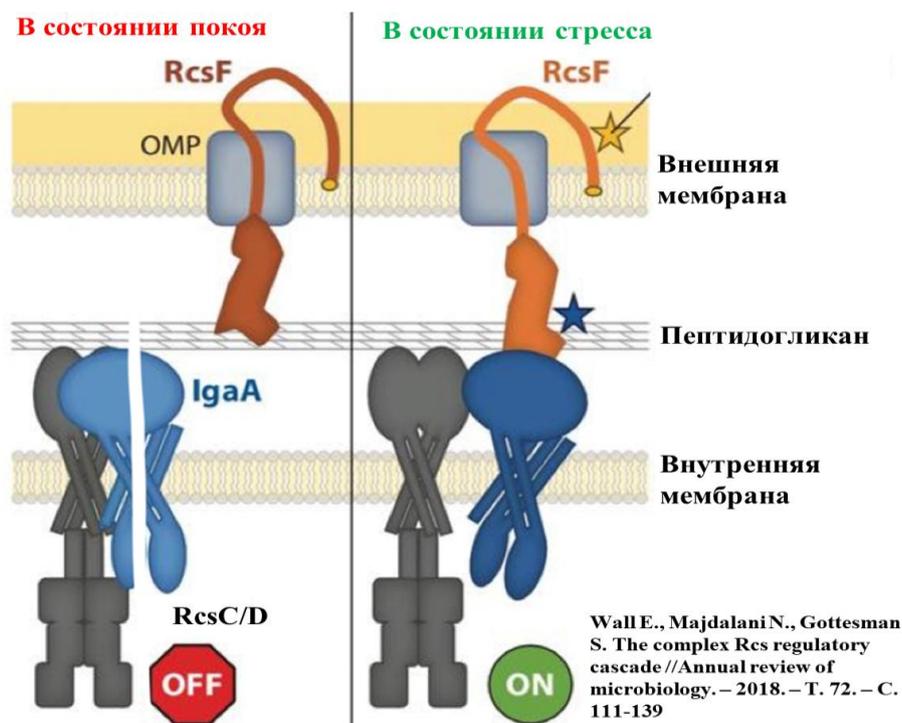


Рис. 1. Принцип активации Rcs сигнального каскада в условиях клеточного стресса

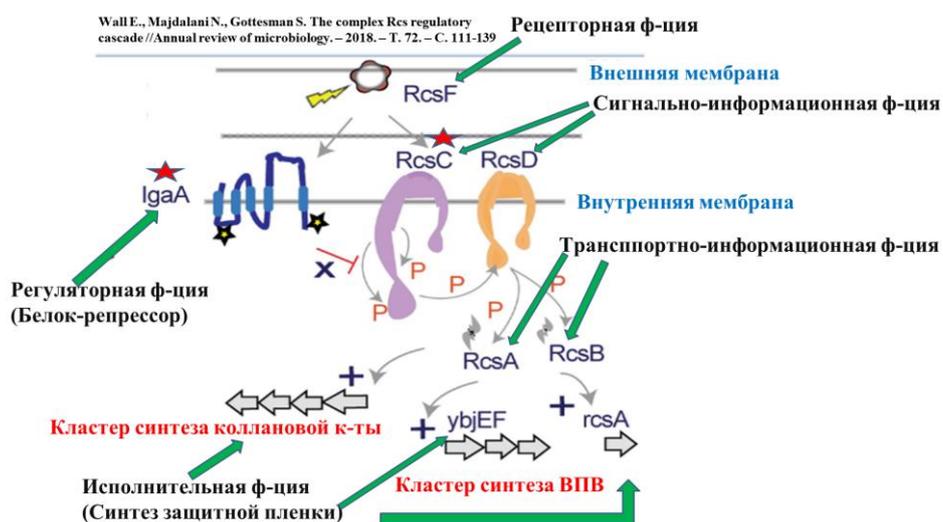


Рис. 2. Схема устройства Rcs сигнального каскада и активации Rcs регулона

Таким образом, в ходе работы нами были изолированы штаммы клеток *E. coli* K-12 BW25113, устойчивые к инфекции фага T7 (и другими фагами) и обладающие мукоидным фенотипом, затем идентифицированы мутации в генах Rcs регуляторного каскада и генах синтеза коллановой кислоты, приводящие к продукции капсулы.

Появление резистентности может быть объяснено образованием капсулы, предотвращающей адсорбцию фагов на поверхности клеток.

Ряд более ранних исследований также выявил генерацию мукоидного фенотипа, который, вероятно, обеспечивает преимущество в приспособленности, блокируя адсорбцию фагов [15]. Наши результаты показывают, что это может быть общим механизмом приобретения перекрестной устойчивости к различным фагам. Результаты этого исследования и будущие усилия по поиску механизмов устойчивости бактерий к фагам расширяют наше понимание коэволюции бактерий и фагов и может быть использовано в процессе разработки более эффективных фаготерапевтических методов лечения бактериальных инфекций человека и инструментов для геномной инженерии микробиома.

Литература

1. Liu B. et al. Structure and genetics of Escherichia coli O antigens //FEMS microbiology reviews. 2020. Т. 44. №. 6. С. 655-683.
2. Shaer Tamar E., Kishony R. Multistep diversification in spatiotemporal bacterial-phage coevolution //Nature Communications. 2022. Т. 13. №. 1. С. 7971.
3. Mutalik V.K. et al. High-throughput mapping of the phage resistance landscape in E. coli //PLoS biology. 2020. Т. 18. №. 10. С. e3000877.
4. Wall E., Majdalani N., Gottesman S. The complex Rcs regulatory cascade //Annual review of microbiology. 2018. Т. 72. С. 111-139.
5. Meng J., Young G., Chen J. The Rcs system in Enterobacteriaceae: envelope stress responses and virulence regulation //Frontiers in Microbiology. 2021. Т. 12. С. 627104.
6. Hussein N.A. et al. Distinct domains of Escherichia coli IgaA connect envelope stress sensing and down-regulation of the Rcs phosphorelay across subcellular compartments //PLoS genetics. 2018. Т. 14. №. 5. С. E1007398.
7. Dekoninck K. et al. Defining the function of OmpA in the Rcs stress response //Elife. 2020. Т. 9. С. e60861.
8. Guo X.P., Sun Y.C. New insights into the non-orthodox two component Rcs phosphorelay system //Frontiers in microbiology. 2017. Т. 8. С. 2014.
9. Ferrieres L. et al. The yjbEFGH locus in Escherichia coli K-12 is an operon encoding proteins involved in exopolysaccharide production //Microbiology. 2007. Т. 153. №. 4. С. 1070-1080.
10. Wang Z. et al. Deletion of the genes waaC, waaF, or waaG in Escherichia coli W3110 disables the flagella biosynthesis //Journal of Basic Microbiology. 2016. Т. 56. №. 9. С. 1021-1035.
11. Maigaard Hermansen G.M. et al. HldE is important for virulence phenotypes in enterotoxigenic Escherichia coli //Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2018. Т. 8. С. 253.
12. Barnard T.J., Watson Jr M.E., McIntosh M.A. Mutations in the Escherichia coli receptor FepA reveal residues involved in ligand binding and transport //Molecular microbiology. 2001. Т. 41. №. 3. С. 527-536.
13. Baird L. et al. Identification of the Escherichia coli sohB gene, a multicopy suppressor of the HtrA (DegP) null phenotype //Journal of bacteriology. 1991. Т. 173. №. 18. С. 5763-5770.
14. Radi M.S. et al. Understanding Functional Redundancy and Promiscuity of Multidrug Transporters in E. coli under Lipophilic Cation Stress //Membranes. 2022. Т. 12. №. 12. С. 1264.
15. Wang C. et al. Colanic acid biosynthesis in Escherichia coli is dependent on lipopolysaccharide structure and glucose availability //Microbiological Research. 2020. Т. 239. С. 126527.

DEVELOPMENT OF FLUORESCENT HYBRIDIZATION PROBES FOR HIGHLY SELECTIVE DETECTION OF DOUBLE STRANDED DNA ANALYTES AT 37°C AND ROOM TEMPERATURE

Ateiah M.¹, Bushaev A.A.¹
Scientific supervisor - Rubel M.S.¹

1 – Laboratory of Solution Chemistry of Advanced Materials and Technologies,
ITMO University
e-mail: rubel@scamt-timo.ru

The research work was funded by the ITMO University Priority 2030 program and FSER-2022-0009 grant of the Ministry of Education of Russian Federation.

Abstract

In spite of the tremendous development throughout the last five decades in Nucleic Acid Chemistry and Nucleic Acid Design, recognition of double-stranded (ds) DNA by hybridization probes under physiological salt and pH conditions remains an ongoing challenge up to this date. Here, we develop a fluorescent hybridization probe based on Locked Nucleic Acid (LNA) modified DNAzymes, so called Invasion Bubble (IB), for the highly specific detection of dsDNA analytes. The IB is composed of three parts, two of them called Dza and Dzb, are responsible for "opening" the dsDNA while the third part is responsible for stabilizing the bubble. The IB is equipped with the catalytic core of RNA-cleaving 10-22 deoxyribozyme which is split between Dza and Dzb. Therefore, when the IB is stabilized, the catalytic core is formed and becomes active to subsequently cleaves a specifically designed fluorophore and quencher labeled reporter substrate.

Keywords

Detection of dsDNA; 10–23 DNAzyme; LNA modifications, LNAzymes.

Introduction

Hybridization of a probe to ssRNA or ssDNA analytes is favorable due to the favorable enthalpy of Watson-Crick base pair formation. On the other hand, entropy change upon formation of such complexes is always unfavorable. Hybridization of a probe to dsDNA is energetically unfavorable process. Indeed, when a DNA probe hybridizes to a DNA duplex, the number of newly formed and the lost base pairs is roughly equal. This is because a fragment dsDNA opposed to the bound probe remains unpaired. The entropy change does not favor the association reaction either. Therefore, ΔG° of probe-dsDNA complex formation is positive. The same is true when double stranded probe hybridizes to analyte.

Is it possible to bind dsDNA without bind dsDNA using protein-free hybridization probes? The protein-independent probe could be easily accessible by automated DNA synthesis, have greater shelf lifetime, easier delivered in cells and compatible with chemical modification and complex nanostructures developed by DNA nanotechnology. Combined with RNA and DNA-cleaving deoxyribozymes, such probes could become a basis for protein-free nucleases, a useful tool for gene editing and therapy. This review is devoted to the analysis of available examples of protein-free hybridization probes that can bind dsDNA under near physiological conditions.

Protein-free assays that utilizes RNA-cleaving deoxyribozymes (Dz) for signal amplification have been developed. For diagnostic purposes, a Dz can be split into two fragments to form a binary Dz (BiDz) sensor (fig. 1) [1, 2]. BiDza and BiDzb hybridize to a complementary fragment in nucleic acid analyte and form a catalytically active Dz core, which can cleave a specifically designed fluorophore and quencher labeled reporter substrate (F-sub), thus producing a fluorescent output. The signal is accumulated over time due to the catalytic turnover. Another BiDz advantage is its excellent selectivity in differentiating single-base substitutions, which is attributed to its split design.

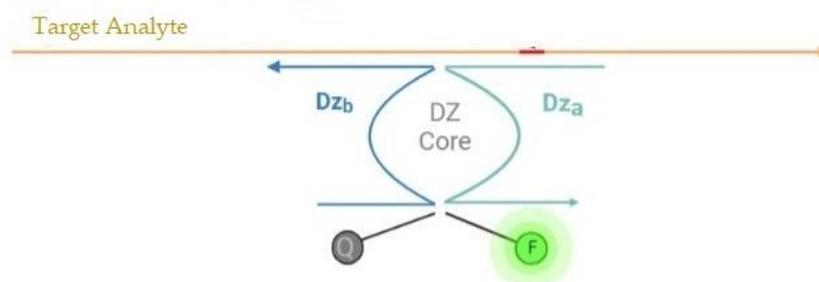


Fig. 1. Design of BiDz sensor. Dza and Dzb strand hybridize to target analyte and form catalytic core that cleaves fluorophore and quencher labelled F-sub

Locked nucleic acids (LNA) introduced in the late 1990s [3, 4] are artificial nucleic acids and considered to be an RNA mimic. LNA contains a methylene bridge between the 2' O and 4' C atom in the ribose ring to form a bicyclic ring. The bridge locks the sugar moiety in an N-type (C3'-endo) sugar ring conformation resulting in enhanced hybridization properties. As a result of this conformation, the backbone of LNA is preorganized which leads to energetically favorable duplex formation, in part through increased base stacking interactions. Thermal denaturation studies showed an increase of melting temperature (2-8 C) per LNA modification compared to the unmodified duplexes.

Mai part

Double strand invasion of duplex DNA can be energetically favorable if both DNA strands are targeted simultaneously. This encouraged us to design a nanostructure based on LNA modified DNAzymes, so called Invasion Bubble (IB) for the highly specific detection of dsDNA analytes. The IB is composed of three parts, two of them called Dza and Dzb, are responsible for "opening" the dsDNA while the third part is responsible for stabilizing the bubble. The IB is equipped with the catalytic core of RNA-cleaving 10-22 deoxyribozyme which is split between Dza and Dzb. Therefore, when the IB is stabilized, the catalytic core is formed and becomes active to subsequently cleaves a specifically designed fluorophore and quencher labeled F-sub substrate.

We tested a series of different LNA-modified and unmodified IB to examine the effect of position and number of LNA substitutions on the IB stabilization and with or without the tile. The first variant contains a fully LNA modified EG_T30_1 and EG_Dza_30 stands and with or without the tile (fig. 2A and 3B, respectively). The LNA modifications are introduced only after the first three nucleotides after the catalytic core. This design showed fluorescent signal close to the background after 24h and 48h of incubation at 37° C (data are not shown).

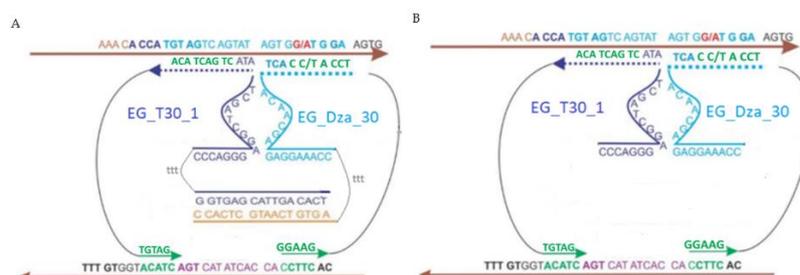


Fig. 2. Design of the first variant of the Invasion Bubble. A) Design of IB with the tile. B) Design of the IB without the tile. LNA modifications are shown in green

The second variant of IB design contain a stretch of 3 consecutive LNA modification followed by regular DNA in EG_T30_1 and EG_Dza_30 strand. The design was tested with and without the tile also (fig. 3A and 3B, respectively). The LNA modifications are introduced

only after the first three nucleotides after the catalytic core. This design showed fluorescent signal close to the background after 24h and 48h of incubation at 37° C.

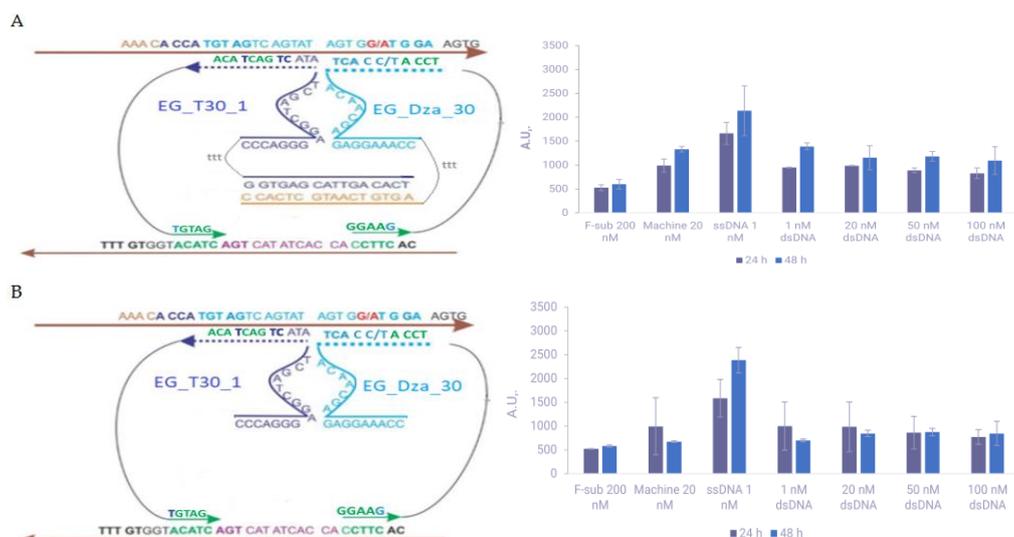


Fig. 3. Design of the second variant of the Invasion Bubble. A) Design of IB with the tile and the histograms shows the fluorescent intensities of the IB in the presence of different concentration of dsDNA range from 1 nM to 100 nM. B) Design of the IB without the tile and the histograms shows the fluorescent intensities of the IB in the presence of different concentration of dsDNA range from 1 nM to 100 nM. LNA modifications are shown in green

The third variant of IB design contain an alteration of LNA and regular DNA in the sequence of EG_T30_1 and EG_Dza_30 strand. The design was tested with and without the tile also (fig. 3A and 3B, respectively). The design with the tile showed fluorescent signal close to the background after 24h and 48h of incubation at 37° C (fig. 4A), while the design without the tile showed an increased fluorescent signal above the background after 24h and 48h of incubation at 37° C (fig. 4B).

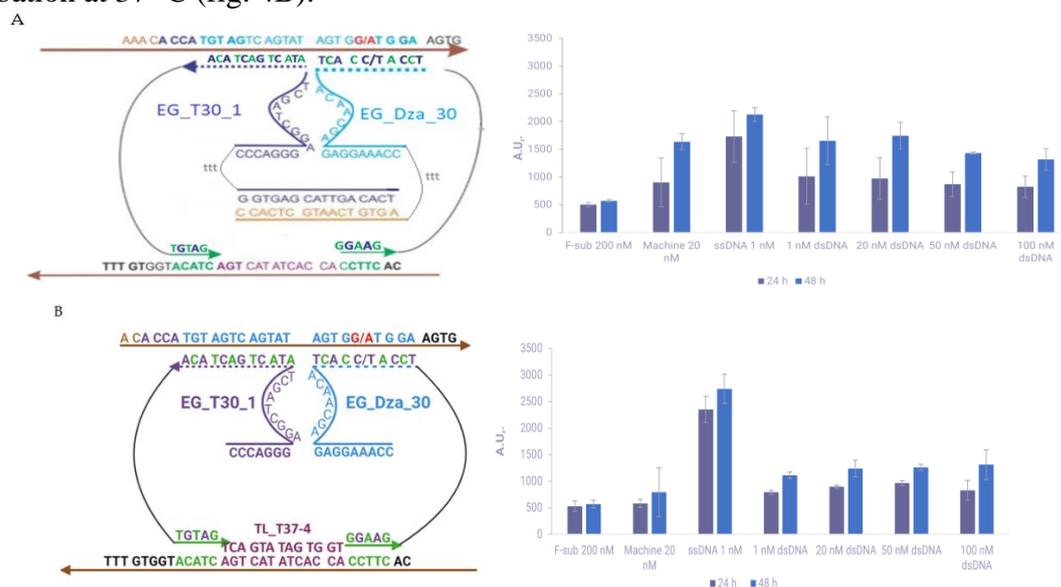


Fig. 4. Design of the third variant of the Invasion Bubble. A) Design of IB with the tile and the histograms shows the fluorescent intensities of the IB in the presence of different concentration of dsDNA range from 1 nM to 100 nM. B) Design of the IB without the tile and the histograms shows the fluorescent intensities of the IB in the presence of different concentration of dsDNA range from 1 nM to 100 nM. LNA modifications are shown in green

The unmodified version of the best working design (the third design without the tile) was also tested and showed a fluorescent signal close to the background after 24h and 48h of incubation at 37° C (fig. 5).

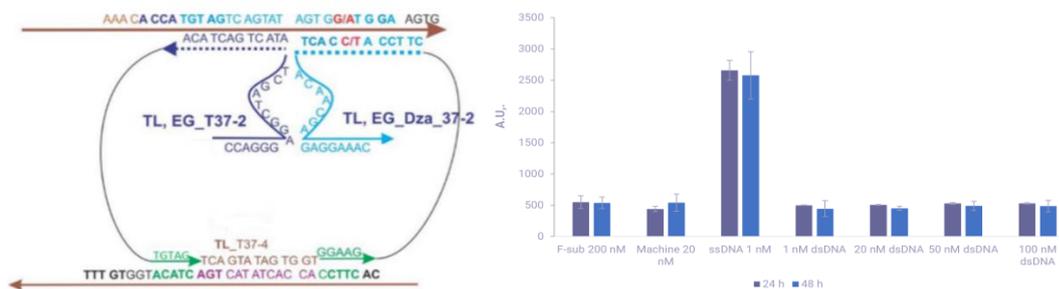


Fig. 5. Design of the unmodified IB and the histograms shows the fluorescent intensities of the IB in the presence of different concentration of dsDNA range from 1 nM to 100 nM. This design does not contain LNA modifications.

Conclusion

We tested a series of different LNA-modified and unmodified IB to examine the effect of position and number of LNA substitutions on the IB stabilization. We found that the alteration in IB sequence between LNA and regular DNA generated the best invasion efficiency. The design requires further investigation and optimization to enhance the invasion efficiency. One could optimize the concentration of the IB in comparison to the dsDNA. Optimization of the buffer's components and concentrations to near physiological condition and decreasing the incubation period will be under investigation also.

References

1. Kolpashchikov D.M. A binary deoxyribozyme for nucleic acid analysis. *ChemBioChem*. 2007. 8. P. 2039–2042.
2. Mokany E., Bone S.M., Young P.E., Doan T.B., Todd A.V. MNazymes, a versatile new class of nucleic acid enzymes that can function as biosensors and molecular switches. *J. Am. Chem. Soc.* 2010. 132. P. 1051–1059.
3. Kumar R., Singh S.K., Koshkin A.A., Rajwanshi V.K., Meldgaard M., Wengel J. The first analogues of LNA (locked nucleic acids): phosphorothioate-LNA and 2'-thio-LNA. *Bioorg Med Chem Lett*. 1998. 8. P. 2219–2222.
4. Obika S., Nanbu D., Hari Y., Morio K., In Y., Ishida T., Imanishi T. (1997) Synthesis of 2'-O,4'-C-methylneuridine and -cytidine. Novel bicyclic nucleosides having a fixed C3, -endo sugar pucker. *Tetrahedron Letters*. 1997. 38. P. 8735-8738.

РАЗРАБОТКА СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТКАНЕЙ МИОКАРДА

Булкина А.М.¹(студент), Савин А.М.¹(аспирант)
Научный руководитель – к.б.н., доцент Прилепский А.Ю.¹
1 – Университет ИТМО
e-mail: bulkina@scamt-itmo.ru

Работа выполнена при поддержке государственного задания №ФСЕР-2022-0008 в рамках национального проекта «Наука и университеты».

Аннотация

В работе предложен подход к регенерации повреждённых тканей сердца, заключающийся в использовании тканеинженерной конструкции на основе модифицированной бактериальной целлюлозы (БЦ) и интегрируемых в её структуру клеток. Выявлено влияние условий культивирования на микроструктуру синтезируемой БЦ. Культивирование в магнитном поле (МП) показало ориентацию её нанофибриллярной структуры. Продемонстрирована биосовместимость нативной БЦ с фибробластами человека и получены первые образцы проводящей БЦ.

Ключевые слова

Бактериальная целлюлоза, биоактивные материалы, скаффолды, биополимеры, тканевая инженерия, регенерация, биосовместимость, магнитное поле, ремускуляризация миокарда.

Доля сердечно-сосудистых (ССЗ) заболеваний в мировой статистике смертности составляет 32% от всех случаев [1]. Последние 20 лет наблюдается тенденция к увеличению распространённости факторов риска и соответствующий рост показателей заболеваемости ССЗ [2]. ССЗ также являются одной из самых частых причин потери трудоспособности [1]. Таким образом, существует острая необходимость в разработке и изучении новых регенеративных методов лечения ССЗ. Уже сейчас бактериальная целлюлоза (БЦ) применяется в медицине в качестве материала для раневых повязок, а её трехмерная сеть фибрилл и высокая биосовместимость делают пленки из неё привлекательным материалом для реконструктивной хирургии и тканевой инженерии [3]. На данный момент взаимодействия между матрицей БЦ и веществами, используемыми для создания композита не ясны, и требуют дальнейших экспериментальных исследований [4]. Анализ научных публикаций также показал существующий недостаток исследований возможности использования проводящих композитов на основе БЦ в контексте регенерации тканей сердца.

В данной работе исследуется подход к лечению ССЗ на основе тканеинженерных конструкций для замены повреждённых тканей сердца новыми, полученными на основе стволовых клеток пациента. В качестве основного материала конструкции используется БЦ, благодаря свойствам, обусловленным её нанофибриллярной структурой. Достижение представленной выше цели предполагается через решение ряда задач, таких как: синтез БЦ, приведение её свойств к свойствам нативных тканей сердца, включение в структуру полученного скаффолда сфероидов, сформированных из мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток, сокультивированных с другими типами клеток, в частности скелетными мышечными клетками.

Для получения БЦ использовались уксуснокислые бактерии-продуценты штамма *Komagataeibacter xylinus*. Культивирование осуществлялось в следующих средах: Хестрина-Шрамма (HS), двух её модификациях, содержащих 3% этанола (HS₁) и 5%

глицерина, 0.8% мочевины и 0.115% $MgSO_4$ (HS_2) соответственно, а также укусно-этанольной среде (AE).

Образцы БЦ, синтезированные на разных средах, были исследованы на показатели содержания воды, которые обычно характеризуются двумя значениями: водоудерживающей способностью (WHC) и абсорбционной емкостью (WAC). По полученным результатам, представленным на рисунке 1, можно сделать вывод, что наибольшие значения WHC и WAC наблюдаются в исходной среде HS и HS_1 модифицированной 3% этанола.

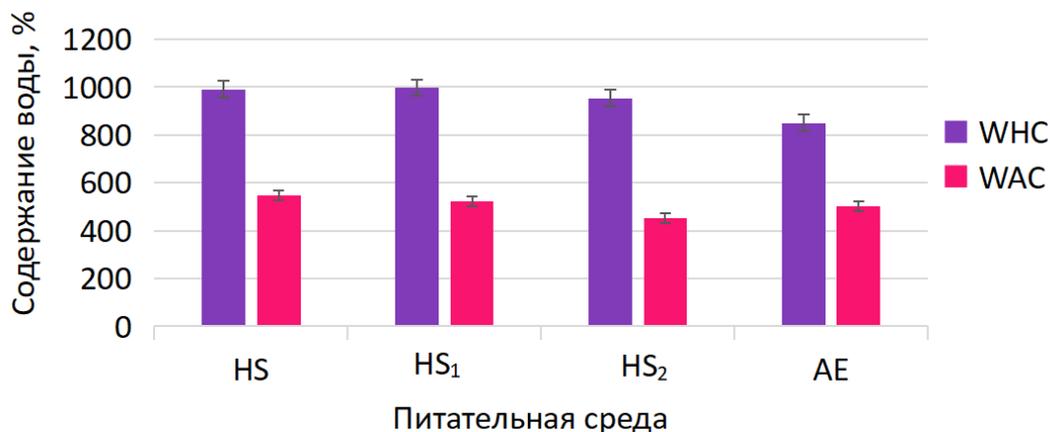


Рис. 1. Сравнение показателей содержания воды БЦ синтезированной на разных питательных средах

Возможность придания БЦ структуры близкой к нативной миокардиальной ткани изучалась при помощи действия направленного МП. Схема представлена на рисунке 2. Нанокристаллы целлюлозы обладают отрицательной диамагнитной анизотропией и ориентируются перпендикулярно МП [5]. Поэтому, было высказано предположение, что МП можно применять для управления ориентацией нанокристаллов целлюлозы тем самым влияя на формирование сетки фибрилл БЦ.

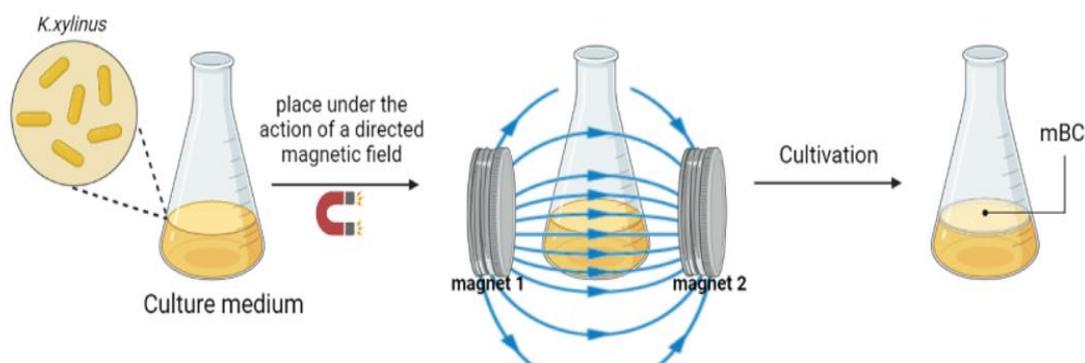


Рис. 2. Схема культивирования БЦ под воздействием направленного МП

Механические свойства полученных пленок оценивались измерением модуля Юнга в качестве характеристики способности материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. Исходя их полученных данных представленных на рисунке 3, можно увидеть, что модуль Юнга магнитной БЦ несколько выше, чем у БЦ полученной без воздействия МП.

Интересно, что наши значения не совпадают с литературными данными, которые соответствуют 10–12 ГПа, однако они совпадают с диапазоном значений, измеренными для пульсирующей ткани сердца новорожденных крыс [6].

Влияние магнитного поля на структуру БЦ изучалось при помощи сканирующей электронной микроскопии. На рисунке 4 можно увидеть характерное изменение структуры и ориентацию волокон.

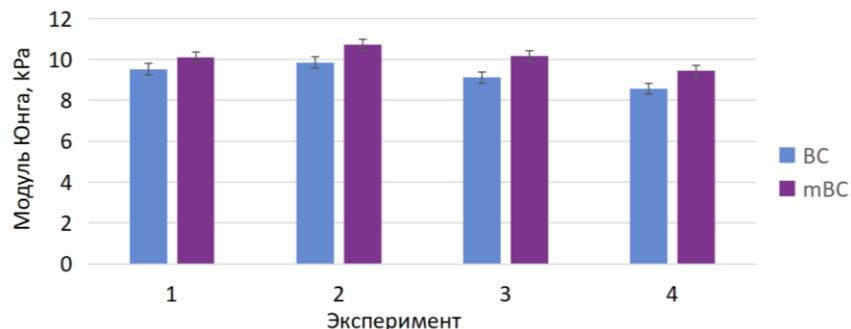


Рис. 3. Сравнение значений модуля Юнга БЦ, синтезированной в направленном МП с БЦ, синтезированной без воздействия МП

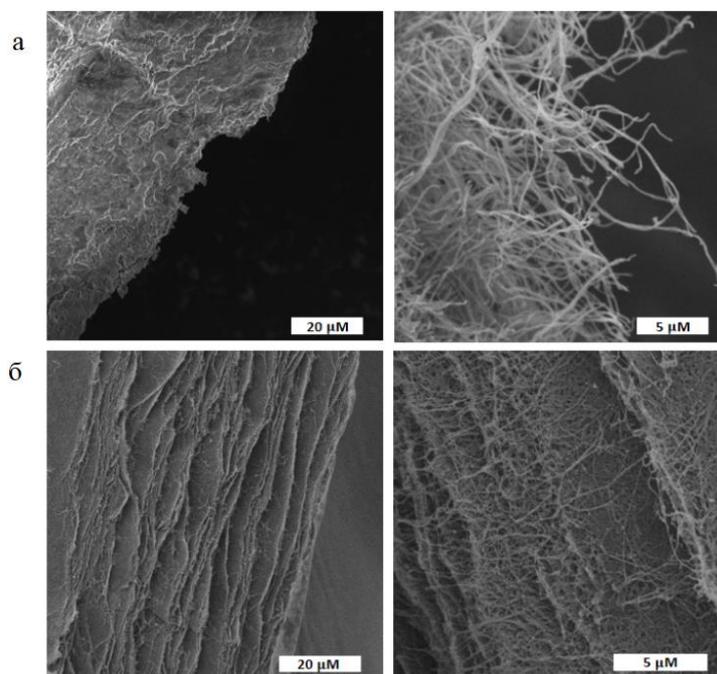


Рис. 4. Сравнение структуры БЦ культивированной в/в отсутствии действия МП при помощи СЭМ: а) БЦ; б) магнитная БЦ

При создании аналога проводящей ткани необходимо обеспечить проводимость каркаса на уровне исходной ткани пока каркас не будет полностью замещен. Для придания БЦ проводящих свойств, могут быть использованы обладающие электропроводностью полимеры, такие как полипиррол (РРу), полианилин и поли(3,4-этилендиокситиофен) полистиролсульфонат.

Полученная БЦ была модифицирована с помощью РРу в жидкой фазе. Схема процесса представлена на рисунке 5. Для этого на мембраны БЦ диаметром 10 мм наносили РРу путем окислительной полимеризации *in situ*. После полимеризации мембраны БЦ/РРу тщательно промывали дистиллированной водой для удаления побочных продуктов и остатков реакции и сушили в лиофильной сушке. Мольное соотношение пиррол/ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, используемое для химического синтеза, составляло 1:1.

Полученные образцы были исследованы на проводимость при постоянном токе и было установлено, что сопротивление проводящих образцов составляет порядка 2 кОм, в то время как исходная БЦ является диэлектриком.

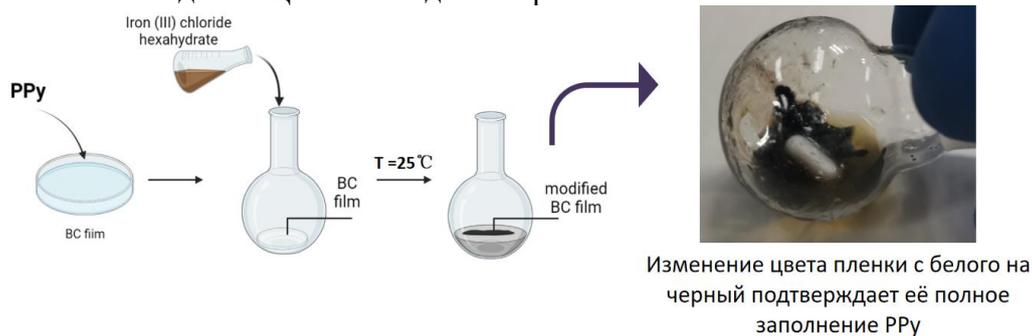


Рис. 5. Схема модификации БЦ

Далее была изучена возможность биосовместимости БЦ с фибробластами человека, так как в дальнейшем планируется выращивать клетки на её поверхности. Результаты представлены на рисунке 6. Для визуализации клеток использовались флуоресцентные красители Phalloidin 594 и DAPI. По полученным результатам можно наблюдать прикрепление фибробластов к поверхности клеток, однако, за пять дней клетки выросли не монослоем, как на контроле, а колониями, что показывает наличие проблемы слабой адгезии эукариотических клеток к поверхности БЦ.

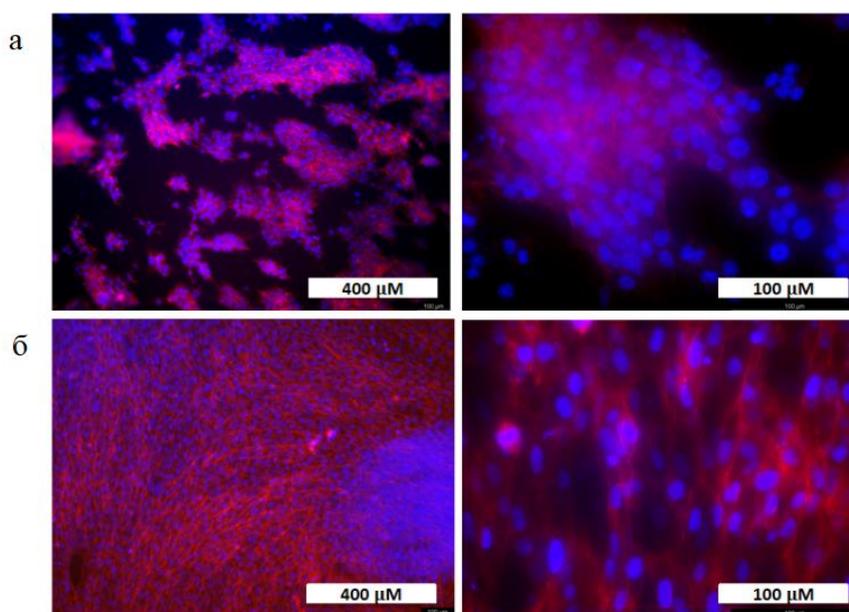


Рис. 6. Сравнительное культивирование фибробластов на БЦ и пластике в течение 5 дней: а) БЦ; б) пластик

Таким образом, экспериментальные данные исследований показали, что наиболее оптимальным является культивирование бактерий *K.xylinus* в среде HS модифицированной этанолом. Было продемонстрировано влияние сушки на способность пленок БЦ абсорбировать влагу. Культивирование штамма *K.xylinus* в МП показало ориентацию нановибрилярной структуры синтезируемой БЦ. Была рассмотрена биосовместимость нативной БЦ с фибробластами человека и получены первые образцы проводящей БЦ. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение модификации БЦ электропроводящими полимерами, такими как PEDOT, PSS, или их комбинациями.

Литература

1. Global Health Estimates: Life expectancy and leading causes of death and disability: [Электронный ресурс] // World Health Organization. URL: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates>. (дата обращения: 21.02.2023).
2. Roth G.A. et al. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019: Update From the GBD 2019 Study // *J Am Coll Cardiol*. 2020. V. 76. № 25. P. 2982–3021.
3. He M., Chen H., Zhang X., Wang C., Xu C., Xue Y., Wang J., Zhou P., Zhao Q. Construction of novel cellulose/chitosan composite hydrogels and films and their applications. *Cellulose*. №25. 2018. P. 1987– 1996.
4. Talman V. et al. Cardiomyocyte-Endothelial Cell Interactions in Cardiac Remodeling and Regeneration // *Front Cardiovasc Med*. 2018. V.5. P. 101.
5. Farion I.A., Burdukovskii V.F., Kholkhoev B.C., Timashev P.S. Unsaturated and thiolated derivatives of polysaccharides as functional matrixes for tissue engineering and pharmacology: A review. *Carbohydr Polym*. 2021.V. 259 P. 117735.
6. Azeloglu E.U., Costa K.D. Cross-bridge cycling gives rise to spatiotemporal heterogeneity of dynamic subcellular mechanics in cardiac myocytes probed with atomic force microscopy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2010. V.3. №298. P.H853–H860.

SYSTEMS FOR THE TARGETED DELIVERY OF DRUGS UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASOUND

Goncharov V.V.¹ (1st year Master's student), **Petrova M.S.**¹ (1st year Master's student),
Belyaev V.E.¹ (2st year Master's student), **Domareva N.P.**¹ (1st year Master's student)

Supervisor - Candidate of Chemical Sciences, Prof. Skorb E.V.¹

**Supervisor - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Associate Professor
Ulasevich S.A.**¹

1 – ITMO University

e-mail: ulasevich@infochemistry.ru

The work is carried out within the framework of the Russian Science Foundation project No. 19-79-10244 "Microdosing and micromanipulator systems based on mesoporous titanium dioxide modified with polyelectrolyte membranes for biomedical applications".

Abstract

In this study, titanium dioxide nanotubes are produced on the titanium of biocompatible grade BT 1-0. The modified surface can serve as a drug-delivery system due to its sufficiently high specific surface area. The effect of ultrasonic treatment at constant frequency of 35 kHz on tetracycline release rate has been studied.

Keywords

Drug delivery, ultrasound, tetracycline, titanium dioxide nanotubes, modified surface.

Characteristics of different titanium alloy, such as resistance to biological fluids, biocompatibility, flexibility, and good strength have ensured their widespread use in various fields of medicine. Macro- and nanostructuring of titanium surface makes it possible to improve fibronectin and vitronectin adhesion as well as stimulate cell migration. It promotes the bone tissue formation around the implant [1-3]. A surface layer of titania nanotubes loaded with a drug can lead to a more effective suppress of inflammatory processes result in osseointegration of the implants into bone tissue. Targeted drug delivery neutralises the systemic side effects that occur after implant surgery. The local delivery allows a significant reduction in drug dosage compared to pills treatment [4, 5].

The aim of this work is to develop systems for targeted drug delivery that can be activated by ultrasound (US) action. The polyelectrolyte layers were deposited to prolong the antibiotic release.

Titanium dioxide (TNT) nanotubes were fabricated by anodizing of previously polished titanium in ethylene glycol solution containing 0.75 wt.% ammonium fluoride. The stage anodization was carried out at a constant voltage of 40V for 1 hour as shown in fig. 1. Equations (1-3) show the reactions involved in anodizing of titanium:



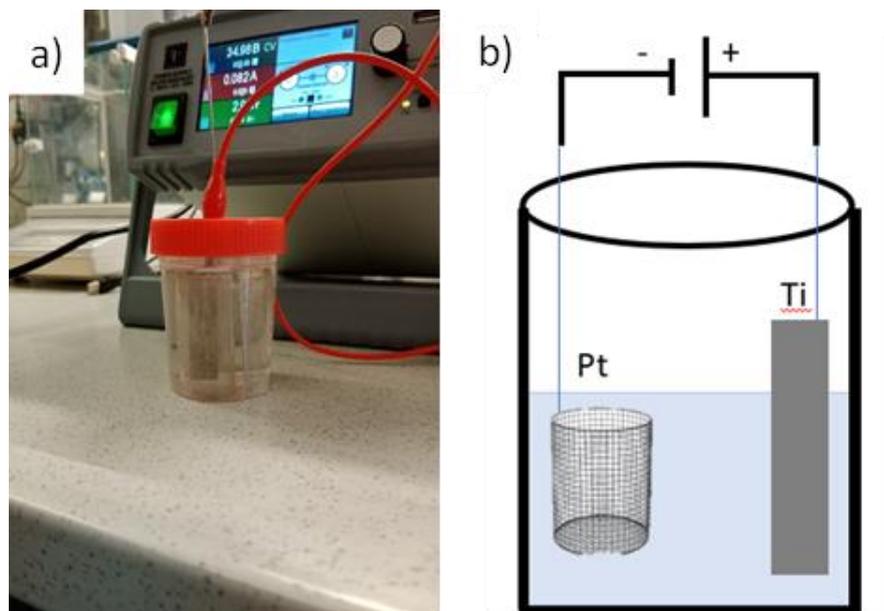


Fig. 1. The photo (a) and scheme (b) of anodization process of titanium plate

The samples were rinsed with Milli-Q water and air dried for 1-2 h. To improve the TiO₂ adhesion, the samples were annealed at 450°C for 3 h at a heating rate of equal to 5°C/min. fig. 2a shows the SEM images of titania surface structure. As seen in fig. 2a, the nanotubes have an average diameter of about 50 nm. The layer thickness is *ca.* 5 μm.

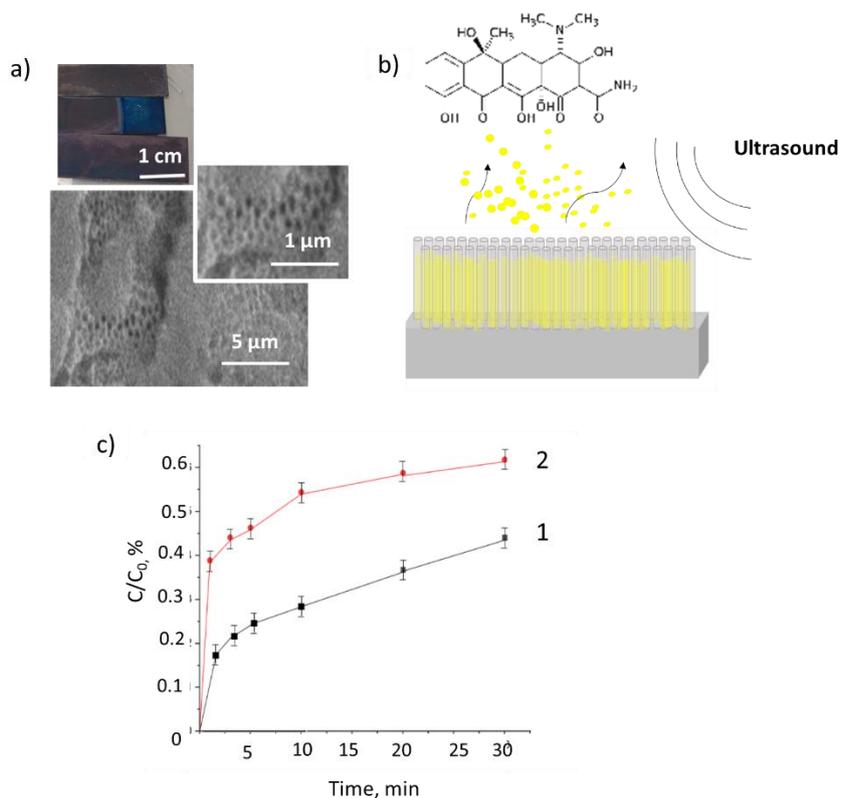


Fig. 2. a) SEM images (top view) of Ti/TiO₂ surface after anodizing and heat treatment; Inserts shows the sample photo; c) surface view of the obtained sample b) Scheme of US-assisted release; c) Tetracycline release from TiO₂ surface without ultrasound (curve 1) and under ultrasound (curve 2) action

The loading of tetracycline into the TiO₂ pores was carried out from an antibiotic aqueous solution at a concentration of 1 mg/mL for 24 h. The release kinetics was investigated under the action of ultrasound with a frequency of 35 kHz. The US-free release was used as a control. The aliquots were taken from solution after 1, 3, 5, 7, 10, 20 and 30 min to analyze the substance release. The amount of released substance was determined spectrophotometrically. Figure 2c shows that application of ultrasound promotes more rapid tetracycline release during the 1–30 min compared to the control sample without ultrasound.

Thus, highly ordered titanium dioxide nanotubes have been obtained. The US-assisted release provides faster antibiotic release compared to control one. Besides, the ability of ultrasound to penetrate the human body opens up opportunities for delayed release of the antibiotic.

References

1. Dahiya V. et al. Surface topography of dental implants: A review //Journal of Dental Implants. 2014. T. 4. №. 1. C. 66.
2. Chaabane C. et al. Biological responses in stented arteries //Cardiovascular research. 2013. T. 99. №. 2. C. 353-363.
3. Martínez-Calderon M. et al. Surface micro-and nano-texturing of stainless steel by femtosecond laser for the control of cell migration //Scientific reports. 2016. T. 6. №. 1. C. 1-10.
4. Shokuhfar T. et al. Intercalation of anti-inflammatory drug molecules within TiO₂ nanotubes //Rsc Advances. 2013. T. 3. №. 38. C. 17380-17386.
5. Gulati K., Aw M.S., Losic D. Drug-eluting Ti wires with titania nanotube arrays for bone fixation and reduced bone infection // Nanoscale research letters. 2011. T. 6. C. 1-6.

БАКТЕРИЦИДНЫЕ ПОРОШКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

Кутырев М.А.¹ (магистрант), Исакова А.М.² (студент)
Научный руководитель – к.х.н., доцент Уласевич С.А.²

1 – Университет ИТМО

2 – Санкт-Петербургский государственный университет

Работа выполнена в рамках проекта РФФ №19-79-10244 «Микродозаторные и микроманипуляторные системы биомедицинского назначения на основе мезопористого диоксида титана, модифицированного полиэлектролитными мембранами».

Аннотация

В данном исследовании изучен процесс адсорбции различных терапевтических агентов широкого спектра применения с использованием частиц гидроксиапатита в качестве адсорбирующего материала. Антибактериальная активность полученных материалов была протестирована на культуре *S. aureus* и *E. faecalis*. Результаты *in vitro* изучены с использованием клеточной линии миобластов C2C12 с целью проверки совместимости их к разработанным биомиметическим каркасам.

Ключевые слова

Гидроксиапатит, тетрациклин, кверцетин, доставка лекарств, биоцидная активность.

Инженерия костной ткани является перспективным направлением в медицине, которое решает проблемы, связанные с повреждениями и заболеванием скелета. Однако, для достижения оптимальных результатов, необходимо создать такой материал, который мог бы сочетать в себе свойства биосовместимости, прочности пористости для того, чтобы обеспечить оптимальные условия для роста клеток.

Гидроксиапатит (ГА) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ является привлекательным кандидатом для изготовления подобных материалов, который аналогичен биологическому апатиту [1]. Для улучшения механических свойств гидроксиапатита и снижения риска постимплантационных инфекций, исследователи продолжают подбирать необходимые модификации и комбинации с другими материалами, что может значительно расширить его возможность применения в медицинской практике. Предпочтительным способом улучшения свойств ГА является иммобилизация различных ионов как на его поверхности, так и внутри кристаллической структуры, что приводит к изменениям размера кристаллов, растворимости, а также антимикробной активности [2]. Многие исследования показывают, что такие ионы являются антирезорбтивными, противораковыми препаратами и антибиотиками. Среди антибиотиков широкое распространение получил тетрациклин [3], который не подвергается метаболизму и активен в отношении различных грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов. Важным при разработке материала для восстановления костной ткани остается эффективное подавление активности остеокластов за счет включения кверцетина в искусственный костный каркас.

Эксперимент по адсорбции проводили путем добавления 10 мг ГА с 1.5 мл спиртовых растворов тетрациклина и кверцетина в концентрации 1 мг/мл и центрифугировали. Адсорбционную способность исследуемых образцов оценивали с помощью УФ-наноспектрофотометра как показано на рисунке 1. Концентрации тетрациклина и кверцетина, абсорбируемых на поверхности ГА снижались в течение первых 3 часов, после чего равновесная адсорбционная способность составляла 0.01 мг/мл.

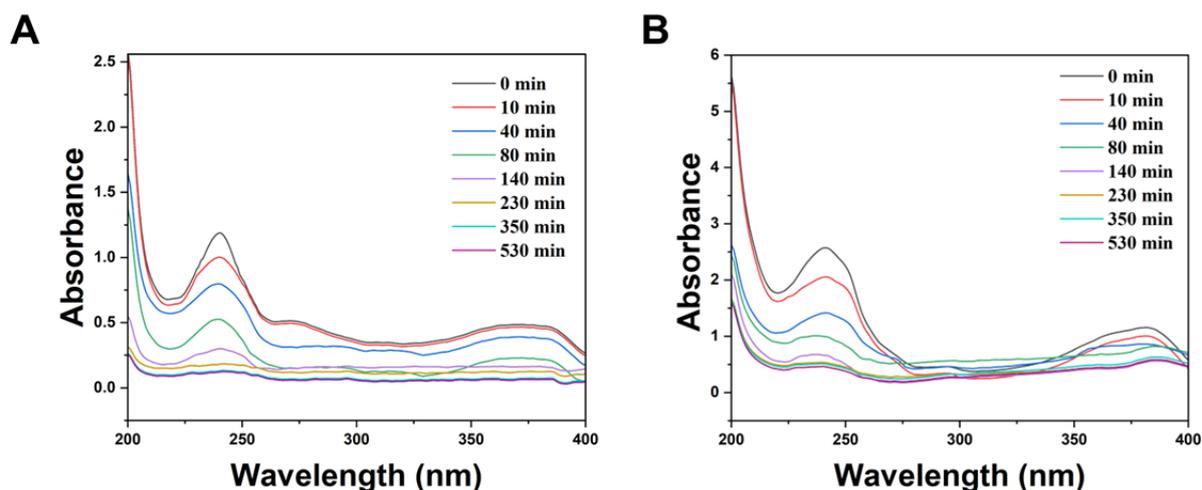


Рис. 1. УФ-видимые спектры поглощения тетрациклина (А) и кверцетина (В), адсорбированных на ГА

Антибактериальная активность синтезированных частиц ГА была протестирована против грамположительных бактериальных штаммов *S. aureus* и *E. faecalis*, и полученные результаты показаны на рисунке 2. Примечательно, что среди всех бактериальных штаммов, включенных в это исследование, *S. aureus* и *E. faecalis* показали максимальный уровень ингибирования 15 и 11 мм при загрузке ГА с тетрациклином в концентрации 1 мг/мл.

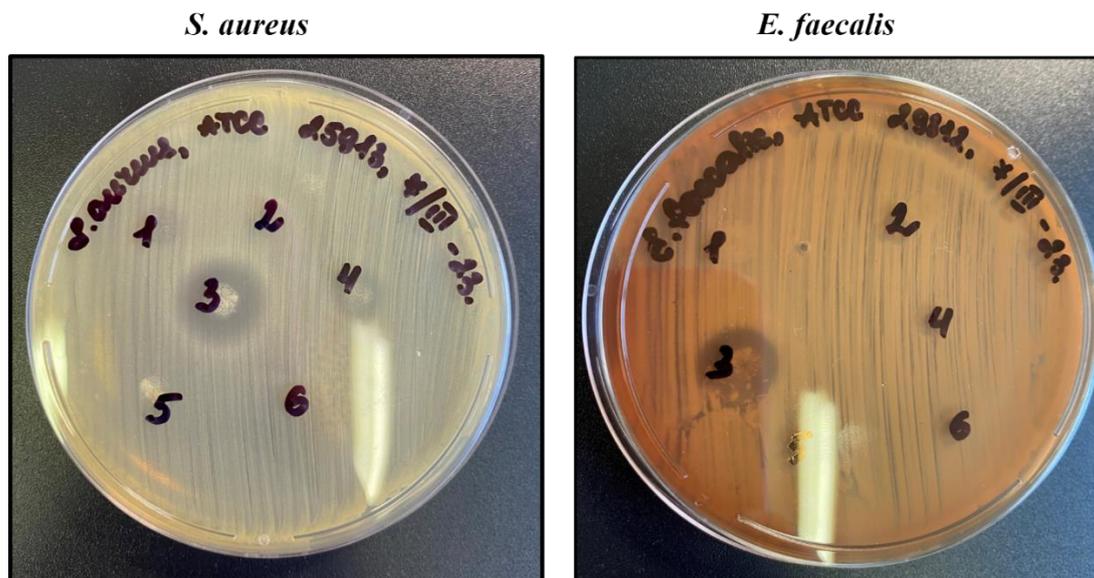


Рис. 2. Ингибирование роста бактерий на агаровых подложках с ГА каркасами: (1-5) тетрациклин в концентрациях 0.001 – 1 мг/мл; (6) кверцетин в концентрации 0.005 мг/мл

Для оценки корреляции между полученными частицами ГА, загруженных тетрациклином и кверцетином в различной концентрации и морфологией клеток, была выполнена оптическая конфокальная визуализация клеточной линии С2С12, инкубированных с порошками, результаты которой приведены на рис. 3. Цитоскелет клеток С2С12, инкубированных с порошком ГА, загруженном тетрациклином в концентрации 1 мг/мл, демонстрирует наибольший уровень сходства по отношению к контролю.

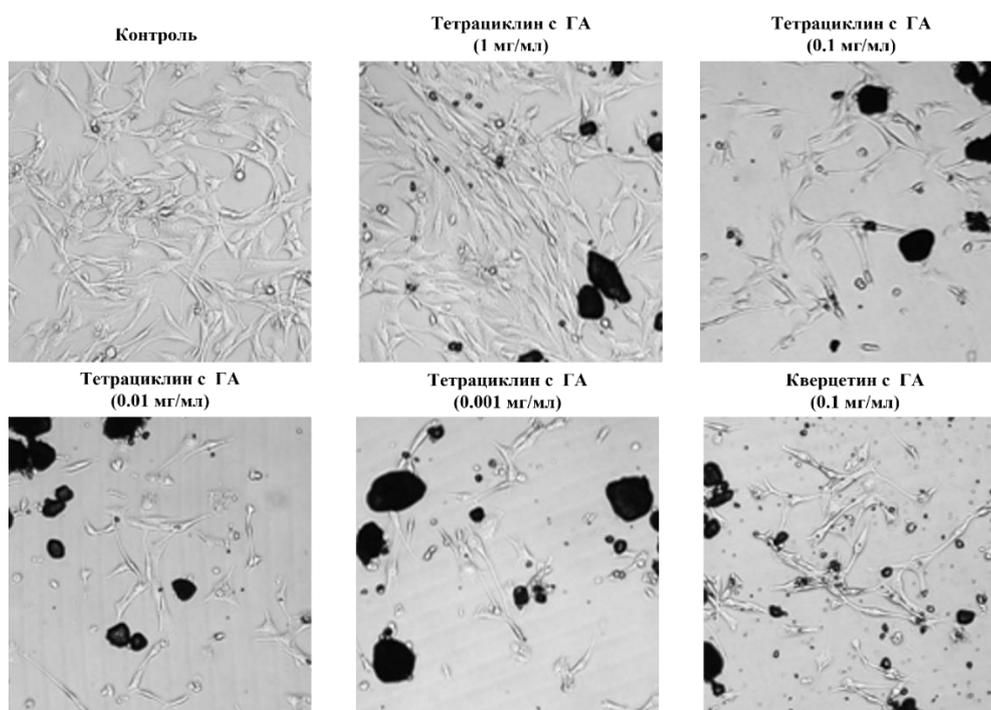


Рис. 3. Морфологические изменения в клетках C2C12 после добавления порошков ГА и без него под оптическим микроскопом

Разработанный пористый материал на основе гидроксиапатита показал высокую загрузочную способность тетрациклина и кверцетина. Продемонстрировано, что такие каркасы обладают антибактериальным действием против *S. aureus* и *E. faecalis*, являются биосовместимыми и нетоксичными.

Литература

1. LeGeros R.Z. Calcium Phosphate-Based Osteoinductive Materials // Chem. Rev. 2008. № 108. P. 4742–4753.
2. Predoi D., Iconaru S.L. and Predoi M.V. Fabrication of Silver- and Zinc-Doped Hydroxyapatite Coatings for Enhancing Antimicrobial Effect // Coatings. 2020. V. 10. №9. P. 905.
3. Chopra I., and Roberts M. Tetracycline Antibiotics: Mode of Action, Applications, Molecular Biology, and Epidemiology of Bacterial Resistance // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2001. V. 65. № 2. P. 232-260.

PARSING SYSTEM FOR CHEMICAL REACTIONS

Luzanova A.M.¹, Tonkii I.S.¹, Golovinsky R.P.¹
 Scientific supervisor – PhD Skorb E.V.¹
 1 – ITMO University

Annotation

This article describes a parsing system that uses optical recognition and neural networks to detect and extract chemical reactions from scientific articles. The system is designed to locate the reaction, determine the product and reactant, and gather all necessary reaction parameters such as temperature, catalysts, solvents, and pressure. The article explains the three stages of the parsing system, including the use of a dataset for training the neural network, the recognition of molecular structures, and the entry of all data into a database. This system has the potential to improve the efficiency and accuracy of chemical reaction extraction from scientific literature, aiding in the advancement of chemical research.

Keywords

Optical recognition, parsing system, chemical reaction, neural network, chemical dataset.

With the invention of computers, humanity began to think about digitalization of all information, including chemical data. As it is known, the most convenient and familiar to man format for recording the structures of molecules is their 2D images. Unfortunately, this format is not readable by a computer, which means that the necessity to have a tool for translation of images into computer-friendly format exists. This encouraged interested people to develop image-processing mechanisms, which in the future would greatly simplify the work of chemists. Currently, there are two types of mechanisms: rule-based and algorithms based on deep learning. Considering most of the earlier and latest developments, as well as based on articles written before, the parsing system for chemical reactions was presented in this article.

The concept of how the mechanism works can be divided into three steps (fig. 1).

agents [12]. Synthesis of hydrazone-hydrazone, pyrazole, pyridine, thiazole, thiophene derivatives (5-8) and their cytotoxicity evaluations has also been reported [8]. Szalóki et al., reported the synthesis and anticancer activity of some C-21 alkylaryyl pregnenolone derivatives (Representative structure 9, Fig. 1) [13]. Choudhary et al., reported synthesis and anticancer activity of benzylidenes, pyrazolines, pyrazoles, hydrazones, and oximes derivatives via modification of ring D of pregnenolone (Representative structure 10-11, Fig. 1) [14]. Shaoyong et al., reported the synthesis of a series of steroid[17,16-d]pyrimidines of type 12 (Fig. 1) derived from dehydrocorticosterone by heterocyclization reaction and evaluated them against human cancer cell lines [15].

Our research group is involved in computer assisted drug design and synthesis of new chemical entities for the treatment of various diseases [16,17]. We also focused on modification of existing drugs to enhance

Synthetic steroid derivatives in which steroid moiety have been modified through cyclization/ heterocyclization have attracted much attention in recent years. This chemical hybridization involves chemical nuclei to be linked or fused to form a new chemical entity of pharmacological potential. As anticancer agents, their molecular mechanism involved the inhibition of various target enzymes such as sulfatase, aromatase, and 5 α -reductase [7].

Choudhary et al., reported pyrazoline derivatives of pregnenolone as potent anticancer agents [14]. Recently we have reported dihydropyrimidine-5-carboxamide and 5-benzyl-2,4-diaminopyrimidine-based analogues for the inhibition of *Leishmania major* and human Dihydrofolate reductase [6]. It is also evident from the literature that inhibitors of DHFR differ from the substrate only in the replacement of 4-oxo group by 4-NH₂ group on pyrimidine ring. Hence, 2,4-

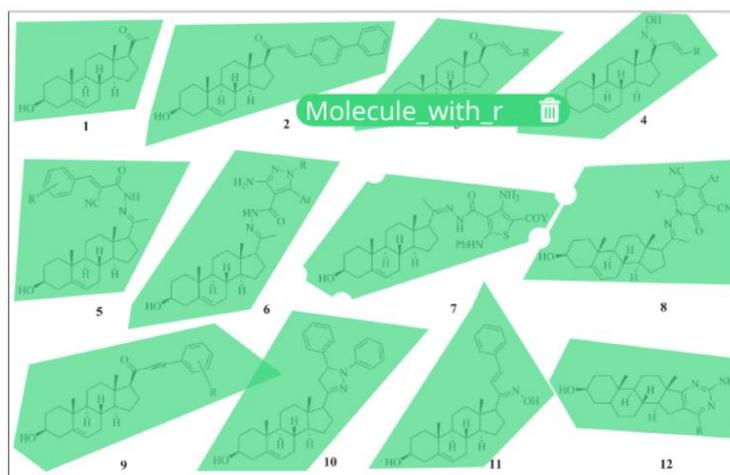


Fig. 1. Structures of pregnenolone and its derivatives.

Fig. 1. First step

The first is the optical recognition of the reaction in the article. The program finds where the reaction is located and determines what is the product, what is the reactant, and what are the reaction parameters.

These can include temperature, catalysts, solvents, pressure and any other information specified by the authors. At the moment, a dataset for the implementation of the described recognition is being assembled. The dataset includes images of marked articles, which is necessary for training the neural network, which in the future will be able to detect reactions. As the second stage of the mechanism, a system for recognizing the structures of molecules can be distinguished. In total, there are two conceptually different approaches to reading images of chemical structures and interpreting the results. The first of them is the roll-base programs. All of them basically contain a mechanism of OCR - optical chemical recognition, the work of which, in turn, can be divided into some steps. OSRA [1], Imago [2], Molvec [3] The second type of such mechanisms are neural networks. Among the most famous are Img2Mol [4], Img2SMILES [5], DECIMER [6], Chemcraft [7] and others. They usually have either transformer or autoencoder architecture. (fig. 2).

eous solution of sulfuric acid,¹⁸ whereas polyhalogenat
lines were diazotized under water-free conditions, in trifluor

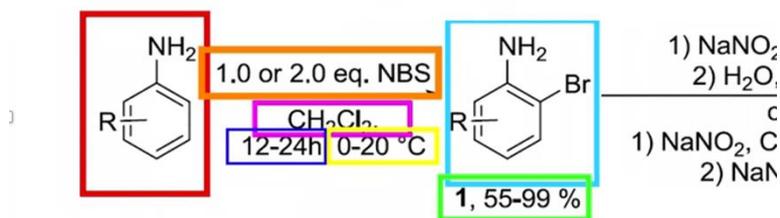


Fig. 2. Second step

DECIMER was integrated into the present parsing system because it showed the highest accuracy among all the systems tested independently. The third stage of the parsing system - is to enter all the data into the database (fig.3).

	Decimer	Molvec	img2mol	target_smiles
0	1e10002c(e1)c(C#N)n2-c1ccc(C(=O)O)c	C#Cc1en(-c2ccc(C(=O)O)c2)c2ccc(O	N#CCc1n1nc(-c2ccc2)n1	CCOc1ccc2c(c1)c(C#N)en2-c1ccc(C(=O)O)c(O)c1
1	CCN(CC)CCNc1c(C#N)n+1((O-))e2ccc(C	C=C1C=C(C)C=C=C1=N/C(NCCN(CC)CC	CCN(CC)CCNc1c(C#N)n+1((O-))e2ccc(C	CCN(CC)CCNc1c(C#N)n+1((O-))e2ccc(C
2	N#CCCS(=O)(=O)NC(=O)c1ccc(Cl)cc1	N#CCCCNC(=O)c1ccc(Cl)cc1F	N#CCCS(=O)(=O)NC(=O)c1ccc(Cl)cc1F	N#CCCS(=O)(=O)NC(=O)c1ccc(Cl)cc1F
3	N#Cc1c(-c2ccc2)c2a([nH]c1=O)-c1cc	N#CCCCNC(=O)c1ccc(Cl)cc1F	N#Cc1c(-c2ccc2)c2a([nH]c1=O)-c1cc	N#Cc1c(-c2ccc2)c2a([nH]c1=O)-c1cc
4	CC(C)C1CN(S(=O)(=O)C)C2CCc2(C#N)c2	CCNc1ccc(CS(=O)(=O)N2CCSC(C)C(C)C	CC(C)C1CN(S(=O)(=O)C)C2CCc2(C#N)c2	CC(C)C1CN(S(=O)(=O)C)C2CCc2(C#N)c2
5	CC(C)=O)C1ccc1N1CCN(c2ccc(NC)COC	COC(=O)C1ccc1N1CCN(c2ccc(NC)COC	COC(=O)C1ccc1N1CCN(c2ccc(NC)COC	COC(=O)C1ccc1N1CCN(c2ccc(NC)COC
6	N#CCG1(n2cc(C#N)=O)c(Nc3ccc(F)cc3)	N#CCG1(n2cc(C#N)=O)c(Nc3ccc(F)cc3)	N#CCG1(n2cc(C#N)=O)c(Nc3ccc(F)cc3)	N#CCG1(n2cc(C#N)=O)c(Nc3ccc(F)cc3)
7	COe1nc(-c2ccc3ccc3cc2)cc(-c2ccc(C)cc	COe1nc(-c2ccc3ccc3cc2)cc(-c2ccc(C)cc	COe1nc(-c2ccc3ccc3cc2)cc(-c2ccc(C)cc	COe1nc(-c2ccc3ccc3cc2)cc(-c2ccc(C)cc
8	COe1cc2a(Nc3ccc(O4ccc4)cc3)c(C#N)	COe1cc2a(Nc3ccc(O4ccc4)cc3)c(C#N)	COe1cc2a(Nc3ccc(O4ccc4)cc3)c(C#N)	COe1cc2a(Nc3ccc(O4ccc4)cc3)c(C#N)
9	Ce1cc(C)C(C#N)c(SCC(=O)N(CCC#N)c2	COe1cc2a(Nc3ccc(O4ccc4)cc3)c(C#N)	Ce1cc(C)C(C#N)c(SCC(=O)N(CCC#N)c2	Ce1cc(C)C(C#N)c(SCC(=O)N(CCC#N)c2
10	CN1C(O)C=C(C#N)C#N)c2cc(O)cc21C	C=C1c(-c(C#N)C#N)c2cc(O)cc21C	CN1C(O)C=C(C#N)C#N)c2cc(O)cc21C	CN1C(O)C=C(C#N)C#N)c2cc(O)cc21C
11	COe1cc(O)C(C2=Cc3ccc(OC)cc3C(C)C	CC(C)C1ccc(O)C(C2=Cc3ccc(OC)cc3C(C)C	COe1cc(O)C(C2=Cc3ccc(OC)cc3C(C)C	COe1cc(O)C(C2=Cc3ccc(OC)cc3C(C)C
12	CC(O)Nc1ccc(C#N)c(C2ccc(N)C)CC	CC(O)Nc1ccc(C#N)c(C2ccc(N)C)CC	CC(O)Nc1ccc(C#N)c(C2ccc(N)C)CC	CC(O)Nc1ccc(C#N)c(C2ccc(N)C)CC
13	CS(=O)(=O)c1ccc(Nc2n(C3(C#N)CN(C	C=C(OC1CCCC1)N1CC(CCN)n2cc(C)C	CS(=O)(=O)c1ccc(Nc2n(C3(C#N)CN(C	CS(=O)(=O)c1ccc(Nc2n(C3(C#N)CN(C
14	CC(C)NC(O)N(Ce1ccc(C#C2ccc(C)cc1)C	CC(C)NC(O)N(Ce1ccc(C#C2ccc(C)cc1)C	CC(C)NC(O)N(Ce1ccc(C#C2ccc(C)cc1)C	CC(C)NC(O)N(Ce1ccc(C#C2ccc(C)cc1)C
15	N#CCc1cc(O)c2ccc(-c3ccc(O)c(F)cc3)cc	N#CCc1cc(O)c2ccc(-c3ccc(O)c(F)cc3)cc	N#CCc1cc(O)c2ccc(-c3ccc(O)c(F)cc3)cc	N#CCc1cc(O)c2ccc(-c3ccc(O)c(F)cc3)cc
16	CCN(CC)c1nnc2ccc(C#CCNC(=O)c3cc(C	CC(C)CC(C)C1nnc2ccc(C#CCNC(=O)c3cc	CCN(CC)c1nnc2ccc(C#CCNC(=O)c3cc(C	CCN(CC)c1nnc2ccc(C#CCNC(=O)c3cc(C
17	O=[N+]([O-])c1ccc1CC#Cl	CC(C)O=[N+]([O-])c1ccc1CC#Cl	O=[N+]([O-])c1ccc1CC#Cl	O=[N+]([O-])c1ccc1CC#Cl
18	C#CCN(C)C1ccc1.CN1CC=C(c2ccc(C#CC	C#CCN(C)C1ccc1.CN1CC=C(c2ccc(C#CC	C#CCN(C)C1ccc1.CN1CC=C(c2ccc(C#CC	C#CCN(C)C1ccc1.CN1CC=C(c2ccc(C#CC
19	Cl.N#C(C)C(=O)Nc1ccc(N)cc1=C(O)C1	N#C(C)C(=O)Nc1ccc(N)cc1=C(O)C1	Cl.N#C(C)C(=O)Nc1ccc(N)cc1=C(O)C1	Cl.N#C(C)C(=O)Nc1ccc(N)cc1=C(O)C1
20	N#CCc1c(S)nc1CCC(=O)Nc1ccc(Cl)cc1	N#CCc1c(S)nc1CCC(=O)Nc1ccc(Cl)cc1	N#CCc1c(S)nc1CCC(=O)Nc1ccc(Cl)cc1	N#CCc1c(S)nc1CCC(=O)Nc1ccc(Cl)cc1
21	Ce1ccc(C)C(O)C#C2en(C3CC(O)C(CO)O3	Ce1ccc(C)C(O)C#C2en(C3CC(O)C(CO)O3	Ce1ccc(C)C(O)C#C2en(C3CC(O)C(CO)O3	Ce1ccc(C)C(O)C#C2en(N2CCOCC2)j1
22	CC(C)C(C#N)c1nc(N2CCOCC2)jnc(N2CC	CC(C)C(C#N)c1nc(N2CCOCC2)jnc(N2CC	CC(C)C(C#N)c1nc(N2CCOCC2)jnc(N2CC	CC(C)C(C#N)c1nc(N2CCOCC2)jnc(N2CC
23	N#CCc1cc(C)C(=O)Nc2ccc2Brc(-c2cc	Bc1ccc1NC(=O)C1=CN(CCC#N)N(C)C	N#CCc1cc(C)C(=O)Nc2ccc2Brc(-c2cc	N#CCc1cc(C)C(=O)Nc2ccc2Brc(-c2cc
24	CC(C)O=C(C#N)C(=O)Nc1ccc(-c2ccc(C	CC(C)O=C(C#N)C(=O)Nc1ccc(-c2ccc(C	CC(C)O=C(C#N)C(=O)Nc1ccc(-c2ccc(C	CC(C)O=C(C#N)C(=O)Nc1ccc(-c2ccc(C
25	CN1CCN(Cc2ccc(NC(=O)O)c3ccc(C#C	CC(C)CC1CCN(Cc2ccc(NC(=O)O)c3ccc	CN1CCN(Cc2ccc(NC(=O)O)c3ccc(C#C	CN1CCN(Cc2ccc(NC(=O)O)c3ccc(C#C
26	N#Cc1ccc(-c2nnc(CSCCN3CCOCC3)cc1	N#Cc1ccc(-c2nnc(CSCCN3CCOCC3)cc1	N#Cc1ccc(-c2nnc(CSCCN3CCOCC3)cc1	N#Cc1ccc(-c2nnc(CSCCN3CCOCC3)cc1
27	CN(C)N1C(N)=C(C#N)C(e2ccc(C)cc2)C2	CN(C)N1C(N)=C(C#N)C(e2ccc(C)cc2)C2	CN(C)N1C(N)=C(C#N)C(e2ccc(C)cc2)C2	CN(C)N1C(N)=C(C#N)C(e2ccc(C)cc2)C2
28	Cc1cc(C#N)cc(C)C1Oc1Nc1Nc2ccc(C#N	Cc1cc(C#N)cc(C)C1Oc1Nc1Nc2ccc(C#N	Cc1cc(C#N)cc(C)C1Oc1Nc1Nc2ccc(C#N	Cc1cc(C#N)cc(C)C1Oc1Nc1Nc2ccc(C#N
Точность	0.949	0.439	0.573	1.0

Fig. 3. Testing

While the parsing system has made some progress, there is still much work to be done. The team is currently in the process of expanding a unique dataset of molecules, which will be used to train a proprietary neural network for molecule recognition. Additionally, existing

solutions have been tested to develop a neural network for detecting reactions in articles. Despite the challenges ahead, the team is confident in their ability to create a product that will be an indispensable assistant to every chemist. With a solid foundation in place, the team is dedicated to continuing their efforts to improve the efficiency and accuracy of chemical reaction extraction from scientific literature.

References

1. Filippov I.V., Nicklaus M.C. Optical Structure Recognition Software To Recover Chemical Information: OSRA, An Open Source Solution // *J. Chem. Inf. Model.* 2009. 49(3). P. 740–743/
2. Kviatkovskii M., Samoylov V., Savelyev A. // GitHub: [Electronic resource]. Access mode: <https://github.com/epam/Imago> (date of application: 06.03.2023).
3. Peryea T., Katzel D., Zhao T., Southall N., Nguyen D-T Merge pull request / Peryea T., Katzel D., Zhao T., Southall N., Nguyen D-T // GitHub: [Electronic resource]. Access mode: <https://github.com/ncats/molvec?ysclid=le7d215m9l253888001> (date of application: 06.03.2023).
4. Clevert D.-A., Le T.R., Winter F., Montanari D.-A. Clevert T., Le R., Winter F. Montanari bayer-science-for-a-better-life/Img2Mol D.-A. Clevert, T.Le R., Winter F. Montanari [Electronic resource] // GitHub : [site]. URL: <https://github.com/bayer-science-for-a-better-life/Img2Mol?ysclid=lh10ulk4tr543627278> (application date: 28.04.2023).
5. Khokhlov I., Krasnov L., Fedorov M., Sosnin S. Syntelly/img2smiles_generator: Img2SMILES/ Khokhlov I., Krasnov L., Fedorov M., Sosnin S. [Electronic resource] // GitHub: [site]. URL: <https://github.com/bayer-science-for-a-better-life/Img2Mol?ysclid=lh10ulk4tr543627278> (application date: 28.04.2023).
6. Rajan K., Zielesny A., Steinbeck C. Kohulan/DECIMER-Image_Transformer / Rajan K., Zielesny A., Steinbeck C. [Electronic resource] // GitHub: [site]. URL: https://github.com/Kohulan/DECIMER-Image_Transformer?ysclid=lh113e42nd777400845 (дата обращения: 28.04.2023).
7. Chemistry Mod / [Electronic resource] // GitHub: [site]. URL: <https://github.com/harrio34/ChemCraft?ysclid=lh11bbgupb170789469> (application date 28.04.2023).

USE OF ELECTROCHEMICAL METHOD IN EVALUATION OF CORROSION INHIBITOR CONTENT IN WATER AND OIL-WATER EMULSION

Petrova M.S.¹, Semenov A.V.¹, Goncharov V.V.¹, Belyaev V.E.¹

Supervisor – PhD Skorb E.V.

1 – ITMO University

e-mail: mary1349@mail.ru

Abstract

This article discusses the application of the electrochemical method for detecting corrosion inhibitor content in reservoir water and water-oil emulsion. The effectiveness of the method on samples using copper and steel electrodes is proved. A model of measuring cell embedded in the oil pipeline to measure the concentration of inhibitor in the flow regime is developed. A method for pretreatment of copper electrodes to increase the sensitivity of the measurement has been developed.

Keywords

Corrosion inhibitor, reservoir water, oil, electrodes, electrochemical method.

Introduction

When water-oil mixtures are stored and transported, the metal carriers used in oil fields are severely corroded. This leads to equipment failure and the need to replace it. Replacing equipment is very costly, and such accidents also contaminate the environment. Corrosion of pipes leads to oil spills on the surface of the earth, in rivers and reservoirs. The solution to this problem is the introduction of corrosion inhibitors into the system. However, their control at the moment is carried out by calculating the difference of mass of a new metal rod and a rusted one immersed into the pipe for a month. This method is very dangerous and inaccurate, as it allows determining the concentration of the inhibitor only once every two months. Thus, the relevance of the research is the need to control the concentration of corrosion inhibitor in a complex water-in-oil mixture in a flowing mode and daily [1].

Main part

The studied water-oil fluid is a mixture of water and oil with clearly fixed interface. The corrosion inhibitor is regularly distributed between the water and oil phases of the water-oil fluid, which makes it possible to detect the concentration in the formation water associated with the oil [2].

Measurement of inhibitor content was carried out by electrochemical method. Cyclic voltammetry is a voltammetric method, in which the change in time of the current flowing through the system under study is recorded when a time-varying voltage is applied to it [3].

Development of a measuring cell model

To detect corrosion inhibitor concentration in oil, a necessary step is to separate produced water from oil. For this purpose, a cassette with measuring cells presented in Scheme 1 was developed. To separate will be used demulsifiers of complex compositions. Then, by means of domestic potentiostat connected to user computer and electrodes of different nature (steel, copper, nickel, graphite) inhibitor concentration is measured in each cell. The obtained voltammetric characteristics are processed by machine learning methods. The user receives the exact inhibitor content based on several measurements in the same solution by different electrodes. Afterwards, the replacement cassette is removed and a new cassette is put in its place (fig. 1).

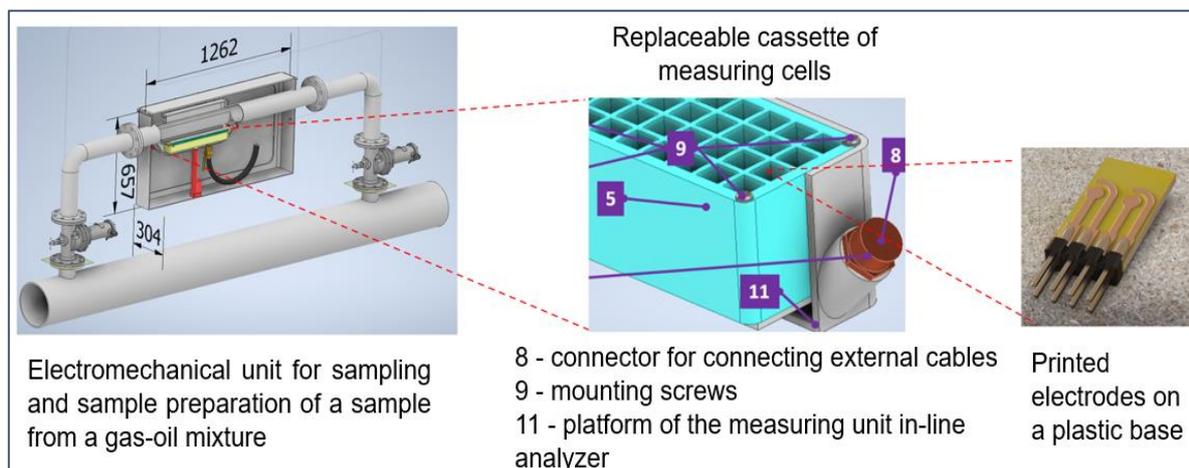


Fig. 1. Measuring cell model

Collection of a database of voltampere characteristics

To prove the effectiveness of the technique, we prepared formation water solutions and conducted experiments with various corrosion inhibitors. Ten different concentrations of 4 different corrosion inhibitors were studied by this method: TN-IK8, ITS-508, Sonkor 9920 A, Satis grade B.

Figure 2 (a, b) shows electrochemical characteristics of formation water samples with different contents of corrosion inhibitor. Using one of the four inhibitors as an example, we can visually assess the difference in voltammetry parameters. Thus, the oxidation and reduction peaks in the first figure occupy a smaller area of the graph than the peaks in the second figure. This reveals a pattern: the more TN-IK8 corrosion inhibitor added to the test sample, the more effectively it protects the steel electrode from corrosion, and the smaller in magnitude and range the peaks of oxidation and reduction.

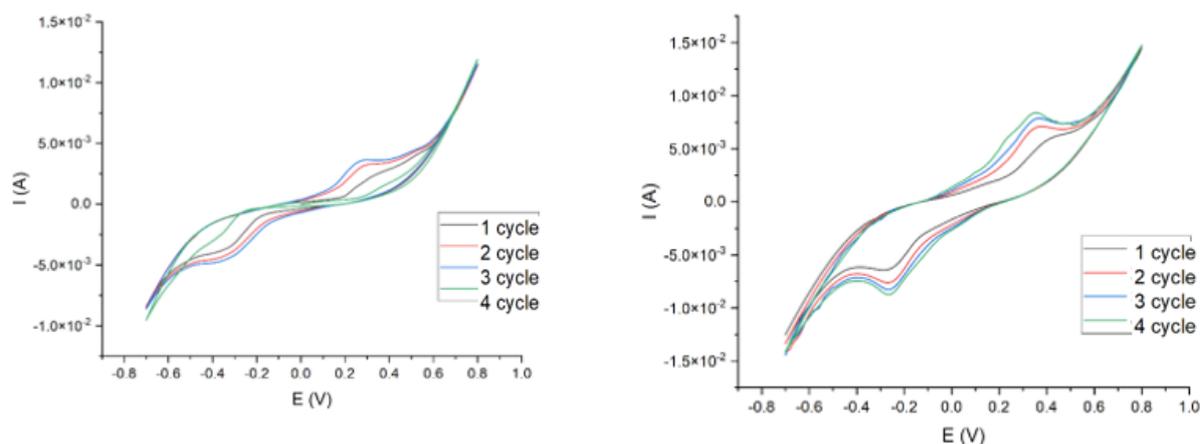


Fig. 2. (a, b). Electrochemical characteristics of produced water with the addition of TN-IK8 inhibitor (concentration 50 g/m^3 and 10 g/m^3 , respectively)

Similar results were obtained with electrodes of another nature: copper and graphite electrodes. Thus, the future multi-channel potentiostat will make it possible to measure samples using different metals to improve accuracy.

Using the DFT method, we calculated the binding of inhibitor molecules to a metal surface, as well as the distribution of the inhibitor between the water and organic phases.

Pretreatment of steel electrodes

To increase the sensitivity of copper electrodes, we tried several methods of surface cleaning: ultrasonic method, etching with sulfuric acid and nitric acid. The treated electrodes were immersed in identical samples of formation water solutions for further analysis of voltammetric characteristics. Figures 3 (a, b) shows images from a scanning probe microscope of the plate surface of untreated copper and copper etched in HNO₃. Thus, we can see that the surface of copper is cleaned from impurities and all rough spots are smoothed out. The voltammetric curves also indicate an improvement in the sensitivity of the method.

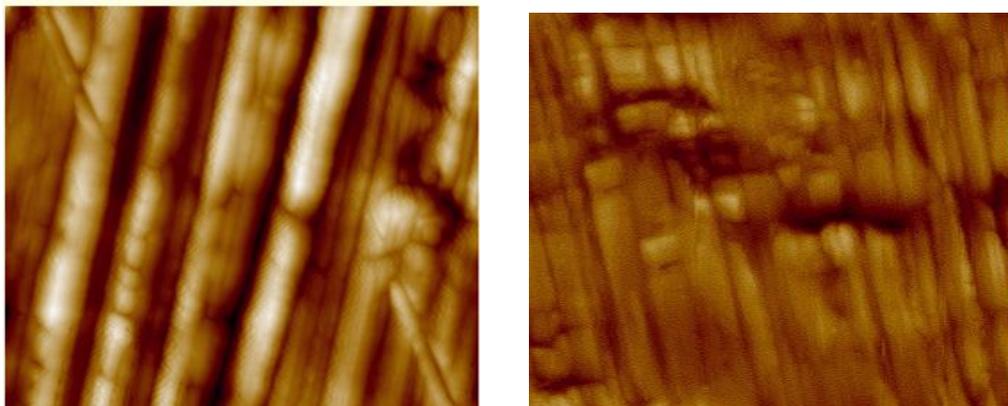


Fig. 3. (a, b) - AFM-images of copper plates before (a) and after (b) HNO₃ treatment

Conclusion

To create a database based on the results of experiments, the «Python 3» programming language and its NumPy and Pandas libraries were used. The results were processed by machine learning methods and tested in various ways based on a comparison of all five cycles of voltammograms, as well as a comparison of only the fifth cycles.

The percentage of predicted content based on the machine learning model is 86%. This allows us to conclude about the effectiveness of the electrochemical method in studying the compositions of a complex oil-water mixture and the prospects of using the developed technique directly in oil fields.

References

1. Jiang Q. et al. A Real-Time Electrochemical Impedance Analysis for Water-In-Oil Emulsions of Bitumen Diluted with Naphtha //ChemistrySelect. 2018. V. 3. №. 12. P. 3411-3416.
2. Alamri A.H., Alhazmi N. Development of data driven machine learning models for the prediction and design of pyrimidine corrosion inhibitors //Journal of Saudi Chemical Society. 2022. V. 26. №. 6. P. 101536.
3. Gao X. et al. Effect of amorphous phytic acid nanoparticles on the corrosion mitigation performance and stability of sol-gel coatings on cold-rolled steel substrates //Journal of Alloys and Compounds. 2018. V. 747. P. 747-754.

КОМПЛЕКСЫ ПРОТАМИН-МРНК

Шумкова В.А.^{1,2} (студент), **Добровольская О.А.**¹ (научный сотрудник),
Высочинская В.В.^{1,3} (научный сотрудник)

Научный руководитель – с.н.с., к.б.н., доцент Шишляников С.М.^{1,3}

1 – ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева»

2 – СПбАУ РАН им Ж.И. Алферова

3 – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

e-mail: wisdomalllife@gmail.com

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №23-25-00165).

Аннотация

В настоящее время разработка средств доставки нуклеиновых кислот в клетки представляет собой важную задачу, которая возникает в процессе создания новых вакцин. В данной работе были исследованы физико-химические свойства наноконплексов протамин/мРНК с использованием модельной мРНК eGFP, и было подобрано оптимальное соотношение протамин/мРНК, при котором наноконплексы наиболее стабильны. Оптимизация метода по созданию стабильных конплексов может значительно улучшить эффективность доставки мРНК в клетки. В дальнейшем планируется использовать полученные результаты для проведения *in vitro* и *in vivo* исследований доставки мРНК вакцин.

Ключевые слова

Протамин, мРНК, наноконплексы, вакцины, трансфекция.

В последнее время разработка вакцин на основе нуклеиновых кислот (НК) вызывает большой научный интерес и открывает новые направления в терапевтической практике. ДНК- и РНК-вакцины в отличие от традиционных считаются более безопасными, так как они не вызывают нежелательную иммунную реакцию организма [1]. Создание мРНК-вакцин на основе использования метода *in vitro* транскрипции позволяет быстро перейти от научных исследований к масштабированию технологических процессов получения вакцин [2]. Для доставки НК в клетки требуются специальные носители, поскольку ДНК и РНК имеют отрицательный заряд и не могут проникать через клеточную мембрану [2]. Незащищенные НК быстро деградируют, попадая в условия внутренней среды организма [2]. Эффективными системами доставки НК являются наночастицы на основе катионных липидов и полимеров [1, 2]. Они не только способствуют проникновению НК в клетки, но и поддерживают стабильность конплексов НК/носитель внутри организма. Некоторые носители могут выступать в качестве адьюванта для повышения иммунного ответа [2, 3]. Катионный пептид протамин применяется как носитель для доставки в клетки различных терапевтических средств. Он широко используется в медицине как препарат для нейтрализации гепарина и как адьювант в различных лекарственных формах [3]. Протамин положительно заряжен при физиологическом значении рН (за счет высокого содержания аминокислотных остатков аргинина), и поэтому самопроизвольно связывается с отрицательно заряженными молекулами нуклеиновых кислот, образуя при этом стабильные наночастицы в нейтральных водных средах [4]. Протамин имеет преимущество среди других полимеров благодаря относительной дешевизне, термостабильности и незначительной иммуногенности. Цель данной работы заключалась в оптимизации метода создания стабильных конплексов протамин с модельной мРНК (eGFP).

В данной работе было проведен анализ физико-химических свойств конплексов мРНК с протамином. Модельная мРНК белка GFP (green fluorescent protein) была

предоставлена сотрудниками лаборатории генной инженерии и экспрессии рекомбинантных белков НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева. В работе использовался сульфат протамина (Эллара, Россия) (10 мг/мл). Для создания комплексов смешивали 1 мкл мРНК (250 мкг/мл) с 3 мкл протамина различных концентраций (0.02-2.0 мг/мл) с получением различных соотношений масс протамин/мРНК (в диапазоне 0.12/1-24/1) [5]. Затем смесь оставляли на 10-20 минут при комнатной температуре. Анализ образования комплексов протамин/мРНК был проведен методом электрофореза в 1% агарозном геле в неденатурирующих условиях. Как видно на рисунке 1, комплексы протамин/мРНК останавливали свою миграцию при соотношении масс 1.2/1 (вес/вес) между протамином и мРНК. Эти результаты свидетельствуют о том, что протамин полностью связывает мРНК при соотношении масс 1.2/1, поскольку миграция сформированного комплекса протамин/мРНК на агарозном геле значительно замедляется из-за нейтрализации заряда и увеличения общего размера молекул.

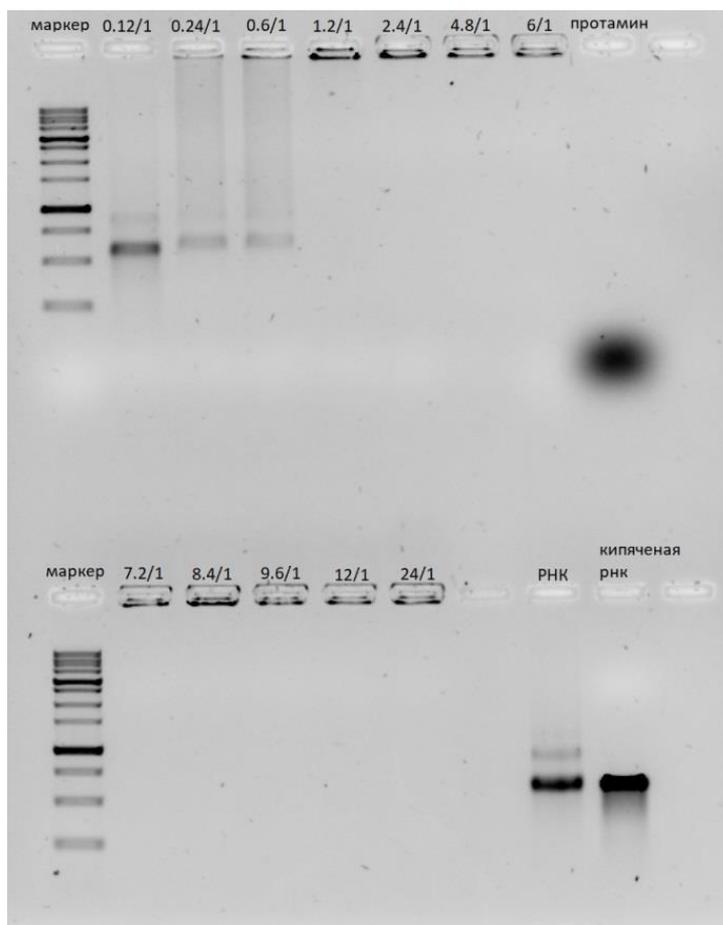


Рис. 1. Анализ гель-ретардации

Были проанализированы размеры полученных наноконплексов методом динамического светового рассеивания (dynamic light scattering) и были измерены дзета потенциалы наноконплексов электрофоретическим методом с использованием Zetasizer 3000 HS (Malvern Instruments, UK). На рисунке 2А и 2В показаны распределения по размерам и дзета-потенциалам конплексов протамин/мРНК (и протамин без мРНК при концентрации 1 мг/мл) соответственно. Протамин образует конплексы с мРНК со средним размером частиц в диапазоне 170-570 нм, что меньше частицы протамин без мРНК. Поверхностный заряд частиц в растворе положительный, что подтверждает связывание РНК с протамином. Минимальный размер конплексов составляет 169.35 нм

при соотношении масс 9.6/1 (вес/вес) (при PDI равном 0.26 и дзета потенциале +28.4). Максимальный заряд достигается при соотношении 9.6/1.

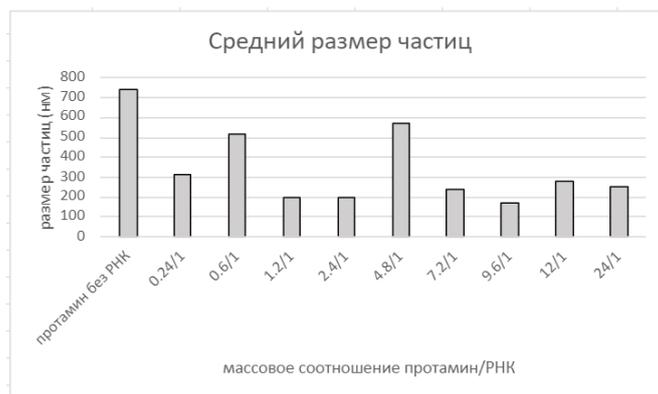


Рис. 2А. Средний размер частиц

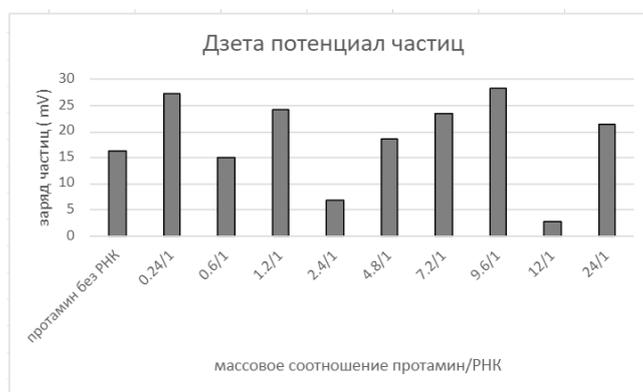


Рис. 2В. Дзета потенциал частиц

Оптимальный размер и дзета-потенциал комплексы составляли при соотношении протамин/мРНК 1.2/1 и 9.6/1. При этом они получают стабильными по показателям PDI. Но, при сравнении графиков распределения размеров частиц в единицах интенсивности и в единицах объема (рис. 3) для комплексов с соответствующими массовыми соотношениями, наилучший результат показали комплексы с соотношением протамин/мРНК 9.6/1. При соотношении 1.2/1 появляется широкий разброс значений, что указывает на то, что комплексы менее стабильны.

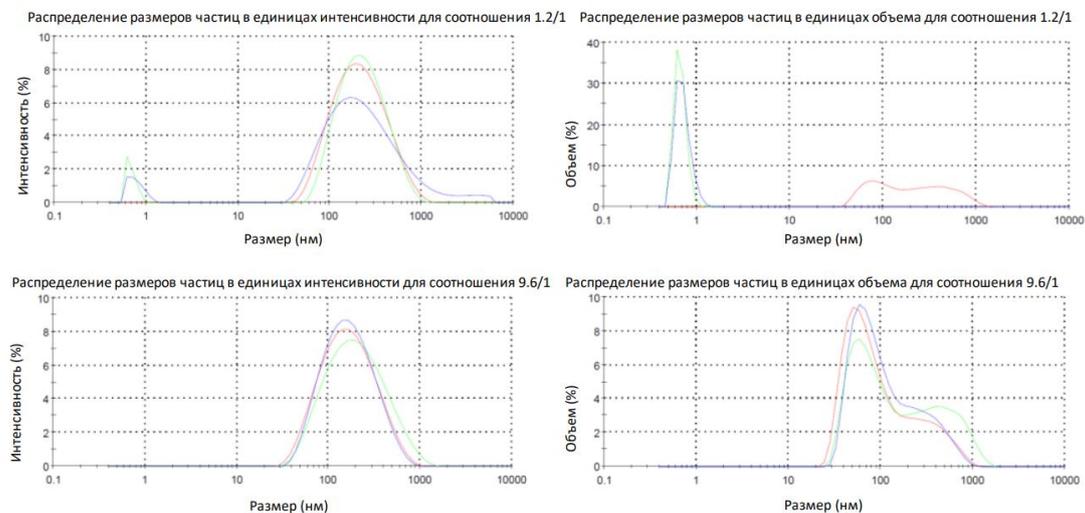


Рис. 3. Распределение размеров частиц в единицах интенсивности и объема

В данной работе были исследованы наноконплексы протамин/мРНК, а также было подобрано оптимальное соотношение протамин/мРНК, при котором наноконплексы наиболее стабильны. Полученные результаты планируется использовать для дальнейших *in vitro* и *in vivo* исследований мРНК-вакцин.

Литература

1. Paunovska K., Loughrey D., Dahlman J.E. Drug delivery systems for RNA therapeutics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41576-021-00439-4> (дата обращения: 20.04.2023).
2. Pozharov V.P., Minko T. Nanotechnology-Based RNA Vaccines: Fundamentals, Advantages and Challenges [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010194> (дата обращения: 22.03.2023).
3. Ruseska I., Fresacher K., Petschacher C., Zimmer, A. Protamine – a review on an oligonucleotide-binding peptide applied in nanopharmaceuticals including vaccines [Электронный ресурс]. Режим доступа: [doi:10.20944/preprints202104.0562.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202104.0562.v1) (дата обращения: 28.03.2023).
4. Jarzebska N.T., Mellet M., Frei J., Kundig T.M., Pascolo S. Protamine-based strategies for RNA-transfection [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13060877> (дата обращения: 22.03.2023).
5. Jarzebska N.T., Lauchli S., Iselin C., French L.E., Johansen P., Guenova E., Kundig T.M., Pascolo S. Functional differences between protamine preparations for the transfection of mRNA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/10717544.2020.1790692> (дата обращения: 20.02.2023).

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА,
МУЛЬТИМЕДИА И ИНТЕРФЕЙСЫ**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВО ВРЕМЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРОЦЕДУР

Генчева А.В.¹ (магистр)

Научный руководитель – к.филос.н., доцент факультета ПИиКТ Смолен А.А.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: alyona_gen@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрено текущее применение результатов диагностических исследований для ознакомления перед хирургическим вмешательством и во время плановых консультаций в медицинских организациях. Проведено юзабилити-тестирование существующих приложений в виртуальной реальности и прототипа в Unity, запущенного в Zero Iteration Magic Leap в рамках проектирования минимально необходимого функционала для комфортной работы с результатами диагностических исследований.

Ключевые слова

Компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, виртуальная реальность, дополненная реальность, сердечно-сосудистая анатомия.

В настоящий момент ознакомление медицинского персонала с диагностическим изображением пациента производится с помощью мониторов в операционной или специализированных программ на стационарном рабочем месте. Данный метод обращения практичен, но не совсем удобен. Большие мониторы в операционной не позволяют хирургу самостоятельно масштабировать изображение и самостоятельно управлять вниманием. Программы для вывода трехмерных моделей и двумерных снимков для плановой диагностики не обладают мобильностью. Реализации на планшетных компьютерах связаны с ограничением видимости по причине разрешения экрана.

С другой стороны, в коммерческих зарубежных клиниках запускаются пилотные продукты в дополненной реальности для наложения результатов диагностических исследований на пациента в режиме реального времени. Подобные приложения прогрессивны и являются дорогостоящими по причине высоких требований к точности устройства, но содержат погрешность в виде отклонений от траектории введения штифта [1, 2]. Более доступные для анализа продукты в виртуальной реальности предусматривают изучение анатомии в плановом режиме с целью обучения, но не направлены на диагностику патологий пациента [3, 4]. В работе исследуется предположение, связанное с возможностью отображения необходимых результатов диагностики пациента в дополненной реальности на основании виртуальной реальности. Для составления гипотез необходимо понимание применения разных методов. Основное преимущество диагностических изображений – визуализация патоморфологических изменений [5]. Медицинский сотрудник обращается к компьютерной томографии пациента с целью изучения патологий рентгеновской плотности. Магнитно-резонансная томография показывает состояние суставов, головного и спинного мозга.

Основной эксперимент проводился с целью проверки гипотез на основании использования приложений виртуальной реальности с результатами диагностических исследований. Количественной метрикой выступает время на обнаружение сосудов печени в абдоминальной области. Первый блок эксперимента направлен на проверку двух форматов режима сердечно-сосудистой анатомии. Проверяемая гипотеза: задача решается быстрее с применением двумерного результата диагностического исследования в «MegalicImagingVR», чем с трехмерной моделью в приложении

«MedicalHolodesk». Нулевая гипотеза для нее утверждала, что время решения задачи будет одинаковым. Тест Манна - Уитни на независимой выборке показал, что задача поиска области на двумерном снимке решается быстрее, чем на трехмерной модели при двусторонней проверке. Фактическая мощность для конкурирующей гипотезы, оцененной по пилотным данным при $\alpha = 0.025$ составляет 99.88% ($\beta = 0.001$). Расчет статистической значимости представлен в таблице 1.

Таблица 1

Расчет статистической значимости для первой гипотезы

U	m	n	z	p -value
10	13	12	-3.67	2.5%

На рисунке 1 представлены доверительные интервалы с помощью «японских свечей», которые визуальнo подтверждают, что время, затрачиваемое на поиск сосудов печени в абдоминальной области в двухмерном изображении, меньше, чем на трехмерной модели.



Рис. 1. Доверительный интервал (99.88%) для медианного времени решения задачи

Второй блок эксперимента направлен на проверку двух контрастных диагностических изображений магнитно-резонансной томографии. Проверяемая гипотеза: задача решается быстрее с применением черно-белого результата диагностического исследования, чем цветного в «MegicalImagingVR». Нулевая гипотеза утверждала, что время решения задачи будет одинаковым. Тест Манна - Уитни на независимой выборке показал, что задача поиска области на черно-белом снимке решается быстрее, чем на цветном. Фактическая мощность для конкурирующей гипотезы, оцененной по пилотным данным при $\alpha = 0.05$ составляет 99.98% ($\beta = 0.0002$). Расчет статистической значимости представлен в таблице 2.

Таблица 2

Расчет статистической значимости для второй гипотезы

U	m	n	z	p -value
28	13	12	-2.69	0.71%

На рисунке 2 представлены доверительные интервалы, которые визуальнo подтверждают, что время, затрачиваемое на поиск с использованием результата диагностики черно-белого формата, меньше, чем с применением цветного.

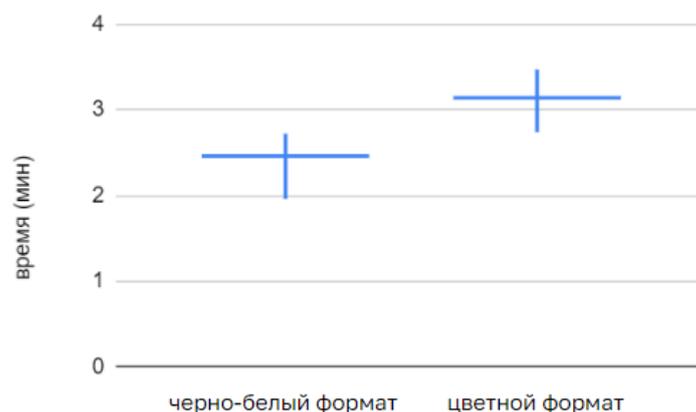


Рис. 2. Доверительный интервал (99.98%) для медианного времени решения задачи

Корреляция Спирмена между опытом взаимодействия и количеством используемых проекций оказалась статистически значимой и сильной на уровне $\alpha = 0.017$ при двусторонней проверке с поправкой на непрерывность. По завершению эксперимента проведено интервью и собраны качественные данные, позволяющие оценить удобство интерфейса в приложении виртуальной реальности «Organon VR Anatomy» и «MegalImagingVR»:

- результаты диагностических исследований не должны закрывать обзор жизненно-важных приборов;
- приоритетность вывода компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии индивидуальна у каждого пациента, зависит от заключения специалистов и постановки диагноза, поэтому необходим функционал вывода по запросу медицинского персонала во избежание перегруза интерфейса;
- возможность открытия ключевых диагностических снимков для конкретного пациента реализуется с помощью постановки статуса в базе данных медицинской информационной системы, запущенной в организации;
- изучение сосудистой анатомии пациента является первым приоритетом во время хирургического вмешательства;
- масштабирования диагностических изображений в сочетании с голосовой активацией упростят взаимодействие медицинского персонала;
- юридическая проверка соответствия заключается в отображении идентификационных данных пациента, диагнозе и степени риска.

Эксперимент проводился как модерлируемое юзабилити-тестирование. Респондентами выступали ординаторы медицинских университетов с небольшим опытом работы в хирургии. Дополнительно получены рекомендации от главного врача на основании показа результатов. В результате проведен пилотный и основной эксперимент на предмет исследования затраченного времени с целью правильного обнаружения области пациента по разным форматам отображения результатов диагностических исследований. Выборка оказалась небольшой, поэтому в дальнейшем необходимо расширение фокус-группы с привлечением разных специалистов, связанных с изучаемой областью, среднего и высокого опыта взаимодействия. Применение результатов диагностических исследований во время медицинских процедур охватывает погружение в детальную характеристику, а именно: контрастность изображений и размер области в пространстве. Более того, важно провести глубокое тестирование на предмет взаимодействий. Будет ли голосовая активация реагировать на другой медицинский персонал в помещении, и какой формат масштабирования подойдет для использования. В работе исследуется только абдоминальная область, следовательно, необходимо охватить дополнительно другое анатомическое расположение.

Литература

1. Yuchiro A., Shigenobu S., Koji K. A novel 3D guidance system using augmented reality for percutaneous vertebroplasty.2013. [Электронный ресурс]. URL: [https:// doi.org/ 10.3171/2013.7.SPINE12917](https://doi.org/10.3171/2013.7.SPINE12917). (дата обращения: 03.03.2023).
2. Ji-Gang Ch., Kai-Wei H., Dan-Feng Zh. Presurgical planning for supratentorial lesions with free slicer soft and sina app //World Neurosurgery. 2017. Т. 106. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.06.146>.
3. Augmented reality in Healthcare [Электронный ресурс]. URL: [https:// medicalfuturist.com/ augmented-reality-i n-healthcare-will-be-revolutionary/](https://medicalfuturist.com/augmented-reality-in-healthcare-will-be-revolutionary/). (дата обращения: 03.03.2023).
4. Jose D. Velazco-Garcia Evaluation of how users interface with holographic augmented reality surgical scenes: Interactive planning MR-Guided prostate biopsies //Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 2020. [Электронный ресурс]. <https://doi.org/10.1002/rcs.2290>. (дата обращения: 03.03.2023).
5. Митракова Н.Н., Евдокимов А.О. Компьютерная томография: конспект лекций. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2013. 124 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
VR-ТРЕНАЖЁРА КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ
И НЕЙРОМЕТАБОЛИЧЕСКОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

Демидова А.И.¹ (студент)

Научный руководитель – к.филос.н., доцент факультета ПИиКТ Смолен А.А.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: zytirfa@gmail.com

Аннотация

В данной работе было исследовано применение комбинации нейрометаболического стимулятора Mojo и VR-тренажера Enhance VR для улучшения результатов тренировочных игровых сессий в виртуальной реальности и повышения соответствующих показателей, а именно концентрации внимания, скорости реакции, активной рабочей памяти пользователя и снижения количества ошибок при выполнении заданий.

Ключевые слова

VR, виртуальная реальность, нейрометаболические стимуляторы, когнитивные способности, когнитивный тренажёр, нейрофитнес.

Стремление к самосовершенствованию всегда было присуще человечеству. На нём основана печально известная концепция сверхчеловека, и из него же проистекают популярные в наши дни трансгуманизм и биохакинг. Поисками средств, способных сделать нас быстрее, сильнее и, конечно, умнее, занимались мыслители древности, алхимики, экспериментаторы Викторианской эпохи. В 1896 году студенты-медики Лондона для мобилизации умственных ресурсов активно употребляли стрихнин. В небольших дозах стрихнин работает как кратковременный стимулятор, действие которого на нервную систему аналогично эффекту кофеина. Правда, в отличие от кофеина, достаточно 5 миллиграммов стрихнина, чтобы убить взрослого [1]. Очевидно, почему подобный метод стимуляции когнитивных ресурсов был отброшен, а поиски безопасного и эффективного способа продолжились и идут до сих пор. В настоящее время фокус сместился на когнитивные тренировки – упражнения, позволяющие поддерживать и улучшать активность мозга.

Когнитивные тренировки активно используются для профилактики и лечения различных состояний, связанных с нарушениями когнитивных функций (например, внимания и памяти), таких как деменция, СДВГ, болезнь Альцгеймера и другие. Они также полезны для здоровых людей, чья деятельность требует высокой концентрации и мобилизации умственных ресурсов – преподаватели, студенты, медицинские работники и директора. Кроме того, увлечение когнитивными тренировками может оказаться полезно для адаптации к быстро развивающимся технологиям. Интерес к стимуляции мозговых функций привел к созданию "brain training games" в виртуальной реальности, разработке нейрометаболических стимуляторов и формированию концепции "нейрофитнеса", то есть тренировки когнитивных способностей для здоровых людей. Интеграция технологий виртуальной реальности в процесс обучения, кроме того, способствует более продуктивному усвоению студентами материала [2, 3]. Актуальность обращения к виртуальной реальности подтверждает и тот факт, что подобные тренировки с погружением в искусственно созданную учебную среду благодаря мультисенсорной стимуляции помогают улучшить способность справляться с "информационным шумом", возникающим из-за обилия современных медиа и источников информации.

Погружение в виртуальную реальность положительно влияет на концентрацию внимания, а объединение разработанных ранее тренажёров когнитивных функций с гарнитурой виртуальной реальности приводит к улучшению показателей пользователя. Например, когнитивный тренажер, созданный в 2020 году для профилактики деменции и улучшения когнитивных функций при старении, был более эффективным при использовании совместно с VR-гарнитурой. Это привело к ускорению переключения внимания пользователей на 3,96 секунды в среднем в ходе выполнения соответствующих упражнений [4].

Тренажёры в виртуальной реальности можно назвать "внешним" способом стимуляции. Теперь рассмотрим "внутренний", при котором стимуляция когнитивных функций происходит благодаря приёму соответствующих веществ. Препараты, известные как нейрометаболические стимуляторы или ноотропы, создавались психиатрами для работы с когнитивными нарушениями при болезни Альцгеймера и шизофрении, повреждениях областей коры больших полушарий и синдроме дефицита внимания и гиперактивности. Однако, тестирование некоторых препаратов на здоровых людях показало их эффективность и привело к использованию нейрометаболической терапии для повышения сопротивления стрессу и усиления когнитивных функций, таких как активная рабочая память и способность к концентрации внимания у людей, работающих в условиях высокой нагрузки. Астронавты, работающие на международной космической станции, регулярно и эффективно включают применение ноотропов в свои тренировки и ежедневную диету [5]. Кроме того, уже упоминавшаяся формирующаяся культура нейрофитнеса тоже включает в себя применение нейрометаболических стимуляторов здоровыми людьми для повышения продуктивности, работоспособности и облегчения работы в условиях, требующих повышенной когнитивной нагрузки.

Интеграция применения терапии в виртуальной среде и поддерживающих препаратов в настоящий момент широко и успешно применяется в анестезиологии. В эксперименте, проведённом в 2020 году в университете Пуатье англо-французской группой исследователей, удалось подтвердить усиление эффекта медикаментозной анестезии погружением пациента в искусственную реабилитационную среду при помощи гарнитуры виртуальной реальности [6]. В некоторых случаях исследователи в области психиатрии также подтверждают взаимное усиление эффекта при совместном применении терапии с погружением в виртуальную реальность и препаратной терапии, однако, на данный момент, комбинация когнитивных тренажёров на базе VR и нейрометаболических стимуляторов является неизученным полем. Наличие общественного запроса, о котором свидетельствуют приведённые выше данные о тенденции включения нейрометаболических стимуляторов в повседневность и формировании культуры нейрофитнеса, стремительное развитие VR-технологий и их доказанная эффективность в вопросах обучения и тренировки когнитивных способностей, доказывает перспективность направления для исследований.

Была выдвинута гипотеза о возможности влияния эффекта приёма ноотропного препарата на результаты, полученные пользователем в ходе игровой сессии в тренажёре когнитивных способностей на базе виртуальной реальности, при совместном одновременном применении.

Проверка гипотезы, обозначенной выше, состоялась в рамках проведённого эксперимента. 66 респондентов, без нарушений слуха и зрения, без склонности к эпилепсии, мигрени и иным заболеваниям, препятствующим нахождению в виртуальной реальности, без имплантированного кардиостимулятора и не подверженные никаким заболеваниям, влияющим на когнитивные функции (в том числе СДВГ), старше 18 лет, участвовали в двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании. В качестве препарата применялся нейрометаболический стимулятор на растительной основе Mojo (производимый компанией Gwella), выпускаемый в форме

мармелада, как безрецептурный, безопасный, легальный и, по заявлениям производителя, обладающий подтверждённой эффективностью. Действие этого препарата основано на принципе микродозинга функциональных грибов – в составе присутствуют кордицепс китайский (*cordyceps sinensis*), кордицепс военный (*cordyceps militaris*) и ежевик гребенчатый (*lion's mane*). Применявшийся в эксперименте VR-тренажёр когнитивных способностей Enhance разработан при участии нейробиологов, аудиологов и учёных-когнитивистов. Эта программа относится к жанру *serious game* или *applied game* – они содержат игровой элемент, однако их основной целью является не развлечение. Enhance содержит набор приложений, направленных на тренировку различных когнитивных функций, для применения в исследовании была выбрано то приложение, которое позволяло задействовать в тренировке наибольшее число (активная рабочая память, скорость реакции, концентрация внимания пользователя).

Перед началом эксперимента все участники были ознакомлены с подробностями и дали информированное согласие, а также прошли скрининг на наличие аллергии, подверженность "motion sickness" и другие факторы, которые могут повлиять на результаты эксперимента. Далее, участники были случайным образом разделены на контрольную и экспериментальную группы. Обе группы проходили по две игровые сессии в VR-тренажёре Enhance, где одна сессия проводилась без применения стимулятора, а другая - с его применением (контрольная группа получала плацебо). Порядок игровых сессий был рандомизирован для снижения влияния "эффекта насмотренности". Основным показателем стала разница между игровыми баллами, полученными в первой и второй игровых сессиях.

Средняя разница между игровыми баллами, полученными в первой и второй игровых сессиях, была значительно выше в экспериментальной группе, получавшей нейрометаболический стимулятор Mojo, чем в контрольной группе, получавшей плацебо. Доверительный интервал для экспериментальной группы составил от 6.8 до 13.7, в то время как для контрольной группы он составил от 0.2 до 6.5. На рисунке визуализированы расчёты доверительных интервалов для целевого показателя экспериментальной гипотезы (разницы игровых баллов, набранных в результате игровых сессий без применения и с применением нейрометаболического стимулятора либо плацебо) двух групп респондентов. Синий столбец – группа плацебо, красный – экспериментальная группа (получавшая ноотроп) (рисунок).

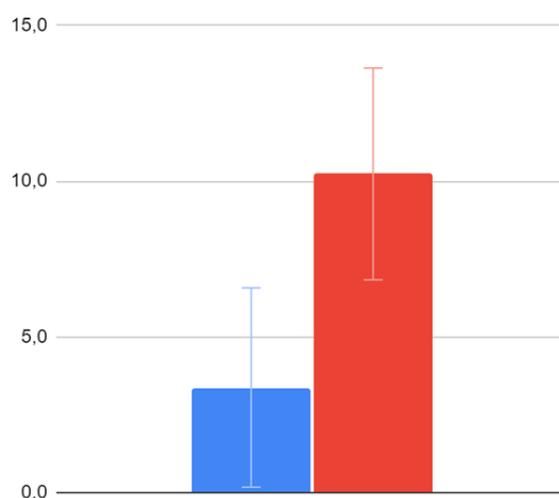


Рисунок. Доверительные интервалы, построенные в ходе анализа собранных данных

Полученные результаты свидетельствуют о подтверждении гипотезы о наличии влияния приёма нейрометаболического стимулятора на результаты тренировки

когнитивных способностей в VR-тренажёра. Также можно говорить об успешности совместного применения нейрометаболического стимулятора Mojo как дополнения к тренировке когнитивных способностей при помощи тренажёра на основе виртуальной реальности и положительном эффекте ноотропа на результаты пользователя, полученные в ходе игровой сессии.

Литература

1. Sandall L. An overdose of strychnine // *The Lancet*. 1896. №. 147(3787). P. 887.
2. Chen S., Zhu J., Cheng C. et al. Can virtual reality improve traditional anatomy education programmes? A mixed-methods study on the use of a 3D skull model.// *BMC Med Educ*. 2020. №. 20. P. 395.
3. Селиванов В.В., Селиванова Л.Н. Виртуальная реальность как метод и средство обучения // *Образовательные технологии и общество*. 2014. № 3. С. 378-391.
4. Penalosa C.I., Segado M., Debergue P. BMI-VR based Cognitive Training improves Attention Switching Processing Speed.// *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. 2020. P. 12-17.
5. Thirsk R., Kuipers A., Mukai C., Williams D. The space-flight environment: the International Space Station and beyond.// *Canadian medical association journal (CMAJ)*. 2009. №. 180(12). P. 1216-1220.
6. Roxburgh T., Li A. et al. Virtual Reality for Sedation During Atrial Fibrillation Ablation in Clinical Practice: Observational Study [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8193475/> (дата обращения: 09.03.2023).

КОНЦЕПТ-АРТ КАЗУАЛЬНЫХ ИГР КАК ФОРМА СОЦИАЛЬНОЙ РЕФЛЕКСИИ: ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕЖИВАНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В АДАПТАЦИОННЫЕ ПЕРИОДЫ

Лясковская В.А.¹ (ассистент кафедры компьютерной графики и дизайна)
1 – Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
e-mail: vikkilex.art@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №18-23/ГП «Экспериментальные формы цифрового взаимодействия: нейросети как инструмент генерации визуального контента».

Аннотация

В статье автор предлагает рассмотреть разработку игровых концептов в комплексном подходе программирования, визуального оформления и психоэмоционального воздействия на пользовательский опыт. Теоретическое наполнение статьи базируется на проводимом исследовании цифровых экспериментальных форм, направленных на взаимовлияния и совместную творческую деятельность в области современного искусства. В предложенном разделе раскрывается визуальное оформление игровых 2D-проектов как инструмент воздействия на психоэмоциональный фон игрока. Обозначенная проблематика раскрывается на примере создания казуальных игр, как формы многопользовательской виртуальной реальности.

Ключевые слова

Цифровое искусство, гейм-дизайн, геймификация, пользовательский опыт, ментальное здоровье, психологическая адаптация.

За последние 10 лет цифровые коммуникативные методы художественной среды вошли в тесную связь с виртуальной и дополненной реальностью, даруют нам digital-art и оказывают влияние на становление особой «альтернативной реальности», тесно связанной с индустрией гейм-дизайна. Геймификация процессов межличностной координации внутри социальной и духовной сфер жизни общества вышла на качественно новую ступень развития. Всё чаще публикуются результаты изучения эмоциональной реакции игроков в момент прохождения игры, а потребительский спрос склоняется к упрощению механизмов взаимодействия в игровых процессах и демонстрирует потребность в релаксации и понижении уровня эмоционального вовлечения [1]. Тем не менее, ни один набор игровых механик, без грамотно выстроенного художественного оформления, не захватит пользователя.

Пространственные и синтетические виды визуального искусства давно взяли на себя роль «маршрутизатора» эмоциональной реакции на объекты и события, становясь «возбудителем» и/или выступая триггером. Виртуальная среда – во многом привлекательная альтернатива, исходя из того, что реальный мир зачастую не настроен обеспечивать качественно спроектированные акты вовлечения людей в бытовые процессы жизнедеятельности, а также не модифицирует коммуникативные процессы в увлекательные формы достижения поставленных задач и упрочнение социальных связей. На первые роли выходят вопросы мотивации и образуется тесная взаимозависимость между визуальным восприятием, факторами психологического воздействия и моделированием увлекательного игрового цикла в гейм-дизайне. Игровые виртуальные пространства привлекают людей разного возраста по всему миру. Причина тому – сонастройка с эмоциональным состоянием пользователя и удовлетворения подлинных потребностей игроков. Исследователей игровой сферы привлекают вопросы вовлечённости пользователей в том числе исходя из их возраста и социального статуса.

Данная научно-исследовательская работа базируется на аспектах восприятия реальности в контексте возрастной психологии. В следствии чего, гипотезой становится рассмотрение видеоигры как вспомогательной функции в адаптации и стабилизации

эмоциональной нагрузки студентов в системе высшего образования. Охватывается возрастной период от верхней границы старшего подросткового возраста (17-18 лет), когда человек, окончив школу и поступив в высшее учебное заведение, обретает статус «студента» и заканчивается периодом ранней взрослости (23-25 лет), когда человек приближен к завершению получаемого образования. Учитывая специфику этапа «студенчества», во всех его проявлениях, маркировка исследовательских блоков пала на пограничные состояния между:

- потребностью в эмоциональной разрядки и отвлечении;
- воздействию тревожных переживаний извне;
- склонностью к психически нестабильным эпизодам.

Перечисленные факторы предлагается разобрать в двух парадигмах:

- с позиции гейм-дизайна;
- с позиции пользовательского опыта.

Игровым направлением выбраны казуальные игры, ориентированные по своей структуре на широкую аудиторию и охватывающие несколько жанров. Кор-динамика таких игр содержит в себе наборы элементарных механик, способствующих благоприятному воздействию на рецепторы восприятия игрока [2]. Теоретическая часть исследовательской работы подкреплялась практикой. Пробное формирование концептов и визуала в рамках гейм-дизайна предложена студентам кафедры компьютерной графики и дизайна Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, соответствующим заявленной возрастной группе. Данное распределение позволяет фиксировать не только пользовательский опыт, но и сублимацию актуальных переживаний целевой аудитории, выраженную в изобразительной форме художественного творения. Полученный визуальный ряд и сюжетные линии были распределены по жанрам, стилевым направлениям и вынесены в список трендов отражающих запрос авторов.

Популярными направлениями стали:

- диссоциативная амнезия в контексте неспособности главного героя вспомнить важную личную информацию;
- тревога в контексте потери игровым персонажем возможности контролировать ход событий в привычных жизненных процессах и бытовых ситуациях;
- экзистенциальное одиночество в контексте невозможности межличностных взаимодействий между игровыми персонажами и окружающей их действительность;
- социальная проблематика в контексте демонстрации игровым персонажем склонности к алкогольным и никотиновым зависимостям, а также связанных с ними форм девиантного поведения, беспокоящего и нарушающего личные границы окружающих;
- деструктивное принятие реальности в контексте отрицания главным героем «реального» в пользу иллюзорного мировосприятия.

Промежуточные результаты работы над визуальным оформлением были собраны и представлены студентами формате анимированных презентаций предполагаемого геймплея их игровых проектов. Анализ результатов проделанной работы показал, что на данном этапе в концептах не хватает динамики сценарных действий, предположительно, из-за изначально слабых игровых механик. Сложившаяся ситуация разрешима путём переработки технического сценария.

Однако, проведённый опрос среди целевой аудитории, направленный на измерение уровня лояльности к концептуальному решению и визуальному оформлению игровых проектов, показал высокий интерес потенциальных пользователей к игровому процессу сонастраивающемуся с их эмоциональным состоянием. Ведущим показателем намерения продолжать взаимодействовать с ресурсом стали предложенные игровые формы (*квесты, пошаговые стратегии, симуляторы*), закладывающие определённые паттерны. Динамика изменения поведенческих паттернов игровых персонажей

побуждает пользователя не только к эмпатии в контексте сюжета, но и к трансляции собственных переживаний в процессе прохождения игры.

Как известно, период студенчества влечёт за собой не только интеграцию в систему высшего образования с её формами адаптации, но и активное давление извне. Важность этапа взросления и формирования зрелой, самостоятельной личности граничит в этот момент с хрупкостью ментальных процессов и разной формой реакции на стресс. Гуманное развитие общества подразумевает принятие различий каждого индивида. В целях тренировки психических реакций на раздражители разного типа, для обозначенной возрастной категории, необходимо разрабатывать программы психологической адаптации с возможностью моделирования ситуаций коррелирующих с состоянием человека. Реализация идей данного направления не должна вызывать дискомфорта и принуждать к участию. Оптимальным решением поставленной задачи становятся игровые формы и геймификация в целом, как канал связи. Многие исследования в сфере гейм-дизайна сводятся к следующим основным свойствам компьютерной игры: предписанные критерии *целеполагания*, определение *правил*, *фидбэк* в момент прохождения и поддерживающая его установка *добровольного вовлечения* в игровой процесс.

Целеполагание рассматривается в контексте формы достижения конечного результата в процессе прохождения игры. Главным условием целевой установки становится погружение участников в механику активных ощущений самой цели и процесса её достижения. Запускается искусственно спровоцированная эмоциональная реакция на стремление к конкретному и понятному результату. Определение правил необходимо для установки ограничивающих механизмов на пути к достижению цели. Требуется данный пункт для стимулирования творческих и мыслительных процессов в момент выработки стратегии к прохождению игры. Фидбэк в момент прохождения игры необходим для информирования игроков о приближении конечной цели. Демонстрация уровня прохождения, заработанных баллов, счёта и иных наглядных метрик помогает усилить эмоциональное воздействие на пользователя, сообщая ему о достижимости поставленных целей. Поддерживающая установка добровольного вовлечения, в свою очередь, зацикливает описанный процесс, побуждая пользователя самолично и осознанно согласиться на игру и принять правила, критерии, цели и предложенные формы фидбэка. Формируя описанную схему создатели игровых концептов ненавязчиво предлагают игрокам возможность выбора между «начать играть или не начать», «оставаться в игре или выйти», тем самым создавая обзор на безопасную среду и приятное времяпрепровождение [3].

Как было обозначено вначале, потенциал виртуальных игр в контексте структурного подхода гейм-дизайна предлагает двоякий терапевтический механизм – пользовательский опыт и творческую (авторскую) сублимацию в визуальном решении концепта. Игры моделируют ситуацию успеха, помогая расслабить сознание. Искусственно созданный момент удержания внимания побуждает мозг генерировать реакции на предлагаемое сюжетное развитие, а продуманное художественное решение усиливает необходимый эффект. Когда пользователь под давлением инсценированной тревоги вынужден напряжённо решать поставленные перед ним задачи – нейронные связи фиксируют ощущения успешного проживания интеллектуально и эмоционально трудной ситуации [4]. Благодаря таким «тренировкам» подобные импульсы могут на бессознательном уровне транслироваться игроком в реальных жизненных ситуациях. Мозг учится генерировать вариативность положительных реакций в напряжённых моментах за счёт принятия установки «решение есть всегда». Любой игровой цикл заканчивается победой, а проигрыш лишь сообщает о возможности поиска новых способов решения задач.

В целях фиксации заявленных методик воздействия на эмоциональное состояние, одним из центральных элементов сотрудничества между игроками и командой,

работающей над игровыми проектами, обозначена грамотная настройка каналов корректирующей и поддерживающей обратной связи, особенно на этапах тестирования и первого года запуска проекта. Комплексный подход к решению поставленных задач, позволяет совершать работу над ошибками в режиме реального времени, усиливая и укрепляя ключевые элементы.

В настоящий момент, проводимый анализ ситуации подтверждает актуальность интегрирования виртуальной игровой практики в интеллектуальные и личностно-коммуникативные процессы студентов высшей школы. Решение поставленной задачи раскрывается на примере разработки концептов «специальных» казуальных игр, в которых грамотное программирование пользовательского опыта, в партнёрстве с терапевтически верным визуальным оформлением, способствует закреплению паттернов «безопасной» (не травмирующей) эмоциональной реакции на искусственно созданную стрессовую ситуацию. Заявленная гипотеза сможет окончательно подтвердиться после прохождения стадий тестирования проекта.

Литература

1. Аналитический отчет по мировому игровому рынку NEWZOO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://newzoo.com/insights/trend-reports/newzoo-global-games-market-report-2022-free-version> (дата обращения: 17.02.2023).
2. Шелл Д. Геймдизайн. Как создать игру, в которую будут играть все / Шелл Д. пер. с англ. Лысенко А. [науч. ред. Курган Г.]. М.: Альпина Паблишер. 2022. 640 с.
3. Макгонигал Д. Реальность под вопросом. Почему игры делают нас лучше и как они могут изменить мир / Макгонигал Д. пер. с англ. Яцюк Н. [науч. ред. Шульпин В.]. М.: Манн. Иванов и Фербер. 2018. 384 с.
4. Берн Э.Л. Люди, которые играют в игры. Игры, в которые играют люди / Берн Э.Л. пер. с англ. Грузберг А. [науч. ред. Краснощёкова В.]. М.: Бомбора. 2022. 576 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПРОГРАММЫ ELECTROSENS

Мажекенова С.А.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.филос.н., доцент факультета ПИиКТ Смолин А.А.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: snezhana-mazhekenova@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

Работа посвящена изучению пользовательского взаимодействия в программах для электрохимических исследований – ElectroSens (ИТМО) и PStTrace (голландский аналог). Был разработан прототип интерфейса приложения ElectroSens, затем проведен его сравнительный анализ с голландским аналогом. Во время эксперимента респонденты проходили одинаковый пользовательский сценарий в одном из двух приложений. Тест Манна-Уитни показал, что задача решается быстрее в интерфейсе приложения ElectroSens, в нём же совершается меньше ошибок.

Ключевые слова

UX-исследования, ElectroSens, проектирование интерфейсов, юзабилити-тестирование.

Научно-образовательным центром инфохимии Университета ИТМО была разработана электрохимическая платформа ElectroSens для определения цинка в крови и моче. Она состоит из электрохимической сенсорной платформы (система на основе трех электродов CF, комплект для предварительной обработки образцов и потенциостат), программного обеспечения для смартфона на базе Android и облачной системы хранения данных. Потенциостат отправляет данные на смартфон по Bluetooth для обработки данных, а затем данные собираются в облачной базе данных MongoDB [1]. Такая платформа перспективна для широкого спектра анализов. Сейчас ведётся работа по расширению состава определяемых веществ и созданию программного обеспечения для использования платформы в бытовых и лабораторных условиях. В рамках этой работы в полной мере не было возможности оценить эффективность взаимодействия пользователя с интерфейсом программного обеспечения. Однако разработка эффективного интерфейса для разных групп пользователей этого ПО — один из ключевых этапов тестирования и вывода подобных продуктов на рынок, поэтому было принято решение провести масштабное междисциплинарное исследование по этой тематике.

На данный момент юзабилити-исследований подобных платформ не было найдено, поэтому рассматривалась методология из смежной области – медицины. Однако и в этой сфере UX-исследования только начинают развиваться [2, 3].

Что касается приложений-аналогов в сфере электрохимии, существует только один похожий на ElectroSens продукт – голландская программа PStTrace и связанное с ней мобильное приложение PStouch [1], которые являются дорогостоящими программами и не предназначены для широкого круга пользователей. Небольшое тестирование приложения PStouch выявило ряд неудобств для респондентов, а именно:

- 1) контейнер с графиком слишком узкий, сложно отследить полярные значения;
- 2) необходимо переключаться между вкладками «Метод» и «График»;
- 3) нужна история тестов с фильтрацией, желательно хранящаяся прямо в приложении без необходимости постоянно выгружать;
- 4) непонятно, по какому принципу добавляются новые вкладки;
- 5) неудобно двигать «бегунок» в настройках;

б) неочевидная иерархия элементов в навигации.

Качественные исследования показали, что для пользователя важны: возможность быстрой интерпретации результатов тестов, наглядность и визуальная поддержка, возможность вернуться к результатам предыдущих исследований. Результаты качественных исследований оформлены на карте ценностного предложения (рис. 1).

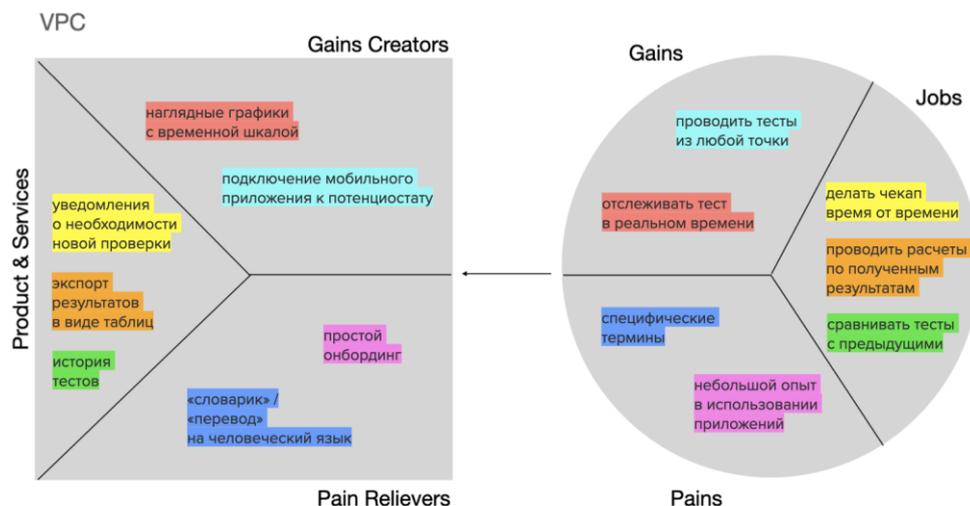


Рис. 1. Value proposition canvas

Выявленные особенности помогли спроектировать несколько экранов будущего приложения ElectroSens и провести сравнительный анализ двух платформ. С помощью сервиса Figma были подготовлены интерактивный прототип приложения PStouch и интерактивный прототип приложения ElectroSens (рис. 2, 3), чтобы иметь возможность тестировать любого респондента без привязки к операционной системе.

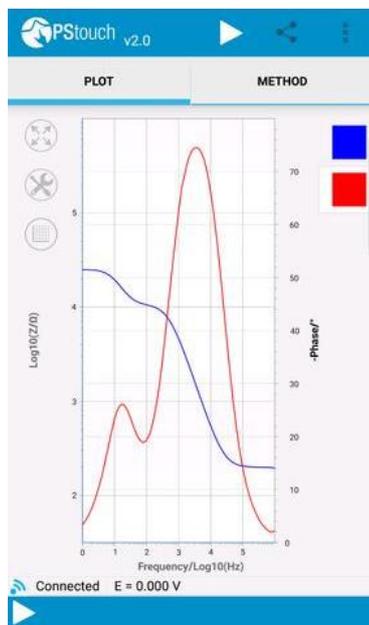


Рис. 2. Прототип приложения PStouch

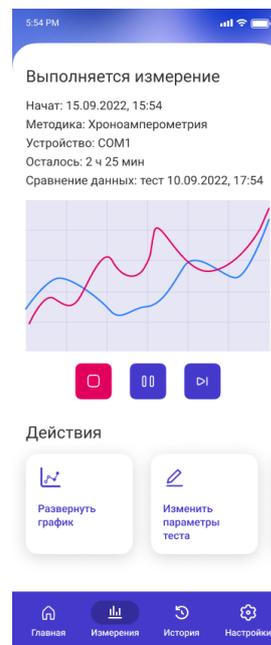


Рис. 3. Прототип приложения ElectroSens

Предполагалось, что при использовании приложения ElectroSens пользователи будут выполнять задачи эффективнее. В качестве критериев, демонстрирующих

эффективность использования приложения, были выбраны два показателя: количество затраченного времени и совершенных ошибок по ходу выполнения пользовательского сценария, так как оба этих критерия важны при работе пользователя в лаборатории. В качестве рандомизированной переменной в данном эксперименте был способ выполнения пользовательского сценария: с использованием приложения PSTouch или ElectroSens. Выбор, какое приложение будет использовать респондент, определялось случайным образом.

В качестве респондентов выступили студенты химических специальностей и сотрудники химических лабораторий. Респондент получал инструкцию от исследователя и ссылку на один из двух прототипов. Перед выполнением задания пользователю также было необходимо начать запись экрана со звуком перед выполнением задания. Пользовательский сценарий состоял из нескольких действий: загрузка данных из папки, изменение вида графика, добавление на график точек и просмотр их значений, изменение метода измерения, просмотр описания этого метода, экспорт полученных данных. Приложения использовались в тестовой версии, без подключения к потенциостату.

Когда респондент считал, что он успешно завершил задание, он должен был остановить запись экрана и отправить полученное видео исследователю. Все видеозаписи обрабатывались вручную.

Изменяемыми переменными были время, затраченное на выполнение сценария, и количество совершенных при этом ошибок. Эксперимент проводился на 68 респондентах.

Для большей наглядности полученных данных были построены диаграммы «ящик с усами» для двух независимых выборок (рис. 4, 5).

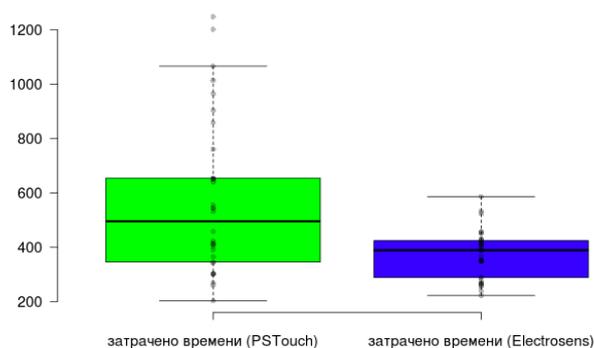


Рис. 4. Влияние используемого приложения на время решения задачи

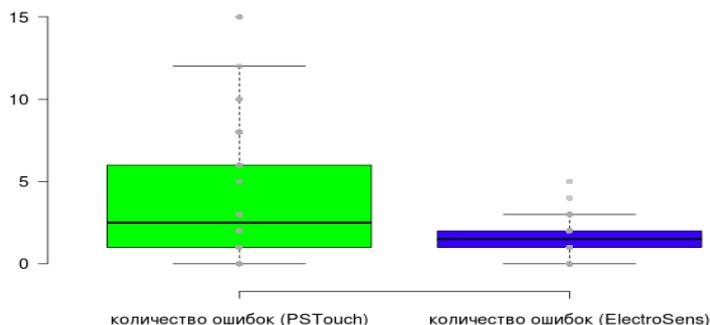


Рис. 5. Влияние используемого приложения на количество ошибок

Для каждой гипотезы были рассчитаны p-value по критерию Манна-Уитни. Уровень вероятности групповой ошибки FWER было выбран 1%. Результаты расчета требуемого уровня значимости с учетом поправки Холма-Бонферрони при наличии двух гипотез представлены в таблице.

Таблица

Уровень значимости и p-value для каждой гипотезы

№	Нулевая гипотеза	P-value	α
1	Изменения в интерфейсе не влияют на скорость решения задачи, а все фиксируемые различия объясняются случайным разбросом	0,1439 %	1 % / 2 = 0,5 %
2	Изменения в интерфейсе не влияют на количество ошибок, а все фиксируемые различия объясняются случайным разбросом	0,5677 %	1 % / 1 = 1 %

Тест Манна-Уитни на 68 респондентах показал, что задача решается быстрее в интерфейсе ElectroSens (медиана 388,5 секунд, 99 % доверительные интервалы 288–424 секунд), чем в интерфейсе PSTouch (медиана 495 секунд, 99 % доверительные интервалы 345–654 секунд): $U = 334,5$, $Z = -2,98$, $p\text{-value} = 0,144 \%$ при левосторонней проверке с поправкой на непрерывность. Фактическая мощность при $n = 68$ для конкурирующей гипотезы, оцененной по пилотным данным при $\alpha = 0,5 \%$ составляет 62,73 % ($\beta = 37,27$) при односторонней проверке. Визуализация посчитанных интервалов представлена на рис. 6.

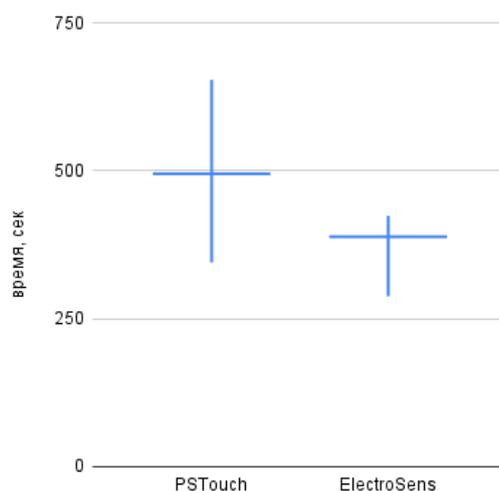


Рис. 6. Доверительные интервалы для медианного времени решения задачи

Для проверки второй гипотезы также был проведен тест Манна-Уитни на 68 респондентах. Он показал, что в интерфейсе ElectroSens ошибок совершается меньше (медиана 1,5 ошибки, 99 % доверительные интервалы 1–2 ошибки), чем в интерфейсе PSTouch (медиана 2,5 ошибки, 99 % доверительные интервалы 2–6 ошибок): $U = 352$, $Z = -2,765$, $p\text{-value} = 0,284 \%$ при левосторонней проверке с поправкой на непрерывность. Фактическая мощность при $n = 68$ для конкурирующей гипотезы, оцененной по пилотным данным при $\alpha = 1 \%$ составляет 90,03 % ($\beta = 9,97$) при односторонней проверке. Визуализация посчитанных интервалов представлена на рис. 7.

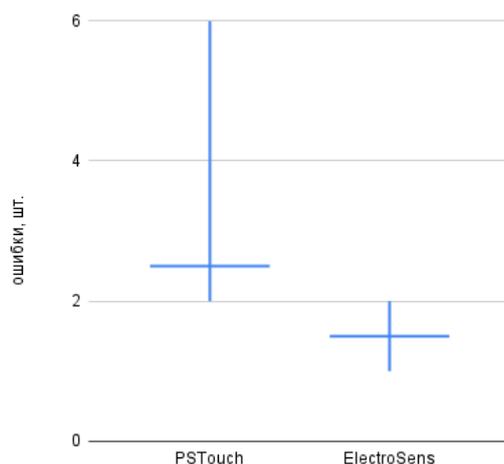


Рис. 7. Доверительные интервалы для медианного времени решения задачи

Тест Манна-Уитни показал, что задача решается быстрее в интерфейсе приложения ElectroSens, в нём же совершается меньше ошибок. В дальнейшем планируется продолжить работу по исследованию и улучшению пользовательского взаимодействия, создать интерфейс для компьютеров и провести эксперимент на более широкой аудитории и задействовать новые пользовательские сценарии (рис. 8).

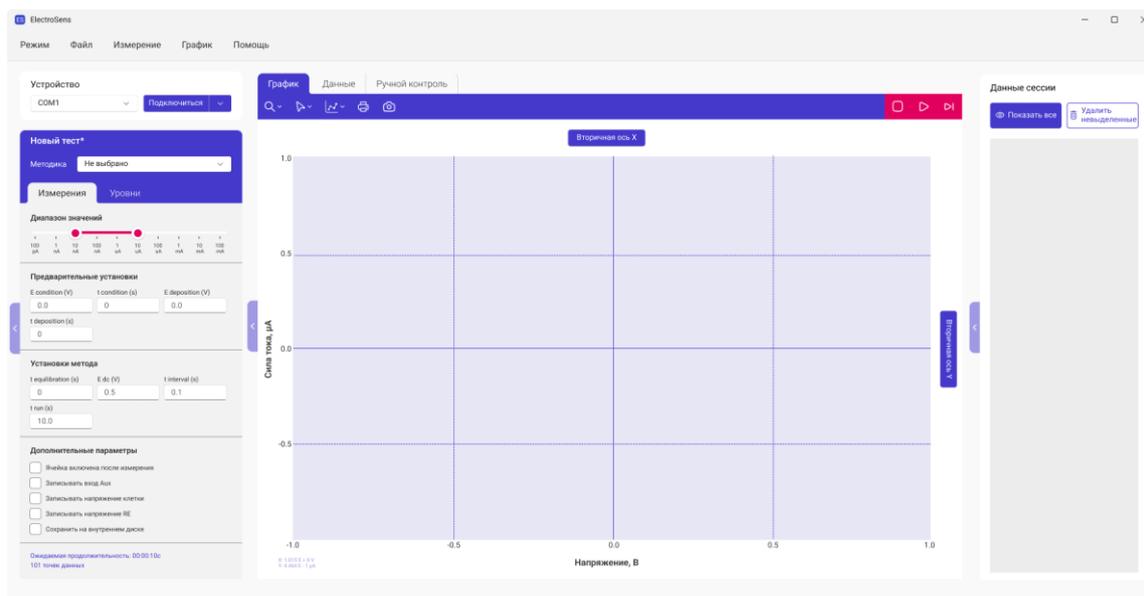


Рис. 8. Разрабатываемый интерфейс ПО для компьютеров

Литература

1. Nikolaev K. et al. ElectroSens Platform with a Polyelectrolyte-Based Carbon Fiber Sensor for Point-of-Care Analysis of Zn in Blood and Urine // ACS Omega. 2020. Т. 5. №30. С. 18987–18994. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c02279>.
2. Bitkina O., Kim H.K., Park J. Usability and user experience of medical devices: An overview of the current state, analysis methodologies, and future challenges // International Journal of Industrial Ergonomics. 2020. Volume 76. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102932>.
3. Willis A. UX for healthcare: what you need to know before you start // User Experience Magazine. 2014. №14 (3). <https://uxpamagazine.org/ux-for-healthcare/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Микитюк Т.Е.¹

Научный руководитель – к.т.н. Коцюба И.Ю.¹

1 – Университет ИТМО

email: tanyamiikityuk@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №621280 «Методы проектирования и развития инновационных и предпринимательских систем в условиях изменений трендов, вызовов и бизнес-моделей».

Аннотация

В исследовании рассмотрены основные функции и задачи, решаемые методами предиктивной аналитики, которые возможно использовать на каждом этапе жизненного цикла программного обеспечения. В качестве алгоритмов прогнозирования состояния программного обеспечения были изучены методы регрессионного анализа, временных рядов и опорных векторов. Работа демонстрирует, насколько важен анализ исторических и текущих данных в разработке программного обеспечения для обеспечения эффективной и результативной работы организаций.

Ключевые слова

Предиктивная аналитика, программное обеспечение, машинное обучение, регрессия, временные ряды.

Использование предиктивной аналитики способно радикально изменить подход к разработке программного обеспечения. С помощью статистических методов исторические данные, накопленные в ходе выполнения предыдущих задач, можно использовать для прогнозирования того, как сегодняшние действия и события повлияют на результаты в будущем.

Подобный переход к более научному подходу к принятию решений уже набирает обороты среди профессионалов в области программного обеспечения. Предиктивная аналитика позволяет командам разработки оптимизировать постановку задач и непрерывную доставку программного обеспечения для более точного прогнозирования их возможностей и скорости, что приводит к лучшему использованию ресурсов и, в конечном итоге, к более качественному программному обеспечению.

Концепция предиктивной аналитики может быть применена в различных областях, включая разработку программного обеспечения. В данной области предиктивная аналитика позволяет использовать данные и статистические методы для прогнозирования будущих событий и тенденций в разработке программного обеспечения. Методы предиктивной аналитики уже активно используются на практике крупнейшими мировыми компаниями, разрабатывающими собственное программное обеспечение, что можно увидеть в таблице ниже [1].

Результаты применения предиктивной аналитики в разработке программного обеспечения среди крупнейших компаний мира

Название компании	Используемые данные для аналитики	Основные задачи	Результаты применения
Microsoft	Время выполнения прошлых проектов	Прогнозирование времени выполнения проекта и планирования ресурсов	– определение оптимального бюджета; – расчет оптимальных сроков выполнения проекта.
Facebook	Поведение пользователей	– определение востребованных функций приложений; – прогнозирование спроса на новые функции в социальных сетях	Сосредоточение усилий и ресурсов на разработке востребованных функций
IBM	Уязвимости прошедших версий выпускаемого программного обеспечения	– определение потенциальных проблем; – принятие своевременных мер по устранению возможных проблем	– повышение качества программного обеспечения; – снижение количества обращений пользователей в поддержку
Netflix	Просмотры, рейтинги и поведение пользователей	Прогноз и предложение для просмотра фильмов и сериалов наиболее интересных конкретному пользователю	– повышение удовлетворенности пользователей; – увеличение количества платных подписок и их продления
Google	Запросы пользователей	– определение наиболее полезных и релевантных результатов поиска; – улучшение алгоритмов поиска	Предоставление пользователям наиболее подходящей и актуальной информации по запросам
Uber	Трафик, сведения о погоде и поведение пользователей	– определение оптимальных маршрутов для водителей; – расчет времени прибытия к месту назначения	– оптимизация и повышение эффективности работы водителей; – улучшение пользовательского опыта
Amazon	Покупки пользователей	– определение спроса на товары; – прогноз товаров с высоким спросом в ближайшее время	– оптимизация складских запасов; – уменьшение издержек на хранение товаров

Можно заметить, что в основе предиктивной аналитики лежит использование математических алгоритмов для выявления и объяснения закономерностей в собираемых данных компаниями для составления прогнозов будущего поведения этих

данных. Конкретные методы предиктивной аналитики, используемые в разработке ПО, могут различаться в зависимости от конкретной задачи и применяемого инструментария. Однако, в целом, для решения задач предсказания и оптимизации в разработке программного обеспечения часто используются следующие методы:

1. Алгоритмы регрессии.

Регрессионный анализ, алгоритм которого приведен ниже на рисунке, заключается в поиске зависимости между зависимой переменной (временем выполнения задачи) и одной или несколькими независимыми переменными (например, сложность задачи или количество используемых ресурсов) (рисунок) [2].

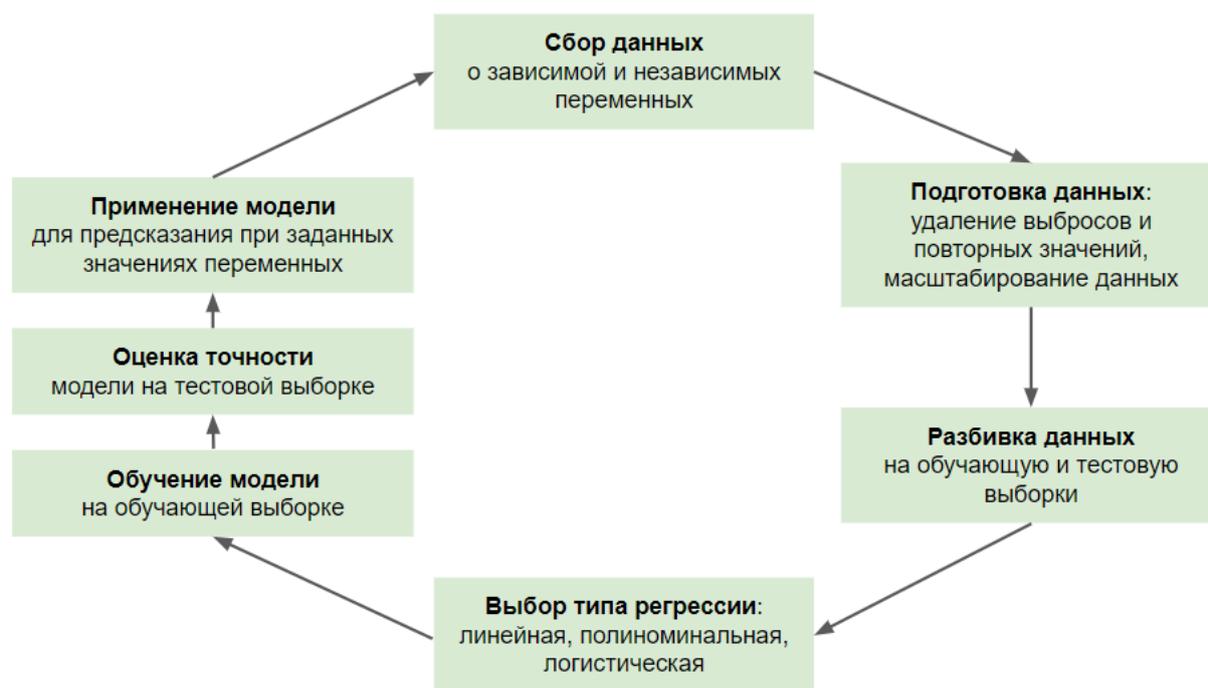


Рисунок. Алгоритм проведения регрессионного анализа

Для применения регрессионного анализа в разработке программного обеспечения необходимо собрать данные о зависимой переменной (в данном случае – время выполнения задачи) и одной или нескольких независимых переменных (например, сложность задачи, количество строк кода, используемые ресурсы и т.д.).

Далее, данные необходимо подготовить: удалить выбросы и пропущенные значения, масштабировать данные при необходимости. Для избежания переобучения модели данные разбиваются на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70/30 или 80/20.

Затем выбирается тип регрессии в зависимости от данных и задачи. Например, для простой зависимости между временем выполнения задачи и одной независимой переменной может быть использована линейная регрессия. Если же зависимость более сложная, может быть применена полиномиальная или другая модель.

В последствии на обучающей выборке модель обучается, т.е. находятся коэффициенты регрессии, определяющие зависимость между зависимой и независимыми переменными [4]. После обучения модель проверяется на тестовой выборке, где оценивается ее точность.

Наконец, применяя обученную модель, можно предсказывать время выполнения задачи при заданных значениях независимых переменных. Например, для задачи с определенным количеством строк кода и использованных ресурсов можно предсказать время выполнения на основе обученной модели.

Применение регрессионного анализа в разработке программного обеспечения может быть полезным для планирования проектов, оптимизации производительности, выявления проблемных мест в коде и других задач. Кроме того, регрессионный анализ является одним из наиболее распространенных методов построения предиктивных моделей, что делает его доступным для многих разработчиков.

2. Анализ временных рядов.

Данный метод позволяет анализировать данные, которые изменяются во времени, и строить прогнозы на основе предыдущих значений [1]. Может использоваться, например, для прогнозирования трафика на веб-сайте или для определения оптимального времени выпуска новой версии программного обеспечения.

Примером применения анализа временных рядов в процессе разработки программного обеспечения является прогнозирование количества запросов к серверу на основе исторических данных.

Для этого можно использовать алгоритм ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), который позволяет моделировать временные ряды и прогнозировать их значения на основе предыдущих значений и трендов [3].

Алгоритм ARIMA состоит из трех компонентов: авторегрессии (AR), дифференциации (I) и скользящего среднего (MA):

- компонент AR отражает взаимосвязь между текущим значением и предыдущими значениями;
- компонент MA – взаимосвязь между текущим значением и ошибками предыдущих прогнозов;
- компонент I – разность между текущим значением и предыдущим значением, что помогает устранить сезонность в данных.

Для использования алгоритма ARIMA в процессе разработки программного обеспечения необходимо собрать данные о количестве запросов к серверу в течение определенного периода времени (например, несколько месяцев). Далее, данные могут быть подвергнуты анализу временных рядов и прогнозированию будущих значений.

Данный алгоритм используется для оптимизации ресурсов сервера и планирования емкости системы. Если алгоритм показывает увеличение количества запросов в будущем, то можно принять меры для увеличения ресурсов сервера или расширения системы.

Также, прогнозирование на основе алгоритма ARIMA может быть полезным при планировании выпусков новых версий программного обеспечения. Если алгоритм показывает, что количество запросов к серверу в период выпуска новой версии может быть выше, то разработчики могут заранее подготовиться к увеличению нагрузки и избежать возможных проблем с производительностью системы.

Кроме алгоритма ARIMA, в анализе временных рядов существует ряд других алгоритмов, которые также могут быть применены в процессе разработки [3]:

- простое экспоненциальное сглаживание (Simple Exponential Smoothing) применяется для прогнозирования временных рядов без тренда и сезонности. основывается на идее, что вес каждого наблюдения уменьшается экспоненциально по мере увеличения возраста наблюдений. Параметр сглаживания α ($0 \leq \alpha \leq 1$) определяет вес последнего наблюдения в прогнозе, а остальные наблюдения учитываются в меньшей степени в соответствии с их возрастом;
- метод Хольта-Уинтерса (Holt-Winters Method) применяется для прогнозирования временных рядов с трендом и сезонностью. Эффективен в случае наличия тренда и сезонности в данных, но требует более высокой вычислительной мощности для работы с большими объемами данных;
- алгоритм SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) является расширением алгоритма ARIMA, который позволяет моделировать временные ряды с сезонностью. Обеспечивают более гибкий подход к моделированию временных

рядов с сезонностью, трендами и шумом, но требуют больше времени на обработку данных и применения более сложных математических методов для анализа результатов.

Таким образом, выбор алгоритма для анализа временных рядов должен основываться на характеристиках данных и требованиях к точности прогнозирования.

3. Машинное обучение.

Методы машинного обучения позволяют анализировать большие объемы данных и на их основе строить модели, которые могут предсказывать определенные характеристики или события [1]. Например, такие методы могут использоваться для определения оптимальных параметров конфигурации системы или для прогнозирования времени реакции пользователя на интерфейс приложения.

В процессе разработки программного обеспечения можно использовать алгоритмы классификации текстов для определения тональности отзывов пользователей о продукте. Для этого разработчики могут использовать данные из различных источников, где пользователи оставляют отзывы о продукте. Данные отзывы могут быть отмечены как позитивные, негативные или нейтральные, и использоваться для обучения модели машинного обучения.

Далее, после обучения модели, она может быть использована для автоматического анализа новых отзывов пользователей и определения их тональности. Это позволяет быстро определять настроение пользователей по отношению к продукту и реагировать на негативные отзывы.

Такой подход может быть применен в e-commerce, где продукты часто имеют множество отзывов, и разработчикам необходимо быстро анализировать эту информацию и определять, что можно улучшить в продукте. Также этот подход может быть применен для анализа отзывов в мобильных приложениях или других программных продуктах.

Рассмотрим также пример применения машинного обучения в процессе разработки программного обеспечения для задачи классификации. Пусть у некоторой компании есть задача классификации электронных писем на спам и не спам. Для решения этой задачи можно использовать алгоритмы машинного обучения, такие как логистическая регрессия, метод опорных векторов (SVM), случайный лес и нейронные сети. В данном примере целесообразнее рассматривать применение логистической регрессии.

Алгоритм логистической регрессии – метод машинного обучения для решения задач бинарной классификации, т.е. разделения данных на две категории. Он использует логистическую функцию для оценки вероятности принадлежности объекта к одному из классов [4]. Для решения задачи классификации электронных писем на спам и не спам следует использовать следующие шаги:

- 1) подготовка данных: необходимо подготовить обучающую и тестовую выборки данных. Обучающая выборка будет использоваться для обучения модели, а тестовая – для проверки качества модели;
- 2) извлечение признаков: необходимо извлечь признаки из каждого электронного письма, например наличие определенных ключевых слов, длина сообщения, количество прикрепленных файлов и т.д.
- 3) обучение модели: после подготовки данных и извлечения признаков, можно обучить модель на обучающей выборке;
- 4) оценка качества модели: проведение оценки качества на тестовой выборке. Для этого используются такие метрики, как точность, полнота, F1-мера и ROC-кривая;
- 5) использование модели: после оценки качества модели, можно использовать ее для классификации новых электронных писем на спам и не спам;

Для решения задачи по определению, является ли электронное письмо спамом, можно использовать алгоритмы машинного обучения. Один из таких алгоритмов – метод опорных векторов (SVM), алгоритм, использующийся для классификации данных. Он строит гиперплоскость, которая разделяет данные на два класса [1]. В случае задачи по

определению спама в электронной почте SVM может использоваться для определения, является ли электронное письмо спамом или нет, на основе набора признаков, таких как наличие определенных слов или фраз в теле письма.

Алгоритм SVM начинается с обучения на обучающем наборе данных. Обучающий набор содержит примеры писем, которые уже были отмечены как спам или не спам. SVM использует этот обучающий набор данных для настройки параметров модели, таких как коэффициенты гиперплоскости, которая будет использоваться для классификации данных.

После настройки параметров модели SVM может быть использован для классификации новых писем. SVM получает входные данные, содержащие признаки, такие как наличие определенных слов или фраз в письме, и классифицирует письмо как спам или не спам на основе гиперплоскости, которая была построена во время обучения.

Следующим шагом является обучение модели SVM на обучающем наборе данных. Модель SVM строит гиперплоскость, которая разделяет письма на два класса: спам и не спам. После обучения модель SVM может быть использована для классификации новых писем на основе гиперплоскости, которая была построена во время обучения.

Таким образом, SVM является мощным инструментом машинного обучения, который может использоваться для классификации данных, в том числе в задаче определения спама в электронной почте.

Алгоритмы машинного обучения, включая регрессионный анализ, классификацию и кластеризацию, обладают высокой точностью и способностью обнаруживать скрытые зависимости в данных. Они также могут быть использованы для автоматизации процесса принятия решений, что может значительно сократить время и ресурсы, необходимые для анализа больших объемов данных.

Однако, использование алгоритмов машинного обучения также может привести к трудностям в интерпретации результатов. Это может быть вызвано сложностью модели, использованием неподходящих алгоритмов или недостаточным количеством данных.

В свою очередь, анализ временных рядов позволяет выявить тенденции и цикличность в данных, что может помочь в прогнозировании будущих значений. Однако, он может быть ограничен в случаях, когда данные имеют высокую степень шума или могут быть сильно подвержены случайным факторам.

В целом, для определения наиболее подходящего метода необходимо учитывать конкретные условия и цели проекта [1]. Оптимальный выбор метода может быть достигнут путем анализа и сравнения нескольких методов, а также путем экспериментальной проверки их эффективности на конкретных данных.

Предиктивная аналитика может быть использована для решения проблем в жизненном цикле разработки программного обеспечения. Анализ может применяться на каждом этапе разработки для лучшего понимания того, что, скорее всего, произойдет. Результаты объединяются для демонстрации постоянно обновляемого сквозного обзора вероятных результатов процесса разработки.

Для применения методов предиктивной аналитики необходимо обработать полученные данные, провести их анализ и построить модели предсказания и оптимизации. Кроме того, необходимо оценить точность полученных результатов и настроить модели для получения наиболее точных прогнозов.

Примерами применения предиктивной аналитики в процессе разработки программного обеспечения могут быть [4]:

- предсказание времени реакции пользователей на интерфейс приложения на основе анализа поведения пользователей;
- определение оптимальных параметров конфигурации системы на основе анализа нагрузки и потребления ресурсов;
- прогнозирование трафика на веб-сайте на основе анализа временных рядов;

- определение наиболее популярных функций приложения на основе анализа отзывов пользователей;
- определение оптимальных настроек поисковой системы на основе анализа текстовых данных;
- определение наиболее активных пользователей приложения на основе анализа социальных сетей;
- прогнозирование времени и ресурсов, необходимых для выполнения проекта, на основе анализа данных о прошлых проектах, схожих по сложности и структуре;
- анализ ошибок и уязвимостей программного обеспечения в его новых версиях;
- прогнозирование неисправностей оборудования: серверов, компьютеров и принтеров;

Таким образом, методы предиктивной аналитики имеют широкое применение в разработке программного обеспечения и могут помочь в решении разных практических задач, от оптимизации производительности до прогнозирования трафика в сети.

В заключении можно отметить, что предиктивная аналитика является мощным инструментом в разработке программного обеспечения. Методы машинного обучения, регрессионного анализа, анализа временных рядов и другие подходы могут применяться для решения различных задач, связанных с разработкой программного обеспечения, например, для оптимизации процессов разработки, улучшения качества продукта и прогнозирования временных затрат.

Кроме того, предиктивная аналитика может помочь компаниям в принятии обоснованных решений на основе данных. Анализ данных позволяет выявлять скрытые закономерности и тренды, на основе которых можно прогнозировать будущие события и принимать решения.

Однако, следует учитывать, что применение методов предиктивной аналитики требует компетентного подхода и знаний в области статистики, математического анализа и программирования, а также компаниям необходимо иметь доступ к достоверным данным и оборудованию с достаточной вычислительной мощностью.

Литература

1. Yanming Y., Xin X., Lo D., Bi T., Grundy J. and Yang X. 2022. Predictive Models in Software Engineering: Challenges and Opportunities. *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.* 31, 3, Article 56 (July 2022). 72 p. <https://doi.org/10.1145/3503509>.
2. Varshini P.A.G., Kumari A.K. (2020) Predictive analytics approaches for software effort estimation: A review. *Indian Journal of Science and Technology.* 13(21). P. 2094-2103. <https://doi.org/10.17485/IJST/v13i21.573>.
3. Sarro F. 2018. Predictive analytics for software testing: keynote paper. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Search-Based Software Testing (SBST '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1. <https://doi.org/10.1145/3194718.3194730>.
4. Olaleye T.O., Arogundade O.T., Misra S., Abayomi-Alli A., Kose U., "Predictive Analytics and Software Defect Severity: A Systematic Review and Future Directions", *Scientific Programming.* vol. 2023. Article ID 6221388. 18 p. 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6221388>.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАКА ТОЧЕК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АДАПТИВНОГО СКАНИРОВАНИЯ 3D-ПРОСТРАНСТВА

Мирский О.В.¹ (аспирант)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Жданов Д.Д.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: mirsol96@gmail.com

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-11-00145.

Аннотация

Данная работа продолжает исследование применения методов определения глубины сцены для создания трехмерных моделей помещений. Был предложен комбинированный метод, который сочетает определение диспаратета и статистическую обработку сигналов, используя вспомогательные данные, полученные с помощью лазерной подсветки сцены. Для увеличения разрешения сканирования глубины использовалась комбинация систем LIDAR и ToF в качестве системы лазерного дальномерного сканирования.

Ключевые слова

Графика, система трехмерного сканирования, определение глубины, облако точек, лазерная подсветка, стереорекострукция, диспаратет.

В последние годы технологии 3D-сканирования значительно усовершенствовались, что позволило повысить точность и эффективность 3D-моделирования. Одним из наиболее широко используемых методов 3D-сканирования является метод построения облака точек, который предполагает сбор миллионов отдельных точек в трехмерном пространстве для представления геометрии объекта или среды [1].

Сканирующая система, создающая такие облака, может быть использована в сфере строительства для контроля расхождений между проектом и готовым помещением, а также для составления геометрии пространства при перемещении по объекту. Она также может применяться для создания 3D-моделей хрупких экспонатов в музеях, для определения границ реального мира при разработке очков дополненной реальности, а также для восстановления геометрии окружающего мира в программном обеспечении беспилотных летательных аппаратов и автомобилей. Такая сканирующая система также находит применение в картографии и геодезии при сканировании рельефа местности.

Однако создание высококачественных облаков точек остается сложной задачей, особенно при работе с большими и сложными средами. Данное исследование направлено на решение этой проблемы путем предложения метода генерации облака точек на основе результатов адаптивного сканирования 3D-пространства. Предлагаемый метод сочетает использование стереорекострукции с лазерными дальномерными сканирующими системами для получения глубинного сканирования с высоким разрешением [2]. Комбинация этих систем позволяет генерировать более точное и детальное облако точек, которое может быть использовано для оценки результатов сканирования при других положениях камеры.

1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

Существуют различные методы построения 3D-моделей объектов или окружения, такие как:

1. LIDAR.
2. Kinect.
3. Фотограмметрия.

4. Стереорекострукция.

Использование LIDAR – это широко распространенный метод, в котором для измерения расстояния до объектов применяется лазерный дальномер. Основными преимуществами LIDAR являются его высокая скорость сбора данных и работа при ярком солнце, однако он имеет относительно низкое разрешение – требует большой объем данных, может иметь "пробелы" и дорог в использовании.

Kinect – это коммерческий продукт, использующий структурированный свет и времяпролетные (ToF) датчики для получения информации о глубине [3]. Он более дешевый и легкий в использовании, но не может использоваться на солнце и требует подключения к сети и ПК.

Фотограмметрия предполагает получение нескольких изображений объекта или сцены под разными углами и использование алгоритмов компьютерного зрения для восстановления трехмерной геометрии [4]. Этот метод позволяет работать с мелкими объектами и не требует внешнего питания, но ему необходимы большой объем данных и длительная обработки фотографий.

Стереорекострукция предполагает использование двух камер для получения изображений сцены под разными углами и использование триангуляции для расчета глубины объектов в сцене [5]. Требуется меньше производительности оборудования, но имеет относительно низкую точность и требует объединения данных на стационарном оборудовании с разных ракурсов.

Метод стереорекострукции относительно прост и может использоваться "на месте" без привлечения мощного вычислительного оборудования, а также дает приемлемую точность на расстояниях, соизмеримых с размером средней комнаты.

Ниже представлена наглядная таблица-сравнение данных решений (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение методов трехмерного сканирования

Метод сканирования	Точность измерения	Дальность измерения	Возможность работы без помощи вычислительной техники	Сложность настройки и использования
Лидар	Высокая	Дальние расстояния	Нет	Высокая
Kinect	Средняя	Ближние расстояния	Да	Низкая
Фотограмметрия	Высокая	Средние расстояния	Нет	Высокая
Стереорекострукция	Средняя	Средние расстояния	Да	Низкая

Однако метод стереорекострукции имеет некоторые ограничения. Например, разрешение по глубине является низким, и метод не справляется с распознаванием глубины на больших однотонных поверхностях. Для решения этих проблем была предложена гибридная система сканирования, сочетающая лазерную систему подсветки и стереопару с комбинацией систем LIDAR и ToF [6].

Предложенная система способна генерировать RGB-D изображения, которые визуально отображают расстояние объектов в сцене от сканирующей системы.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Предложенный в данной исследовательской работе подход представляет собой гибридную систему сканирования, которая сочетает в себе систему лазерной подсветки и стереопары с комбинацией систем LIDAR и ToF [7]. Метод нахождения диспаритета

вместе с методом статистической обработки сигналов применяется при создании прототипа сканирующей системы [8]. Разработан и обоснован алгоритм нахождения диспаратета, расширенный до поиска соответствия по нескольким строкам изображения с возможностью применения адаптивного выбора объектов.

Метод стереорекострукции был определен как наиболее подходящий подход к созданию системы сканирования на основе анализа существующих решений, таких как LIDAR, Kinect и фотограмметрии. Метод стереорекострукции относительно прост, может быть использован "на месте" без привлечения мощного вычислительного оборудования и дает приемлемые результаты точности на расстояниях, соизмеримых с размерами средней комнаты. С другой стороны, LIDAR, несмотря на низкое разрешение, способен работать на больших расстояниях.

Для увеличения разрешения сканирующей системы по глубине используется комбинация систем LIDAR и ToF [7]. Система сканирования с применением лазерного дальномера разработана для улучшения разрешения по глубине. Пьезосканирующая система миниатюрна и состоит из двух небольших зеркал, что позволяет быстро перенаправить лазерный луч в нужную точку сцены. Лазерное пятно генерирует опорные точки, которые позволяют соединить несколько облаков точек в одно облако, уточняя систему координат и улучшая качество усреднения облака точек.

Для создания прототипа системы используется библиотека OpenCV. Она собирает данные с обеих камер сканирующей системы и, применяя метод вычисления диспаратета, а также статистический метод обработки сигнала, генерирует RGB-D изображения, которые наглядно визуализируют удаленность объектов сцены от сканирующей системы.

3. МЕТОДОЛОГИЯ

3.1 Общая информация о сцене

В данном исследовании для повышения точности и разрешения 3D-сканирования предлагается гибридная система сканирования, объединяющая систему лазерной подсветки и стереопары с комбинацией систем LIDAR и ToF. Система основана на методе стереорекострукции, который, как было установлено, является относительно простым и эффективным при построении 3D-моделей объектов или окружающей среды. Система состоит из RGB-камер, установленных в соосном направлении с базой, равной 100 мм, которые создают RGB-изображения высокого разрешения. Однако разрешение по глубине является низким. Для того чтобы увеличить его, используется сканирующая система с лазерным дальномером, состоящая из двух небольших зеркал, которые быстро перенаправляют лазерный луч в нужную точку сцены. Лазерное пятно создает опорные точки, которые позволяют соединить несколько облаков точек в одно облако, уточняя систему координат и улучшая качество усреднения облака точек.

Обобщенная модель работы сканирующей системы представлена на рисунке 1.

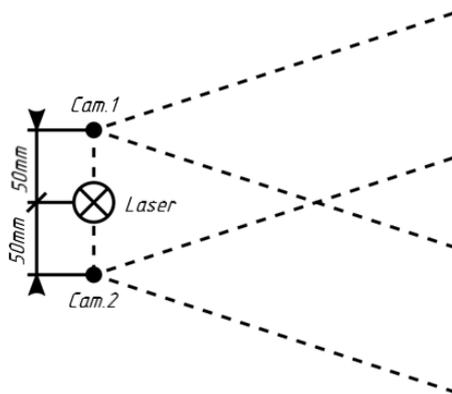


Рис. 1. Схематичный принцип работы модели

На рисунке 1 представлена модель, состоящая из трёх основных элементов: левой камеры, правой камеры и источника лазерного излучения. Эта модель используется для создания системы, основанной на стереоскопической паре сенсоров, которая позволяет построить трёхмерное изображение и определять глубину в каждой его точке. Для имитации лазерного луча используется точечный светильник с очень малым углом расхождения лучей (33 угл. сек.), который можно двигать ближе к поверхности для создания маленькой «точки» от луча лазера.

Основным принципом работы модели является эффект стереоскопического параллакса, который достигается с помощью смещения расположения сенсоров друг относительно друга на одной плоскости, симулирующего бинокулярное зрение. Это позволяет получить информацию о рассматриваемом пространстве и отображение положения объектов сцены в пространстве на плоскости, основанное на карте глубин.

В рамках методики разрабатывается и обосновывается алгоритм нахождения диспаратета, который расширяется до поиска совпадения по нескольким строкам (или столбцам при использовании вертикальной стереопары) изображения с возможностью применения адаптивного выбора объекта. Реализованный программный прототип системы предназначен для создания карт глубины сканируемого пространства и последующей их обработки для создания 3D-моделей. Она собирает данные с обеих камер сканирующей системы и, применяя метод вычисления диспаратета, а также статистический метод обработки сигнала, генерирует RGB-D изображения, визуализирующие удаление объектов сцены от сканирующей системы.

Формула для расчета расстояния до объекта имеет следующий вид:

$$D = \frac{L}{2 * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (1)$$

где D – искомое расстояние до объекта, L – расстояние между точками наблюдения и α – угол смещения.

Таким образом, стереоскопическая пара сенсоров может быть использована в качестве дальномера для сбора данных о расположении объектов в поле зрения сенсоров. Однако, при использовании стереопары для трехмерного сканирования, главной задачей является нахождение диспаратета - точного соответствия между кадрами, полученными с левой и правой камер. Диспаратет определяется как межпиксельное расстояние на изображениях одного и того же объекта и может быть выражен в виде формулы

$$D = |x_L - x_R|, \quad (2)$$

где D – значение диспаратета, x_L – расположение выбранного пикселя конкретной строки на левом изображении и x_R – расположение выбранного пикселя конкретной строки на правом изображении.

Данные, собираемые в процессе использования системы, подлежат сохранению, обработке и представлению в виде карты глубин – одноканального двумерного изображения, содержащего информацию о расположении объектов относительно сканирующей системы [9].

Ключевой особенностью данного исследования является добавление к вышеописанной установке лазерного излучателя.

Рассматриваемая сканирующая система обладает следующими достоинствами:

- скорость получения данных;
- относительно невысокая стоимость установки;

- возможность реализации сенсора как при помощи специализированного оборудования, так и с использованием смартфонов с настроенными в профессиональном режиме приложений камеры одинаковых параметров съёмки.

Для обоснования предлагаемого подхода был проанализирован ряд недавних исследований в области 3D-сканирования и генерации облаков точек. В данном исследовании [10] предложили метод многоракурсной стереорекострукции с адаптивным порогом для эффективного и точного создания 3D-облака точек. В другом исследовании [11] представлен мультимодальный метод регистрации облака точек, который использует как геометрическую, так и цветовую информацию.

3.2 Восстановление глубины из стереоизображения

Стереопара используется для обнаружения одинаковых точек на изображении путем нахождения смещения точек, аналогично методу триангуляции. Алгоритмы OpenCV используются для расчета диспаратета, то есть для определения одинаковых точек на изображении, и для оценки расстояния и погрешности модели на основе смещения в пикселях.

Однако на ровных участках, таких как белая стена, оценить расстояние с помощью стереопары невозможно. В этом случае можно использовать лазерный луч, чтобы создать маркер на стене, который можно найти на изображении и использовать для оценки расстояния. Лазерное пятно проецируется на стену и может занимать несколько пикселей, в зависимости от разрешения и расстояния до стены. Если оценка по объекту невозможна, то стереопара может использоваться для оценки расстояния по лазерному пятну.

Для нахождения лазерного пятна необходимо «смотреть» в направлении выстрела лазерного пучка, чтобы найти соответствующее место на изображении. Синхронизация распознанного лазерного пятна и места выстрела пучком необходима для точного определения расстояния.

3.3 Обработка изображения

Перед началом обработки изображения необходимо определить оптимальный размер пятна, при котором оценка расстояния будет наиболее точной. Пятно размером в 100 пикселей не будет удовлетворять этим требованиям, в то время как пятно диаметром 5–10 пикселей, или даже 3, будет более подходящим для нашей системы.

Если две камеры расположены в горизонтальной плоскости, то нет необходимости искать точки луча лазера по всему изображению. Если точка обнаружена, то соседняя точка будет расположена в той же «строке», где производится анализ. Однако, если камеры не направлены в одну параллель, то придется искать точки по всему кадру.

Калибровка является необходимой, так как камеры, расположенные в сборке, сложно выставить идеально. Разница по высоте и перекосы линз приводят к непараллельному взгляду камер, который необходимо определить, чтобы затем компенсировать неточности и выставить изображение в одной плоскости. Для этого к изображению применяется матричная операция «смещения» или «компенсации».

3.4 Методы расчета диспаратета

Для расчёта диспаратета можно использовать наивный метод, который заключается в сдвиге одного изображения относительно другого вдоль одной из координатных осей, с последующим наложением и вычитанием. Значение диспаратета записывается как значение сдвига, при котором достигается минимальное значение яркости пикселя. Эту операцию можно проводить не над всем изображением, а только над его строкой или столбцом, чтобы экономить память. Однако этот метод имеет низкую точность и вычислительную сложность порядка $O(h \times w^2)$, а также не защищён от шума.

Ещё один метод – наивный градиентный спуск, который использует некоторое начальное приближение диспаритета и минимизирует его. Это позволяет немного понизить вычислительную сложность, но алгоритм может попасть в локальный минимум, а не в глобальный.

Формула взаимной информации, применяемая в оригинальной статье [12], лежащей в основе алгоритма из OpenCV (библиотека использует другую формулу [13], позволяющую корректно вычислять диспаритет в том числе и для цветных изображений):

$$MI_{I_1, I_2} = \sum_p mi_{I_1, I_2}(I_{1p}, I_{2p}), \quad (3)$$

$$mi_{I_1, I_2}(i, k) = h_{I_1}(i) + h_{I_2}(k) - h_{I_1, I_2}(i, k).$$

3.5 Математическое обоснование алгоритма

Для правильного функционирования алгоритма необходимо математическое обоснование, которое подразумевает вычисление распределения вероятностей $P_{I_1}(i)$ не для всех изображений I_1 и I_2 , а только для соответствующих частей. Если учитывать все изображения, то окклюзии будут проигнорированы, а значения H_{I_1} и H_{I_2} будут постоянными. Для решения этой проблемы можно легко вычислить распределение вероятностей, суммируя соответствующие строки и столбцы совместного распределения вероятностей по формуле:

$$P_{I_1}(i) = \sum_k P_{I_1, I_2}(i, k) \quad (4)$$

Вместо функции, описанной в статье [14] Хиршмюллера, для вычисления взаимной информации MI в этой библиотеке используется функция, разработанная Стэнном Бирчфилдом и Карлом Томази [15]. Формула этой функции, обозначенной как $MI(x_L, x_R)$, включает координаты пикселей x_L и x_R в левом и правом изображениях соответственно. Однако, в формуле используется только горизонтальная координата, так как обработка изображений выполняется построчно. Функция выглядит следующим образом:

$$MI(x_L, x_R) = \min\{\bar{d}(x_L, x_R, I_L, I_R), \bar{d}(x_R, x_L, I_R, I_L)\}, \quad (5)$$

Вычисление MI (взаимной информации) является простым из-за того, что крайние точки кусочно-линейной функции должны быть точками останова. Для вычисления MI используется уравнение (6), которое включает в себя I_L и I_R – значения яркости левого и правого изображений соответственно, а также I_{\min} и I_{\max} – минимальное и максимальное значение яркости для правого изображения. Используется билинейная интерполяция для получения исходного изображения \hat{I}_R из правого изображения. Аналогичные формулы применяются для левого изображения.

$$\bar{d}(x_L, x_R, I_L, I_R) = \max\{0, I_L(x_L) - I_{\max}, I_{\min} - I_L(x_L)\}, \quad (6)$$

$$I_R^- \equiv \hat{I}_R\left(x_R - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}(I_R(x_R) + I_R(x_R - 1)),$$

$$I_R^+ \equiv \hat{I}_R\left(x_R + \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}(I_R(x_R) + I_R(x_R + 1)),$$

$$I_{\min} = \min\{I_R^-, I_R^+, I_R(x_R)\},$$

$$I_{\max} = \max\{I_R^-, I_R^+, I_R(x_R)\}.$$

Для определения стоимости сопоставления взаимной информации C_{MI} используется уравнение (7), которое включает в себя $mi_{I_b, f_D(I_m)}$ – MI между блоком I_b и I_m , где I_b – блок изображения, а I_m – соответствующий блок другого изображения. Координата "q" вычисляется с помощью $e_{bm}(p, d)$.

$$C_{MI}(p, d) = -mi_{I_b, f_D(I_m)}(I_{bp}, I_{mq}), \quad (7)$$

$$q = e_{bm}(p, d).$$

Функция диспаратета $f_D(I_m)$ используется для «сдвига» изображения, что позволяет найти минимальное значение итогового коэффициента при переборе разных смещений. Функция эпиполярной линии $e_{bm}(p, d) = [p_x - d, p_y]^T$, где p – координаты пикселя, используется для определения координат, сдвинутых на заданное значение диспаратета по определенному правилу.

Изображение диспаратета D_b , соответствующее базовому изображению I_b , определяется путем выбора наименьшего значения диспаратета d для каждого пикселя с учетом весов объединения на рис. 2.

Изображение диспаратета D_m , соответствующее изображению совпадений I_m , может быть определено путем пересечения эпиполярной линии, которая соответствует пикселю q изображения совпадения.

Для отсеивания промахов в расчете D_b и D_m используется медианный фильтр с небольшим окном, например размером 3×3 .

Расчет D_b и D_m помогает определить окклюзии и ложные совпадения, путем проверки их согласованности.

Если диспаратеты D_b и D_m не совпадают, то диспаратет становится недействительным (D_{inv}).

$$D_p = \begin{cases} D_{bp}, & |D_{bp} - D_{mq}| \leq 1 \\ D_{inv}, & |D_{bp} - D_{mq}| > 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$q = e_{bm}(p, D_{bp}). \quad (9)$$

Для точки p алгоритм находит значение D_p . Здесь D_{inv} – это условное значение, которое используется для нераспознанных областей и может быть, например, равно $+\infty$.

Алгоритм также может искать соответствие по нескольким строкам или столбцам изображения путем расчета среднего значения D_{kp} для всех k в V_p и деления на соответствующий коэффициент t_k . Параметр t_k является линейной функцией длины линии между I_b и I_{mk} .

$$D_p = \frac{\sum_{k \in V_p} D_{kp}}{\sum_{k \in V_p} t_k}, \quad (10)$$

$$V_p = \left\{ k \mid \left| \frac{D_{kp}}{t_k} - \text{med}_i \frac{D_{ip}}{t_i} \right| \leq \frac{1}{t_k} \right\}. \quad (11)$$

На рисунке 2 изображена схема, демонстрирующая передачу данных внутри алгоритма вычисления диспаритета.

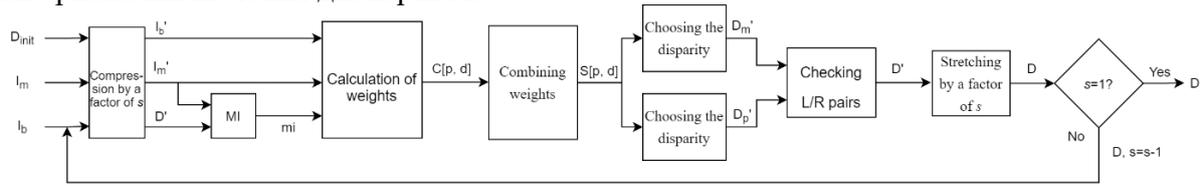


Рис. 2. Схема работы алгоритма

Один из способов борьбы со шумом на изображениях, показанный на рисунке, – это их сжатие. Такой подход позволяет повысить быстродействие и уменьшить влияние шума, поскольку данные усредняются. Кроме того, итеративная природа алгоритма уменьшает вычислительную сложность.

4. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ

4.1 Принцип работы модели системы

Модель системы работает следующим образом:

1. Изображение разбивается на небольшие блоки.
2. Для каждого блока производится поблочный расчёт коэффициента соответствия между левым и правым изображениями.
3. Полученные данные объединяются и сглаживаются с учетом данных из соседних блоков для достижения непротиворечивости.
4. Для каждого изображения вычисляется диспаритет, выбирая вариант с наименьшей ошибкой, и фильтруются выбросы.

Для ускорения обработки изображение разбивается на блоки нечётного размера (3, 5, 7 пикселей). Визуально процесс расчёта коэффициента схожести напоминает разность блоков изображения, но результатом является коэффициент схожести, а не изображение. Полученные данные о соответствии объединяются и сглаживаются с учётом данных из соседних блоков для того, чтобы они были непротиворечивы. Для каждого изображения вычисляется диспаритет, выбирая вариант с наименьшей ошибкой, и фильтруются выбросы – ошибки, связанные с неправильной записью показаний прибора [16].

Формула для определения энергии диспаритета:

$$E(D) = \sum_p \left(C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1] \right), \quad (12)$$

где $C(p, D_p)$ – функция веса для данного пикселя и диспаритета, p и q – координаты пикселя, D_p и D_q – значение диспаритета для пикселей с соответствующими координатами, P_1 и P_2 – некоторые заранее выбранные константы штрафа за несоответствие, причём P_1 значительно меньше, чем P_2 , и N_p – множество всех соседних пикселей в некоторой области вокруг проверяемого.

4.2 Разработка программного прототипа

Для разработки программного прототипа, подключенного к OpenCV, необходимо определить необходимые модули. Так как программа будет использоваться с реальным оборудованием, данные нужно подготовить, чтобы убрать шумы и искажения оптики камер, а также подправить перспективу, если нужно. Для этого используются модули CCalib и Calib3D, которые имеют процедуры калибровки для разных задач и конфигураций оборудования. Для нашей задачи больше всего подходит функция

stereoCalibrate, которая позволяет получить эталонное расположение точек, заданное вручную, и привести распознанное положение точек к эталону. Для калибровки используется прямоугольник с шахматным узором, который обладает высокой контрастностью и прост в изготовлении.

Для получения координат точек и извлечения глубины из стереопары необходимо выделить на изображении особенности, за что отвечает модуль Features. Для этого используются функции findChessboardCorners, cornerSubPix и другие, неявно используемые в функции определения диспаратета.

OpenCV также поддерживает иные паттерны для калибровки, позволяющие повысить точность, качество или объём получаемых данных, но требующие наличия 3D-принтера для изготовления. Поступающие извне данные необходимо подготовить, используя параметры, полученные на этапе калибровки, для того чтобы исправлять изображения и иметь возможность влиять на выводимые данные, например, добавлять текстовые метки с данными о глубине. Для загрузки и сохранения различных форматов изображений используются модули ImageProc и ImageCodecs соответственно.

4.3 Тестирование программного прототипа

Данный этап начинается с калибровки сканирующей системы. Это необходимо для того, чтобы алгоритм мог обнаружить калибровочные паттерны и применить необходимые корректировки, если на снимках имеются искажения. Чтобы повысить качество калибровки, узор калибровочной сетки необходимо сфотографировать с разных углов. На рисунке 3 показаны исходные данные - пары изображений, полученные с двух камер, расположенных в одной плоскости на некотором расстоянии друг от друга.

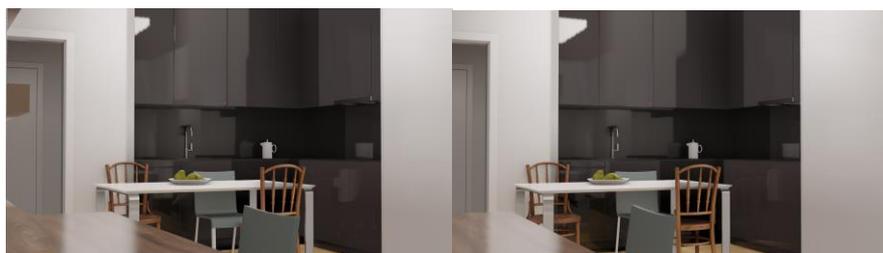


Рис. 3. Изображения с левой и правой камер

После подготовки данных можно начать работу с ними. Для поиска различий между двумя изображениями используется объект StereoSGBM, который содержит алгоритм поиска соответствия на паре изображений и создания карты различий. Полученные данные нужно фильтровать, чтобы убрать шумы и некорректные данные, которые могут возникнуть из-за ложных срабатываний. Для фильтрации данных необходим модуль продвинутой обработки изображений (XImageProc).

На рисунке 4 представлена карта глубин, которую создала система, а справа находится безразмерная линейная шкала глубины. Эта шкала использует те же величины, что и размер ячейки, указанный в процессе калибровки, поэтому при калибровке необходимо указывать соответствие реальным данным.

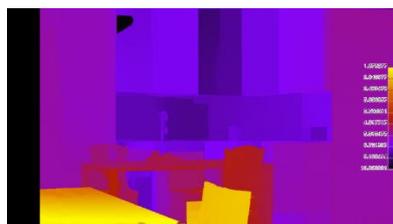


Рис. 4. Карта глубины (логарифмическая шкала)

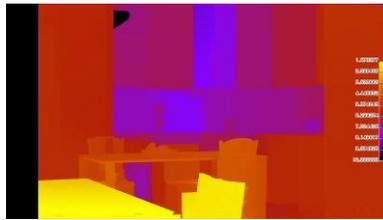


Рис. 5. Карта глубины (линейная шкала)

На рисунке 5 показана карта глубины с линейной шкалой, которая измеряется в метрах, но может быть перенастроена на сантиметры, миллиметры или дюймы, в зависимости от того, в каких единицах измерения была проведена калибровка.

Физические размеры не указываются, поэтому шкала отображает условные единицы длины, где одна условная единица на линейной шкале соответствует одному метру.

Для построения глубины используется функция `projectImageTo3D` из модуля `Calib3D`, которая использует данные о матрице проекции, полученные в процессе калибровки камер. В результате мы получаем данные о глубине и облако точек, которые могут быть использованы для построения 3D-модели.

На рисунке 6 представлена сгенерированная системой трехмерная реконструкция, которая может быть просмотрена в Средстве 3D-просмотра Windows.

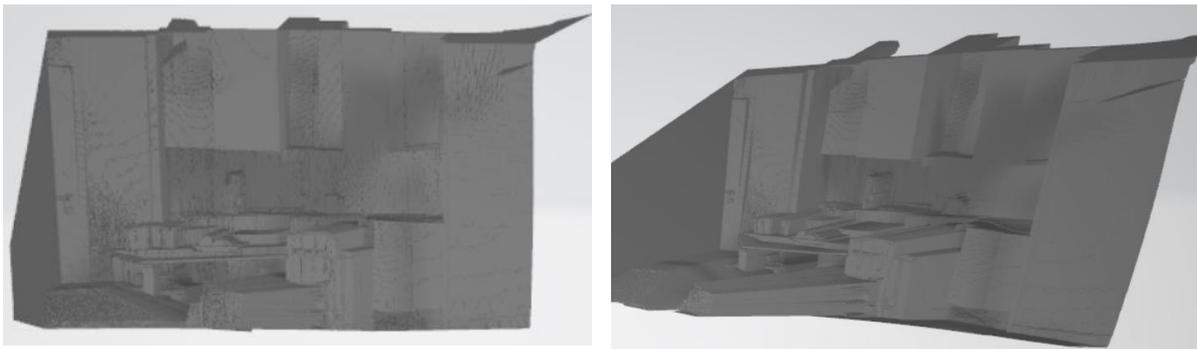


Рис. 6. Вид с разных сторон

4.4 Пример недостатка признаков

На рисунке 7 показано, что может произойти, если алгоритму `StereoSGBM` библиотеки `OpenCV` не хватает контрастных пятен – так называемых признаков, чтобы определить, что элементы находятся на разной глубине. В этом случае алгоритм заполняет области с неопределенным диспаратитетом данными, которые он смог точно определить. Это является примером недостатка признаков.



Рис. 7. Фрагмент сцены

В данном случае панель кухни, расположенная позади стула, была ошибочно принята за его часть, и область с неопределённым диспаратитом заполнена глубиной спинки стула. Если бы панель имела текстуру, то алгоритм произвёл бы расчёт глубины корректнее. Кроме того, было выяснено, что простая регулярная сетка точек может увеличить вероятность ложноположительных срабатываний, поэтому более хаотичное расположение точек может помочь улучшить качество распознавания при снижении числа ложных срабатываний.

4.5 Проблемы с исходными данными

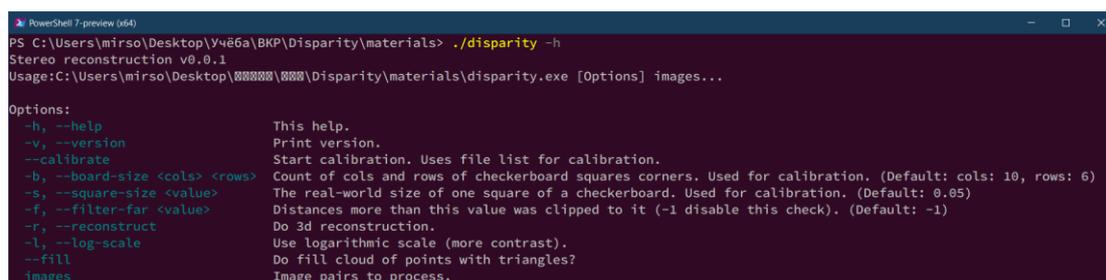
Рассмотрим основные проблемы, связанные с данными, получаемыми от камер:

1) большие однотонные поверхности. Для решения этой проблемы используется метод нанесения лазерной сетки, который позволяет повысить точность распознавания. Также уменьшить влияние отражений могут поляризационный фильтр и замена сенсоров на работу с другими диапазонами частот – инфракрасным или ультрафиолетовым;

2) глянцевые и зеркальные поверхности могут приводить к ошибкам определения глубины (глянцевые элементы декора, посуда, смеситель, плафон светильника, стекло настенных часов). Чтобы избежать этих ошибок, поверхности и объекты следует матировать [17], используя специализированные спреи.

4.6 Использование прототипа системы

На рисунке 8 представлено командное окно системы, запущенное в Microsoft PowerShell.



```

PS C:\Users\mirso\Desktop\Учёба\BKP\Disparity\materials> ./disparity -h
Stereo reconstruction v0.0.1
Usage:C:\Users\mirso\Desktop\Учёба\BKP\Disparity\materials\disparity.exe [Options] images...

Options:
-h, --help           This help.
-v, --version        Print version.
--calibrate          Start calibration. Uses file list for calibration.
-b, --board-size <cols> <rows> Count of cols and rows of checkerboard squares corners. Used for calibration. (Default: cols: 10, rows: 6)
-s, --square-size <value>      The real-world size of one square of a checkerboard. Used for calibration. (Default: 0.05)
-f, --filter-far <value>      Distances more than this value was clipped to it (-1 disable this check). (Default: -1)
-r, --reconstruct          Do 3d reconstruction.
-l, --log-scale            Use logarithmic scale (more contrast).
--fill                    Do fill cloud of points with triangles?
images                   Image pairs to process.

```

Рис. 8. Программный прототип системы

Перед первым запуском необходимо запустить калибровку камер (без калибровки дальнейшие шаги не будут инициализированы).

После запуска калибровки, в случае если приемлемых по качеству калибровочных паттернов оказалось достаточно для проведения калибровки (требуется минимум две пары изображений, на которых можно обнаружить искомый паттерн), программа должна создать файл с калибровочными данными (calibration.yml). Если файл появился в директории прототипа, можно запускать систему на реальных данных.

Ниже представлены возможные опции, реализованные в программном прототипе системы (табл. 2).

Таблица 2

Функционал, реализованный в прототипе системы

Параметры	Описание параметров
-h --help	Отображение подсказки
-v --version	Вывод номера версии
--calibrate	Инициализация калибровки

Параметры	Описание параметров
-b --board-size	Принимает два аргумента <cols> и <rows> (по умолчанию 10 и 6) – количество «внутренних» углов тестовой шахматной доски по горизонтали и вертикали. Используется при калибровке
-s --square-size	Линейный размер стороны квадрата шахматной доски. По умолчанию «0.05». Используется при калибровке
-f --filter-far	Используется для отсекаания точек, лежащих дальше заданной глубины; для этого принимает один аргумент. По умолчанию выключена (значение «-1»)
-l --log-scale	Использование логарифмического масштаба вместо линейного для вывода карты глубины. Карта с логарифмической шкалой, как правило, будет более контрастна, чем линейная
-r --reconstruct	Выполнение 3D-реконструкции
--fill	Инициализация построения полигонов поверх облака точек

5. НАПРАВЛЕНИЕ БУДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В перспективе рассматривается использование нейронных сетей для построения облаков точек как способ улучшения оценки результатов сканирования для других положений камеры и создания более полных и точных 3D-моделей сканируемого пространства [18]. Для построения облаков точек могут быть использованы методы глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (CNN) или генеративные состязательные сети (GAN) [19]. CNN можно использовать для сегментации объектов в облаке точек, а GAN - для создания реалистичных облаков точек на основе входных данных [20].

Кроме того, интеграция предлагаемой гибридной системы сканирования с робототехникой или автономными системами может позволить использовать систему в динамичных средах, таких как строительные площадки или зоны бедствий, где окружающая среда постоянно меняется [21, 22]. Монтаж системы сканирования на робота или беспилотник позволит ему перемещаться и сканировать различные области, повышая эффективность процесса сканирования.

Наконец, предложенный метод улучшения качества сканирования с помощью лазерной подсветки может быть распространен на другие типы систем 3D-сканирования, такие как LIDAR или сканеры со структурированным светом. Это позволит повысить точность и разрешение этих систем, что приведет к появлению новых потенциальных применений и вариантов использования.

Заключение

В заключение следует отметить, что данное исследование было посвящено разработке гибридной системы сканирования, сочетающей лазерную подсветку и стереопарную систему с системами LIDAR и ToF для улучшения качества результатов 3D сканирования. Предложенный метод нахождения диспаратета и статистической обработки сигнала с использованием вспомогательных данных, полученных при лазерном освещении сцены, и использование комбинации систем LIDAR и ToF в качестве лазерной дальномерной сканирующей системы для увеличения разрешения глубинного сканирования показали многообещающие результаты.

Благодаря реализации разработанного алгоритма программный прототип системы может генерировать RGB-D изображения и трехмерные модели с визуально достоверными результатами распознавания глубины даже в проблемных условиях для метода стереорекострукции.

Более того, интеграция нейронных сетей в построение облаков точек для получения дополнительной информации, которая может быть использована для оценки

результатов сканирования при других положениях камеры, является перспективной областью для будущих исследований. Одними из лучших нейронных сетей для создания облаков точек являются PointNet, PointCNN и PointGNN, которые показали выдающуюся производительность в задачах обработки облаков точек. В дальнейших исследованиях можно изучить применение этих нейронных сетей для улучшения качества генерации облаков точек в разработанной гибридной системе сканирования.

В частности, данное исследование внесло вклад в развитие технологии 3D-сканирования, предоставив практичный и эффективный метод улучшения качества результатов сканирования с помощью гибридной системы сканирования.

Литература

1. Rusu R.B. & Cousins S. In IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) // Rusu R.B. & Cousins S. (2011). 3D is here: Point Cloud Library (PCL). 2011. pp. 1-4.
2. López M., Martínez J., Matías J.M., Vilán J.A. and Taboada J. Application of a Hybrid 3D-2D Laser Scanning System to the Characterization of Slate Slabs // Sensors. Vol. 10. No. 6. Apr 2010. pp. 5949-5961.
3. Bangli Liu, Haibin Cai, Zhaojie Ju, Honghai Liu. RGB-D sensing based human action and interaction analysis: A survey // Pattern Recognition. Vol. 94. 2019. pp. 1-12.
4. Mancini F. and Pirotti F. Innovations in Photogrammetry and Remote Sensing: Modern Sensors, New Processing Strategies and Frontiers in Applications // Sensors. Vol. 21. No. 7. Mar 2021. P. 2420.
5. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Washington: The University of Washington. 2021. 813 pp.
6. Chiabrando F., Sammartano G., Spanò A., Spreafico A. Hybrid 3D Models: When Geomatics Innovations Meet Extensive Built Heritage Complexes // ISPRS Int. J. Geo-Inf., Vol. 8. No. 3. Mar. 2019. P. 124.
7. Kumar G.A., Lee J.H., Hwang J., Park J., Youn S.H., Kwon S. LiDAR and Camera Fusion Approach for Object Distance Estimation in Self-Driving Vehicles // Symmetry. Vol. 12. No. 2. Feb 2020. P. 324.
8. Pan F., Wang P., Wang L., Li L. Multi-View Stereo Vision Patchmatch Algorithm Based on Data Augmentation // Sensors. Vol. 23. No. 5. Mar 2023. P. 2729.
9. Воронин В.В., Фисунов А.В., Марчук В.И., Свиринов И.С., Петров С.П. Восстановление карты глубины на основе комбинированной обработки многоканального изображения // Современные проблемы науки и образования. Dec 2014. № 6.
10. Kordelas G.A., Daras P., Klavdianos P., Izquierdo E. and Zhang Q. IEEE Visual Communications and Image Processing Conference // Accurate stereo 3D point cloud generation suitable for multi-view stereo reconstruction. Malta. 2014. pp. 307-310.
11. Zhang Yu, Junle Yu, Xiaolin Huang, Wenhui Zhou, Ji Hou. Computer Vision – ECCV 2022: 17th European Conference Proceedings // PCR-CG: Point Cloud Registration via Deep Color and Geometry. Tel Aviv, Israel. 2022. Vol. Part X. pp. 443-459.
12. Hirschmüller H. Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 30. No. 2. Feb. 2008. pp. 328-341.
13. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library. O'Reilly Media. 2016.
14. Hirschmuller H. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005. pp. 807-814.

15. Birchfield S., Tomasi C. A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 20. No. 4. April 1998. pp. 401-406.
16. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. 2nd ed. Ленинград: «Наука», 1967. 11 pp.
17. Сложные для сканирования цвета и материалы [Электронный ресурс] // XYZprinting: [сайт]. URL: http://wiki.xyzprinting.com/3d_scanner/ru/tips-material/ (дата обращения: 12.02.2023).
18. Xia X., Fan Z., Xiao G., Chen F., Liu Y., Hu Y. Learning Representative Features by Deep Attention Network for 3D Point Cloud Registration // Sensors. Vol. 23. No. 8. Apr. 2023. P. 4123.
19. Vinodkumar P.K., Karabulut D., Avots E., Ozcinar C., Anbarjafari G. A Survey on Deep Learning Based Segmentation, Detection and Classification for 3D Point Clouds // Entropy. Vol. 25. No. 4. Apr 2023. P. 635.
20. Yang X., Wu Y., Zhang K. & Jin C. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence // CPCGAN: A Controllable 3D Point Cloud Generative Adversarial Network with Semantic Label Generating. Vol. 35 (4).
21. Rubio F., Valero F., Llopis-Albert C. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. // International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 16. No. 2. Apr 2019.
22. Mauri A., Khemmar R., Decoux B., Ragot N., Rossi R., Trabelsi R., Bouteau R., Ertaud J.-Y., Savatier X. Deep Learning for Real-Time 3D Multi-Object Detection, Localisation, and Tracking: Application to Smart Mobility // Sensors. Vol. 20. No. 2. Jan 2020. P. 532.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ОКУЛОГРАФИИ В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРФЕЙСОВ

Сенотрусова А.М.¹

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Балахчи А.Г.¹

¹ – Иркутский государственный университет

e-mail: a.senotrusova@gmail.com

Аннотация

В исследовании приводится опыт применения технологий окулографии для анализа юзабилити интерфейсов, а именно изучалось влияние оформления текстовых блоков на усвоение информации. Рассматриваются аппаратное и программное обеспечение для айтрекинга, сферы использования, опыт применения систем окулографии в дизайне интерфейсов, способы и методы применения для исследования UI/UX дизайна.

Ключевые слова

айтрекинг, окулография, исследование, отслеживание глаз, технологии, дизайн интерфейсов, UX, UI.

Окулография (отслеживание глаз, трекинг глаз, айтрекинг) – это процесс регистрации координат точек взора глаза. На начальных этапах данная технология применялась исключительно для исследований процессов чтения, их закономерностей, аномалий и общих принципов, для наблюдения за природой работы глаза у людей здоровых и с ограниченными возможностями. При помощи данных технологий была исследована физиология взгляда у людей с синдромом дефицита внимания, шизофренией и разными степенями поражения мозга. Также с применением окулографии были выработаны методики обучения детей с дислексией, аутизмом и церебральным параличом. Сейчас айтрекинг используется не только в исследовательских целях, но и в технологических. Применение этой технологии можно наблюдать в таких сферах, как маркетинг, дополненная и виртуальная реальность, косметология и другие. В настоящее время популярность использования гаджетов очень высока. И требования к контенту для этих устройств растут. Сайты или приложения должны отвечать ряду требований, чтобы потенциальный клиент не ушел к конкурентам. На данный момент существует множество техник и подходов к тестированию интерфейсов, но большинство из них связаны с опросами потенциальных юзеров или наблюдением за использованием разрабатываемого продукта. К сожалению, все эти методы не исключают субъективности в оценке результатов проведенных исследований. Поэтому здесь на помощь приходит технология окулографии. Данный подход в исследованиях выдает наиболее честный результат, так как регистрирует взгляд человека, который довольно сложно симитировать или подделать.

Технологии айтрекинга имеют огромный спрос в сфере юзабилити и нейромаркетинга ведь является абсолютно непредвзятым способом исследования, так как фиксируется естественная реакция человека. С использованием окулографии маркетологи могут получать более подробную информацию об эффективности дизайна сайта, приложения или рекламного баннера. Помимо интернет-пространства можно анализировать и расстановку товаров на полках в магазинах, например, для облегчения поиска покупателем продуктов первой необходимости или часто покупаемых, а также эффективного расположения акций и распродаж. Такие исследования проводятся с использованием специального трекера. Данный аппарат испускает пучок инфракрасного излучения, направленный на глазное яблоко, отражение которого считывает тот же трекер. Оборудованием может быть, как стационарным (например, для проведения исследований, стимульным материалом которого является десктопное приложение или

сайт), так и мобильным, например, очки со встроенным трекером (например, для проведения исследований в магазинах).

Результаты, записанные с помощью трекера, могут быть преобразованы в следующий вид [1]:

- тепловая карта (отражает длительность просмотра объекта пользователем);
- туманная карта (отражает зоны фокусировки внимания пользователя);
- карта перемещения взора (отражает путь пользователя до цели).

Использование айтрекинга в исследованиях юзабилити помогает выявить [2]:

- какие ключевые объекты интерфейса попадают в поле зрения пользователя;
- какие элементы интерфейса мешают пользователю или отвлекают его внимание;
- какой путь проходит до конечной цели пользователь (например, оформление заказа);
- с чем связаны низкая конвертация и кликабельность.

В своей работе мы использовали отслеживание глаз для сравнения эффективности различных дизайнов интерфейса веб-сайта в привлечении внимания пользователей. Перед проведением исследования необходимо было определить цели и задачи, уточнить какую информацию требуется получить от пользователей. Следующим шагом необходимо было выбрать метод сбора данных из следующих видов: запись движения глаз, запись экрана, запись аудио и видео в процессе исследования, опросы и интервью респондентов. Далее требовалось определить целевую аудиторию продукта. Самый удачный способ – создание образа типичного пользователя, определение пола и среднего возраста, социального статуса, а также примеры сценариев поведения на сайте. После определения целевой аудитории следовало составить задачи для респондентов, которые будут выполняться в процессе исследования. Следующим этапом являлась подготовка оборудования и места проведения исследования. Обстановка во время анализа должна была отвечать следующим требованиям:

1. Персональный компьютер и айтрекер, на которых проводится исследование должны были находиться на ровной поверхности. Также ПК должен был оборудован компьютерной мышкой и клавиатурой. На рабочем месте не должно было находиться посторонних предметов, отвлекающих внимание респондентов.

2. Респондент должен был находиться в сидячем положении. Перед началом исследования следовало отрегулировать стул по высоте, чтобы экран находился чуть ниже уровня глаз, а расстояние до него было не дальше вытянутой руки. Респонденту следовало сидеть расслабленно, удобно и без напряжения, чтобы все его внимание было сосредоточено на исследуемом материале. При необходимости голову испытуемого можно зафиксировать специальным оборудованием.

3. Айтрекер необходимо было расположить в нижней части экрана и надежно закрепить. Область, в которой проводилось исследование должно было изолировано от естественного освещения, солнечные лучи искажают и препятствуют прохождению инфракрасного излучения и засвечивают экран с исследовательским материалом.

Первый этап исследования был направлен на изучение влияния стилистического оформления текста на усвоение информации пользователем. Его целью являлось выявление характеристик оформления текста, которые способствуют лучшему усвоению информации. Для определения наилучшего и наихудшего оформления текста были определены претенденты по каждому из четырех критериев: общее время фиксации, возвраты, количество фиксаций, амплитуды саккад. По данным исследования можно сделать вывод, что стереотип о черном тексте и белом фоне может быть ошибочным, а наиболее удачное оформление – это фон пастельных тонов для текста черного цвета. Такое сочетание удобно для человеческого глаза, так как является менее контрастным, чем белый фон и черный текст. На втором этапе исследования нами были подготовлены три варианта дизайна сайта [3]: традиционный макет с горизонтальным меню,

минималистский макет с вертикальным меню и визуально сложный макет с большим изображением заголовка и горизонтальным меню. Участникам исследования, которые просматривали каждый из трех дизайнов веб-сайтов, в то время как движения их глаз отслеживались с помощью айтрекера, было предложено выполнить поисковое задание для имитации реального сценария, в котором пользователи посещают веб-сайт в поисках информации. Было необходимо проанализировать данные отслеживания глаз, чтобы определить, какие области веб-сайта привлекли наибольшее внимание пользователей, как пользователи просматривали страницы и какие элементы дизайна были наиболее эффективными для привлечения внимания пользователей. Результаты исследования показали, что минималистичный дизайн интерфейса с вертикальным меню привлек наибольшее внимание пользователей, особенно в верхней левой части экрана. Визуально сложный дизайн с большим изображением заголовка был наименее эффективным в привлечении внимания пользователей, поскольку пользователи тратили наименьшее количество времени на просмотр изображения заголовка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что простой и понятный дизайн с вертикальными меню может быть более эффективным для привлечения внимания пользователей и улучшения удобства использования.

Проведен ряд исследований юзабилити интерфейсов на основе, которых были разработаны методические рекомендации по применению айтрекинга в данной сфере. Также были выявлены оптимальные цвета фона и текста, а также тип его начертания для лучшего усвоения информации. В целом, это исследование дает представление о том, как различные дизайны интерфейса могут влиять на внимание и поведение пользователей при навигации по веб-сайтам.

Литература

1. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Методы регистрации движений глаз в психологии: основы учебно-методического комплекса / Экспериментальная психология. 2014. Том 7. №1. С. 132 – 137.
2. Nielsen J., Pernice K. Eyetracking Web Usability. USA: New Riders. 2010.
3. Using Eye Tracking to Compare Web Page Designs: A Case Study // ResearchGate URL: https://www.researchgate.net/publication/280114414_Using_Eye_Tracking_to_Compare_Web_Page_Designs_A_Case_Study (дата обращения: 5.03.2023).

СРАВНЕНИЕ СИНХРОННОГО И АСИНХРОННОГО МЕТОДОВ ЮЗАБИЛИТИ-ТЕСТИРОВАНИЯ

Сорокин М.В.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Балканский А.А.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: maks1616163@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР «Сравнение синхронного и асинхронного методов юзабилити-тестирования».

Аннотация

В работе рассмотрены существующие методы юзабилити-тестирования, а также текущие сравнения методов. Рассмотрены две статьи, посвященные сравнению методов, на респондентах из разных стран со своими культурными особенностями. Проведен эксперимент с целью выявления наиболее эффективного метода юзабилити-тестирования для тестирований с русскоговорящими респондентами.

Ключевые слова

Юзабилити-тестирование, синхронный метод, асинхронный метод, русскоговорящие респонденты, культурные особенности.

Юзабилити-тестирование – это метод оценки интерфейса с точки зрения удобства и эффективности его использования. При этом оно бывает синхронным и асинхронным [1]. При синхронном тестировании модератор следит за выполнением тестового задания респондентом и записывает с какими проблемами тот столкнулся, а также фиксирует различные комментарии от респондента. В случае если у модератора возникли какие-либо вопросы по комментарию респондента он может задать уточняющие вопросы. Такой вид тестирования может быть очным или же дистанционным, например в зуме. Асинхронный метод же является противоположностью синхронного. Респондент самостоятельно проходит тестовое задание и заполняет анкету, в которой указывает, какие проблемы у него возникли. Далее модератор анализирует полученные анкеты без возможности задать дополнительные вопросы и получить дополнительные комментарии от респондента.

Был проведен анализ статей по данной тематике. Было выявлено, что в первой статье [2], в которой тестирование было проведено на респондентах из Саудовской Аравии, асинхронный метод позволил выявить больше проблем с интерфейсом нежели синхронный. В то же время во второй статье [3], где тестирование проводили на респондентах из США получились противоположные результаты и синхронный метод оказался в разы эффективнее. Кроме этого, в рамках данного исследования сравнивались лабораторное и синхронное дистанционное тестирование. В ходе исследования было получено, что два этих метода показывают схожие показатели в количестве обнаруженных ошибок и практически не имеют отличия. При этом в другой статье, посвященной сравнению дистанционного, лабораторного и очного тестирования без лабораторных условий были получены отличающиеся результаты [4]. Также, исследователи из первой статьи отмечают, что такие результаты могли быть получены из-за культурных особенностей т. к. респондентам из Саудовской Аравии было тяжело высказывать прямую критику во время синхронного тестирования [5]. В связи с этим было принято решение провести аналогичное исследование, но на русскоговорящей аудитории с целью выявления наиболее эффективного метода юзабилити-тестирования для тестирований с русскоговорящими респондентами.

Был проведен пилотный эксперимент, в котором приняли участие 40 респондентов, разделенные на 4 группы для того, чтобы избежать ошибку последовательности. Тестирование проводилось на двух сайтах auto.ru и avito. Были составлены 3 гипотезы. Первая основная о том, что наличие наблюдателя в синхронном методе повысит количество обнаруженных проблем на сайте. Так же две дополнительные гипотезы о корреляции. Первая об увеличении количества проблем при увеличении времени прохождения задания. Вторая об уменьшении времени прохождения задания при увеличении уровня знакомства с сайтом. По результатам пилотного эксперимента была замечена тенденция к подтверждению гипотез, а также определен размер выборки для основного эксперимента в 80 человек.

Далее проводился основной эксперимент, в котором проверялись такие же гипотезы, как и в пилотном. Первой проверяемой гипотезой была гипотеза о количестве обнаруженных проблем в каждом из методов. На рисунке 1 представлена диаграмма, показывающая среднее количество проблем для первого сайта с использованием обоих методов. Как видно, синхронный метод позволил выявить больше проблем в среднем, чем асинхронный.

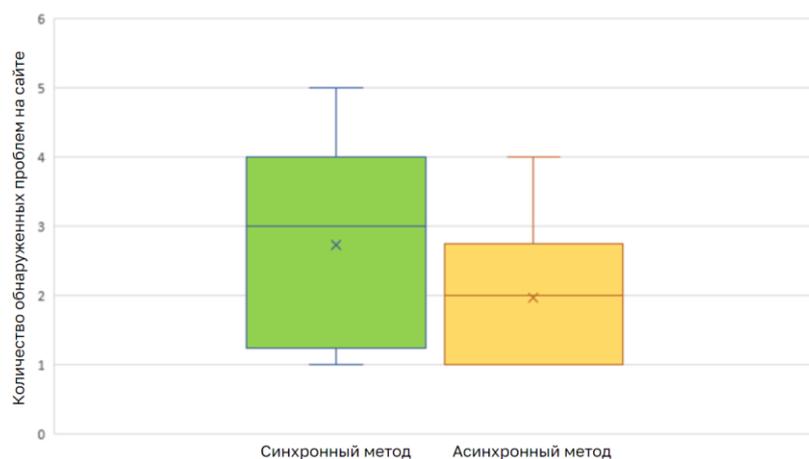


Рис. 1. Количество проблем на первом сайте, обнаруженное с использованием обоих методов

Аналогичная ситуация наблюдалась и на втором сайте, результаты которого представлены на рисунке 2. Синхронный метод позволили выявить больше проблем в среднем, чем асинхронный.

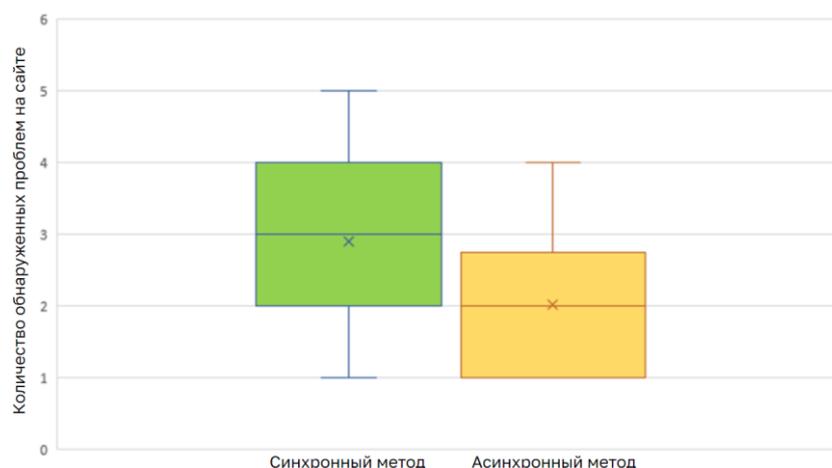


Рис. 2. Количество проблем на втором сайте, обнаруженное с использованием обоих методов

Кроме того, были построены две диаграммы, показывающие взаимосвязь времени прохождения тестового задания и количества обнаруженных ошибок представленной на рисунке 3, а также временем прохождения тестового задания и уровнем знакомства с сайтом представленной на рисунке 4.

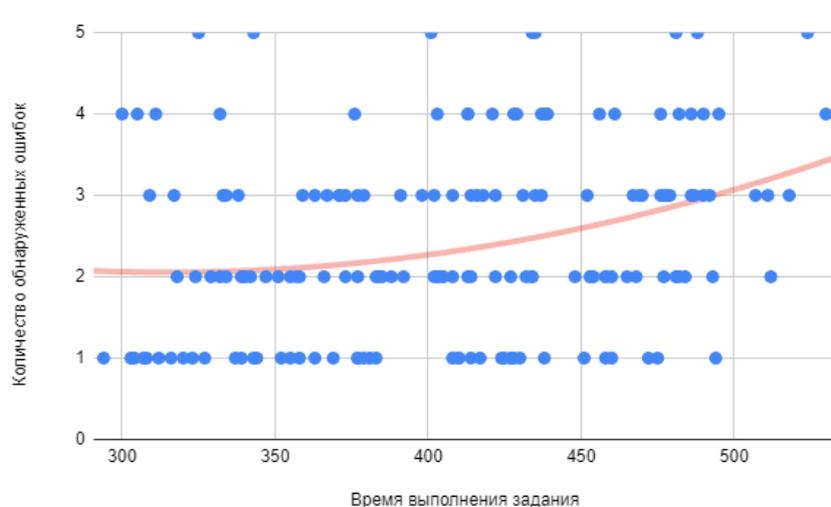


Рис. 3. График корреляции времени прохождения задания и количества найденных ошибок

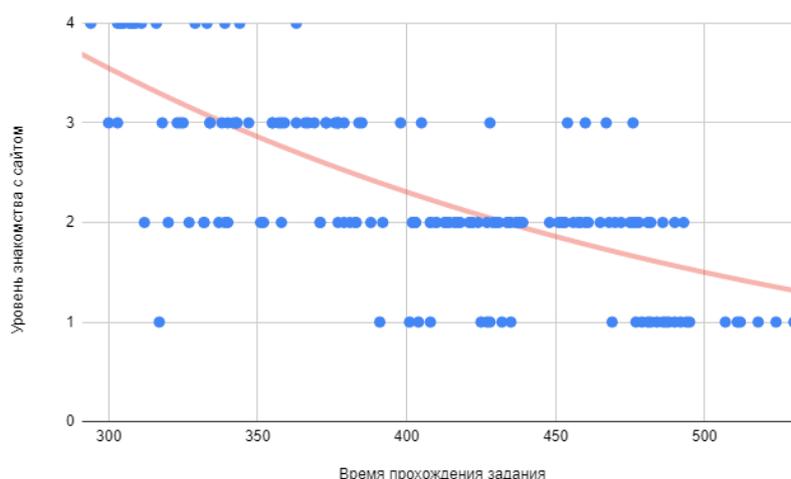


Рис. 4. График корреляции времени прохождения задания и уровня знакомства с сайтом

Как видно из графика представленного на рис. 3 количество обнаруженных ошибок в интерфейсе начинает немного увеличиваться вместе с увеличением времени прохождения тестового задания. Это может означать то, что респонденты пытаются выявить ошибки в интерфейсе из-за чего время их прохождения увеличивается. Из графика представленного на рисунке 4 видно, что при уменьшении уровня знакомства с сайтом время прохождения задания увеличивается. Это происходит из-за того, что респонденты, у которых уровень знакомства с сайтом выше могут опираться на свой предыдущий опыт во время прохождения тестового задания из-за чего время прохождения тестового задания у них снижается.

Далее для каждой из гипотез необходимо рассчитать статистические данные для того, чтобы подтвердить их или же опровергнуть. Для проверки первой гипотезы о влиянии наличия наблюдателя в синхронном методе на количество обнаруженных

ошибок использовался тест знаков. В ходе эксперимента было получено 80 разниц. 63 из них — это ненулевые разницы, из которых 48 положительных, 15 отрицательных. Остальные 17 оказались нулевыми. При этом доля нетипичных положительных разностей составляет $p_1 = 0.24\%$. Далее по формуле 1 получаем, что p -value для данной гипотезы равен 0.0019.

$$p - value = \text{BINOMDIST}(G; N; 50\%; 1) . \quad (1)$$

Для проверки первой гипотезы о корреляции использовался ранговый тест Спирмана. Все полученные данные по времени прохождения тестового задания и количеству обнаруженных ошибок были проранжированы после чего по формуле 2 был определен коэффициент корреляции Спирмана.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (R[x_i] - \bar{R}) * (R[y_i] - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R[x_i] - \bar{R})^2 * \sum_{i=1}^n (R[y_i] - \bar{R})^2}} . \quad (2)$$

Размер выборки для данной гипотезы составляет 160, а значит коэффициент Спирмана составляет 0.285. Далее по формуле 3 рассчитываем p -value равный 0.175%, а также z равный 3.57 по формуле 4.

$$p - value = \text{NORMSDIST}(-\text{ABS}(z)), \quad (3)$$

$$z = F(r_s) \sqrt{\frac{n-3}{1.06}} . \quad (4)$$

Для проверки второй гипотезы о корреляции использовался ранговый тест Спирмана. Все полученные данные по времени прохождения тестового задания и уровню знакомства с сайтом были проранжированы после чего проводим расчеты аналогичные предыдущей гипотезе. По формуле 5 был определен коэффициент корреляции Спирмана. Размер выборки для данной гипотезы составляет 160, а значит коэффициент Спирмана составляет -0.678. Далее по формуле 6 рассчитываем p -value, а также z по формуле 7. Получаем $z = -10.05$ и p -value $< 2 \times 10^{-24}$.

Далее была выполнена статистическая обработка с использованием метода Холма-Бонферрони, которая представлена в таблице. Уровень групповой ошибки был принят равным 1.5% (таблица).

Таблица

Обработка методом Холма-Бонферрони

№	Нулевая гипотеза	p -value	α
1	Нет корреляции между временем прохождения задания и уровнем знакомства с сайтом	$< 2 * 10^{-24}\%$	0.5%
2	Количество обнаруженных ошибок с использованием синхронного метода равно количеству ошибок с асинхронным методом	0.0019%	0.75%
3	Нет корреляции между временем прохождения задания и количеством обнаруженных ошибок	0.0175%	1.5%

По результатам исследования можно сделать вывод, что синхронный методом позволяет найти больше ошибок чем асинхронный. Также наблюдается небольшая корреляция в сторону увеличения количества проблем при увеличении времени, а также умеренная корреляция в сторону уменьшения времени прохождения задания при увеличении уровня знакомства с сайтом.

Литература

1. Bastien J.M.C. Usability testing: a review of some methodological and technical aspects of the method //International Journal of Medical Informatics. Vol. 79. no. 4. 2010. С. 18-23.
2. Alhadreti O.A Comparison of Synchronous and Asynchronous Remote Usability Testing Methods //International Journal of Human-Computer Interaction. vol. 38. no. 3. 2022. С. 289–297.
3. Andreasen M.S., Nielsen H.V., Schroder S.O. and Stage J. What Happened to Remote Usability Testing? An Empirical Study of Three Methods //Proceedings of the 2007 Conference on Human Factors in Computing Systems. 2007. С. 1624.
4. Sauer J., Sonderegger A., Heyden K., Biller J., Klotz J. and Uebelbacher A. Extra-laboratorial usability tests: An empirical comparison of remote and classical field testing with lab testing //Applied Ergonomics. Vol. 74. 2019. С. 85–96.
5. Hall M., Jong de M. and Steehouder M. Cultural differences and usability evaluation: Individualistic and collectivistic participants compared //Technical Communication. vol. 51. no. 4. 2004. С. 489–503.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПОКАЗАННОЙ ПОЗИЦИИ В ТАБЛИЦЕ ЛИДЕРОВ С ЧАСТОТОЙ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ В ИГРОФИЦИРОВАННОЙ ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Спиридонова К.Е.¹ (магистрант)

Научный руководитель – старший преподаватель Балканский А.А.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: kseniaspiridonova00245@gmail.com

Аннотация

В работе представлены результаты эксперимента по определению влияния показанной позиции в таблице лидеров на частоту сердечных сокращений (ЧСС) и эффективность выполнения задачи. Тестировалось два варианта демонстрации набранных за игру баллов: с таблицей лидеров и без. Каждый респондент сыграл в 4 односторонние мини-игры со случайно выбранным видом демонстрации результатов. Полученные данные не подтвердили сформулированные гипотезы.

Ключевые слова

Геймификация, стресс, частота сердечных сокращений, социальное сравнение, эффективность выполнения задачи.

Одним из специфических элементов игрофикации [1] является таблица лидеров. Таблица лидеров – это инструмент, который можно использовать для сравнения результатов внутри сообщества. Она служит механизмом обратной связи и может способствовать вовлечению участников. Несмотря на то, что существует значительный объем работ как по положительным [2-4], так и по отрицательным эффектам игрофикации [5], до сих пор практически не проводилось исследований, в которых изучалось влияние отдельно взятых элементов игрофикации на воспринимаемый стресс.

В данной работе исследуется влияние показанной позиции в таблице лидеров на пользователей, а именно какое она оказывает влияние на такой объективный параметр воспринимаемого стресса как ЧСС и как ее использование сказывается на количестве набранных баллов – маркере эффективности выполнения задачи. Понимание степени влияния может помочь более осмысленному использованию данного игрофицированного элемента.

В соответствии с теорией самодетерминации [6], именно внутренняя мотивация побуждает человека к самостоятельным неподкрепляемым извне действиям. Эта мотивация обеспечивает более долгосрочный эффект, чем внешняя мотивация, которая зависит от внешних обстоятельств. Три базовые потребности - автономия, компетентность и сопричастность - являются основой внутренней мотивации. Удовлетворение этих потребностей способствует ее росту. В связи с этим, в контексте теории самодетерминации использование таблицы лидеров в качестве элемента геймификации можно рассматривать как элемент внешней мотивации, способствующий удовлетворению потребности в компетентности. Однако, это будет корректно только, если пользователь не будет считать данный элемент средством контроля извне. В противном случае, внешне безобидная ретинговая таблица может стать лишним поводом для сравнения результатов, формированию сильных эмоциональных реакций на этой почве и большей зависимости оценки пользователей от сравнений себя с другими [7]. В данном контексте таблица лидеров будет рассматриваться уже как стрессор оценки деятельности, в частности стрессор победы и поражения [8].

В рамках исследования был проведен эксперимент на базе браузерной игры с открытым исходным кодом «2048» (рис. 1). Вся игра проходит на поле размером 4x4. В

каждом раунде появляется плитка с номиналом 4 или 2. При помощи стрелок на клавиатуре игроку нужно передвигать плитки игрового поля в одну из четырех сторон: вверх, вниз, направо или налево. Необходимо объединить клетки с одинаковым номиналом. Таким образом, растет их «вес»: например, сначала он составляет 2, на следующем шаге 4, потом – 32, 64, 256. Цель игры – набрать как можно больше очков.

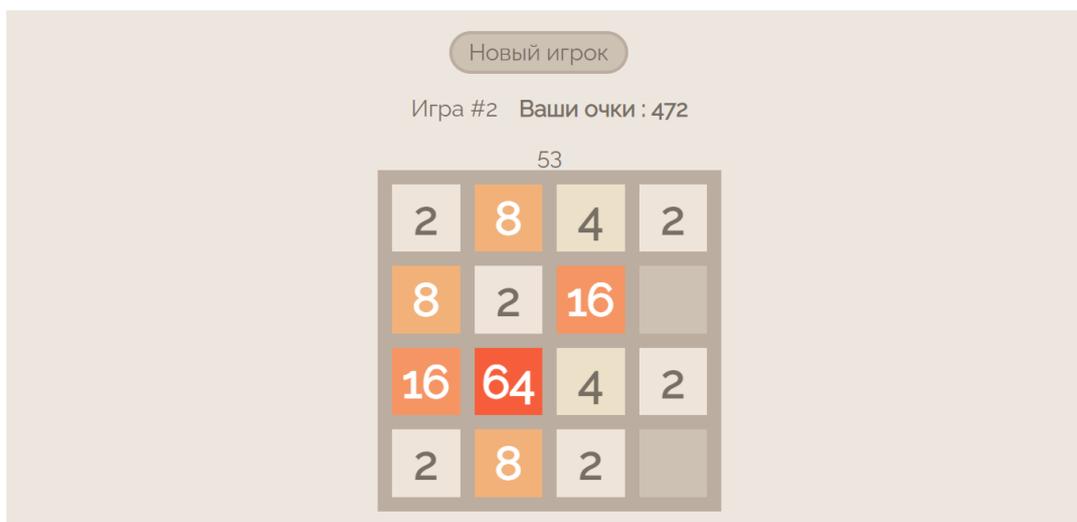


Рис. 1. Интерфейс браузерной игры «2048»

Проводился эксперимент в формате модеримуемого оффлайн тестирования. Респондентам предоставлялась веб-страница с игрой, которая могла либо содержать таблицу лидеров, либо нет. Весь ход эксперимента можно условно разделить на две части: обучающая (пробный раунд) и игровая (1-й, 2-й и 3-й раунды). В ходе пробного раунда пользователь знакомился с интерфейсом, правилами игры и особенностями управления браузерной версией. После этого респондент выполнял серию игр из 3 раундов. Первый раунд включал в себя вид демонстрации результатов только изображение набранных баллов за игру (рис. 2) и был таким как у контрольной, так и у экспериментальной группы. На этапе второго и третьего раундов происходило фактическое разделение участников на экспериментальную и контрольную группы. Вид демонстрации результатов для контрольной группы оставался прежним (рис. 3), для экспериментальной изменялся (рис. 2) и включал в себя уже контролирующую таблицу лидеров с набранными за раунд баллами.

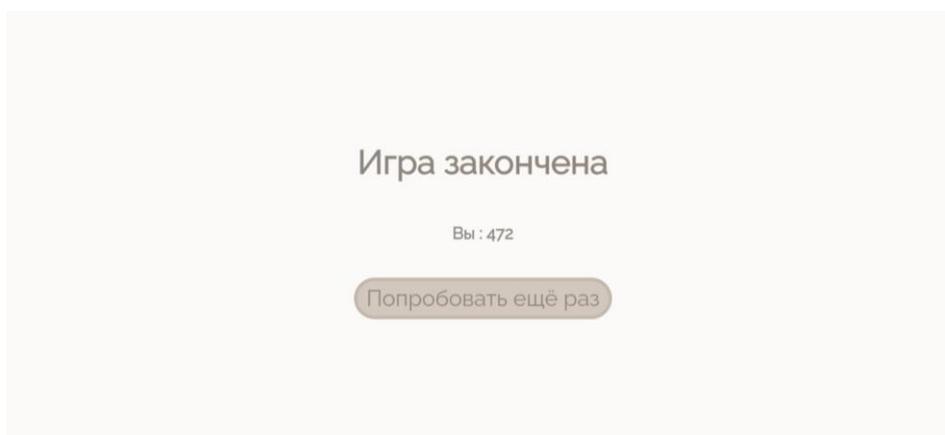


Рис. 2. Внешний вид страницы отображения баллов, набранных за игру (1–3 раунды для контрольной группы, и 2 раунда для экспериментальной)

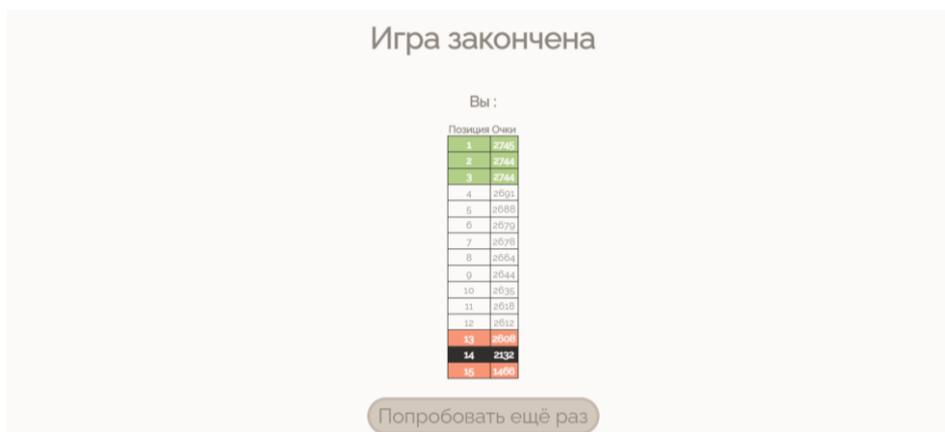


Рис. 3. Внешний вид страницы отображения баллов, набранных за игру, в виде таблицы рейтинга (3 и 4 раунды для экспериментальной группы)

Использовалась фиксированная рандомизация: респондент попадал в контрольную или экспериментальную группу строго на основании заранее сгенерированной последовательностей чисел. Изменений в данной последовательности по ходу исследования не происходило.

Непосредственно перед самим тестированием каждому респонденту было предложено пройти опрос с целью контроля выборки и для измерения страха негативной социальной оценки. ЧСС каждого респондента во время эксперимента фиксировалась с помощью системы BioRadio™ в режиме постоянного измерения.

Для анализа в рамках эксперимента фиксировались целевые показатели:

- ЧСС;
- количество очков, набранное после каждой прохождения мини-игры.

Контролируемыми переменными были:

- место студента в таблице лидеров;
- время прохождения – было фиксированным для всех респондентов и составляло 60 секунд.

Внешние факторы, собираемые для контроля выборки:

- страх отрицательной оценки;
- направление обучения респондента;
- пол;
- возраст.

Потому как участие в эксперименте было полностью добровольным, ожидалось, что главными и единственными внутренними стимулами для прохождения тестирования в контрольной группе будут интерес к исследованию и чувство причастности к группе людей, помогающих в его проведении. Для экспериментальной же группы дизайн исследования предполагал включение со второго раунда игры элемента внешней мотивации, а именно таблицы лидеров – инструмента сравнения результатов пользователей. С учетом того, что прямого согласия на взаимодействие с данным элементом геймификации респонденты не давали [9], ожидается, что таблица лидеров должна быть расценена ими как стрессор окружающей среды, а именно стрессор непрошенной оценки и вызвать выраженную реакцию симпатической нервной системы – увеличение частоты сердечных сокращений [10]. Вызванный стресс в свою очередь должен сказаться на результативности выполнения задачи.

В пилотном эксперименте приняли участие 10 человек. На основе его результатов была сформулированы три гипотезы:

1. Снижения баллов у студентов после показа им результатов прохождения мини-игры в экспериментальной группе произойдет с вероятностью 100%, а в контрольной группе с вероятностью 40%.

2. Уровень страха негативной социальной оценки имеет отрицательную корреляцию со значением ЧСС в момент начала проведения эксперимента, и ее коэффициент равен -0.80.

3. Количество баллов, набранное студентом в конце 3 мини-игры, имеет положительную корреляцию со значением ЧСС студента в момент его ознакомления с результатами, и ее коэффициент равен 0.76.

Так как сравнивались две независимые выборки, то расчеты производились по тесту Манна-Уитни, для гипотез о корреляции использовалась корреляция Спирмена. Необходимый размер общей выборки для основного эксперимента при уровне значимости в 1,67% и мощности от 94% до 97% составил 38 респондентов.

В основном эксперименте приняли участие 40 человек (контрольная группа – 20 респондентов, экспериментальная – 20 респондентов). Как и в пилотном, в нем преимущественно были студенты 1 курса бакалавриата.

Ни одна из гипотез не была подтверждена.

Тест Манна-Уитни не показал значимых различий на заданном уровне ($\alpha = 1.67\%$) в изменении количество набранных баллов с использованием таблицы лидеров и без: $Z = -1.54$, $p\text{-value} = 12,4\%$ при двухсторонней проверке. Границы двустороннего ДИ на уровне доверия 98,3% для медианы равны: от -56 до 72 баллов для контрольной группы и от -24 до 296 для экспериментальной. ДИ на уровне доверия 98,3% для долей отрицательных разностей равны: 12–57% для контрольной группы и 23–70% для экспериментальной. Фактическая мощность при $n = 40$ для конкурирующей гипотезы $\frac{u}{m \cdot n} = 10\%$, оценённой по пилотным данным при $\alpha = 1.67\%$ составляет 97% ($\beta = 3\%$) при двусторонней проверке.

Стоит отметить, что величина рассматриваемого эффекта не только не подтвердилась, но и показала обратную направленность: снижение баллов за игру в экспериментальной группе произошло в меньшем количестве случаев (30%), чем в контрольной (40%) и имело тенденцию к еще большему уменьшению от раунда к раунду.

Корреляция Спирмена между показателем страха негативной социальной оценки и изменением ЧСС при взаимодействии с таблицей лидеров вовремя ознакомления с результатами прохождения игры оказалась статистически незначимой на уровне $\alpha = 1.67\%$: $r_s(20) = -0.16$, $Z = -0.66$, $p\text{-value} = 50,7\%$ при двухсторонней проверке с поправкой на непрерывность. Границы двустороннего ДИ на уровне доверия 98,3% находятся от -0.64 до 0.41. Фактическая мощность при $n = 20$ для конкурирующей гипотезы $r_s = -0,8$ при $\alpha = 1.67\%$ составляет 98% ($\beta = 2\%$) при двусторонней проверке.

Корреляция Спирмена между количеством баллов, набранных в конце 3 мини-игры, и значением ЧСС при взаимодействии с таблицей лидеров вовремя ознакомления со своими результатами прохождения игры также оказалась статистически незначимой на уровне $\alpha = 1.67\%$: $r_s(20) = 0.16$, $Z = -0.66$, $p\text{-value} = 50,9\%$ при двухсторонней проверке с поправкой на непрерывность. Границы двустороннего ДИ на уровне доверия 98,3% находятся от -0.41 до 0.64. Фактическая мощность при $n = 20$ для конкурирующей гипотезы $r_s = 0,78$ при $\alpha = 1.67\%$ составляет 96% ($\beta = 4\%$) при двусторонней проверке.

Проведенный эксперимент не выявил влияния позиции в таблицы лидеров в интерфейсе игры на ЧСС пользователя и на количество набранных им баллов.

Литература

1. Deterding S. et al. From game design elements to gamefulness: defining "gamification" //Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments. 2011. С. 9-15.
2. Sailer M., Homner L. The gamification of learning: A meta-analysis //Educational Psychology Review. 2020. Т. 32. №. 1. С. 77-112.
3. Sailer M., Sailer M. Gamification of in-class activities in flipped classroom lectures //British Journal of Educational Technology. 2021. Т. 52. №. 1. С. 75-90.

4. Zainuddin Z. et al. The role of gamified e-quizzes on student learning and engagement: An interactive gamification solution for a formative assessment system //Computers & Education. 2020. Т. 145. С. 103729.
5. Sanchez D.R., Langer M., Kaur R. Gamification in the classroom: Examining the impact of gamified quizzes on student learning //Computers & Education. 2020. Т. 144. С. 103666.
6. Ю-Кай Ч. Геймифицируй это. Как стимулировать клиентов к покупке, а сотрудников к работе / Пер. с англ. М.: Эксмо. 2022. 400 с.
7. Dijkstra P., Gibbons F. X., Buunk A. P. Social comparison theory. 2010.
8. Разумов С.А. Эмоциональные реакции и эмоциональный стресс //Эмоциональный стресс в условиях нормы и патологии человека. Л.: Медицина. 1976. С. 5-32.
9. Mollick E.R., Rothbard N. Mandatory fun: Consent, gamification and the impact of games at work //The Wharton School research paper series. 2014.
10. Щербатых Ю.В. Экзаменационный стресс. Воронеж. 2000. С. 18-55.

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ СОЗДАНИЯ РАСТРОВОГО ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА «СОВВИ»

Чудинова М.А.¹ (школьник)

**Научный руководитель – учитель информатики высшей квалификационной
категории Хамбалеева А.Ю.¹**

1 – Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия №1»,
г. Нижневартовск
e-mail: chudinova-olimp@yandex.ru

Аннотация

В работе приведен анализ наиболее распространенных графических редакторов на рынке, обозначены их недостатки и технические характеристики. Опираясь на данные анализа, был создан растровый графический редактор. В статье приводится краткое описание разработки, приведены показатели оценки эффективности созданного продукта, а также результаты внедрения в дополнительные образовательные программы. На основе обратной связи пользователей сформулирована стратегия дальнейшего развития приложения.

Ключевые слова

Растровый графический редактор, программирование, система образования, базы данных, SQL, DB-API, python.

Графический редактор – программа позволяющая создавать, просматривать, обрабатывать и редактировать цифровые изображения на компьютере. Графические редакторы делятся на два типа по способу построения изображений: векторные и растровые. С помощью растровой графики создаются изображения, представляющие собой матрицу пикселей. Единицу пикселя характеризуют яркостью, цветом и прозрачностью [2]. Растровые изображения создаются и редактируются с помощью множества различных растровых графических редакторов.

Анализ основных технических характеристик рассмотренных нами редакторов представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика наиболее
распространенных растровых графических редакторов**

Критерий сравнения	MS Paint	The GIMP	Snapseed	Krita
Страна	США	США	США	США
Год	1985	1995	2011	2005
Платформа	Windows	Windows	Windows, Android, iOS, OS X	Windows
Системные требования	Видеокарта с поддержкой 3D, 64 mb	Процессор: Pentium IV, от 700 MHz или AMD AthlonXP от 700 MHz	Процессор: Intel или AMD, актуальные драйвера	1.6Ghz dual-core CRU
HDD	250МБ	100МБ	4 Gb	300МБ
ОЗУ	1 Gb	512МБ	2Gb	2Gb Дополнительно: 4 GB System

Данные анализа показывают, что наиболее популярные растровые редакторы на различных платформах имеют американское происхождение. Единственная российская разработка графического редактора - «AliveColors», однако данный цифровой продукт позволяет только редактировать фотографии, поэтому не закрывает потребностей рынка в сфере растровых графических редакторов.

Разработка приложения соответствует целям и задачам федерального проекта «Успех каждого ребёнка», который направлен на обеспечение равного доступа детей к актуальным и востребованным программам дополнительного образования, выявлению талантов каждого ребенка и ранней профориентации обучающихся [1].

Поэтому разработка редактора актуальна по ряду причин:

- в соответствии с ФГОС среднего общего образования программы для работы с растровой графикой и изображениями осваиваются на базе MSPaint. На данный момент в этом сегменте не существует отечественных аналогов программы, поэтому продукт будет востребован с учетом курса государства на импортозамещение [5];
- с увеличением темпов цифровизации пользователи начинают ценить оперативность работы и минимизацию объема, который будет занимать программа на их устройстве, наше решение будет удовлетворять запросу аудитории;
- даже в условиях самоизоляции и неблагоприятных погодных условий важно продолжать учебный процесс, здесь на помощь приходит применение дистанционных технологий. Разработка стабильных графических редакторов будет пользоваться повышенным спросом при переходе на дистанционное обучение.

Социальная значимость проекта заключается в его практической применимости в образовательном процессе в виде:

- обучения школьников 1-4 класса основам работы с графическими редакторами;
- программа позволяет использование на уроках математики при изучении фигур или объяснении формул;
- отработки практических навыков использования быстрых клавиш (5-6 класс);
- ранней профориентации школьников 7-8;
- иллюстрации графиков функции в курсе алгебры;
- использования приложения при подготовке к темам планиметрии, встречающимся в экзаменах (ОГЭ, ЕГЭ);
- развития аналитических способностей среди параллелей 9-11 классов путем изучения языка программирования python и внесения предложений по доработке кода программы;
- практики реверс-инжиниринга (reverse-инжиниринг) для учеников старших классов на основе анализа данного приложения, что позволит выявить детей, заинтересованных в участии в соревнованиях по CTF, поскольку направление информационной безопасности и защиты данных актуально в условиях санкционного давления и цифровизации множества социальных сервисов;
- создания условий для выявления и поддержки детей, проявляющих интерес и способности к программированию и информационным технологиям.

Экономическая рентабельность программы высокая, достигается путём минимальных денежных затрат на её разработку. Достоинством в эксплуатации выступает отсутствие необходимости покупки и продления лицензии на использование определенной операционной системы для корректной работы приложения.

Для разработки редактора нами был выбран язык программирования Python, поскольку в работе необходимо подключение дополнительных модулей, наличие встроенных библиотек, а также важна возможность применения программы на различных платформах.

В процессе написания программного кода приложения были изучены открытый исходный код существующих аналогичных программ и документация языка. Код нашей

программы структурирован и разделен на иерархию классов, что позволяет создавать множество независимых друг от друга объектов. Основа приложения состоит в классе “Window”, который имеет центральный виджет “Canvas”(здесь реализовано рисование). Помимо этого созданы 5 классов различных геометрических фигур, при рисовании которых вызывается метод класса “draw” [3].

Для приближения к реальному функционалу растрового графического редактора были реализованы следующие функции:

- сохранение и открытие файлов;
- отмена и возврат последних действий.

Все инструменты, окна и другие элементы интерфейса приложения проекта имеют своё сочетание клавиш для их вызова. Реализованы общепринятые сочетания для функций сохранения, открытия, создания, отмены и возвращения и так далее (рисунок).

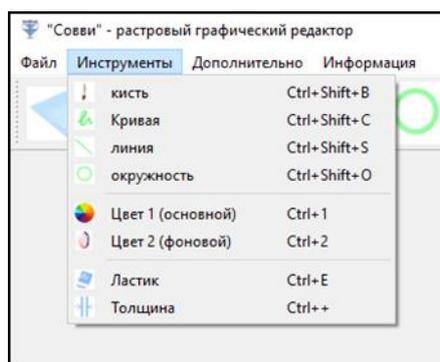


Рисунок. Скриншот интерфейса программы

Функционирование приложения невозможно без привлечения средств для структурированного хранения данных. В рамках проекта использовалась Python DB-API, модуль для работы с анализом данных sqlite3, ее выбор был основан на простоте внедрения и высоких показателях эффективности. База данных состоит из 3 таблиц, при инициализации программы в них установлены значения по умолчанию, данные могут изменяться пользователем в ходе рисования. Управление базой данных реализовано путем вызова функций с аргументами и языка SQL.

Важной частью разработки являлся интерфейс программы, поскольку ее применение планируется в ходе образовательного процесса, оформление должно быть ярким и понятным даже младшему школьнику. В приложении интерфейс представлен иконками инструментов укрупненного формата. В помощь пользователю нами был реализован функционал выведения подсказок о работе программы при наведении курсора на панель

Новизна и оригинальность разработанного редактора имеет ряд преимуществ перед аналогами. Многофункциональность позволяет создавать рисунки, схемы, графики. Легкость в освоении дает возможность использовать редактор пользователю любого возраста. Информационность подтверждает наличие справочника с формулами. Универсальность заключается в возможности применения в любой дисциплине школьного курса. Также данное приложение позволяет работать с готовыми изображениями, строить графики функций.

Процесс инсталляции и инициализации программы оптимизирован для пользователей ПК, не имеющих установленных файлов языка программирования, путем создания standalone приложения. Таким образом, установка приложения доступна более широкой аудитории.

На основе финальной разработки представим технические требования к установке данного приложения на компьютере пользователя, с которыми вы можете ознакомиться в таблице 2.

Основные характеристики разработки

	«Совви»
Страна	Россия
Год	2022
Платформа	Любая ОС на ПК
Системные требования	Минимальные системные требования: свободное место на диске (не менее 150 МБ), видеокарта с поддержкой 2D
HDD	150 МБ
ОЗУ	50МБ
Возрастное ограничение	0+

Редактор «Совви» – одна из технологий, способствующих развитию образовательной среды МБОУ «Гимназия №1». Приложение было включено в дополнительные образовательные программы на все уровни обучения, ориентированные на освоение обучающимися: компьютерных технологий, 3D моделирования, прототипирования. Ключевыми показателем в определении эффективности разработанного приложения является его универсальность и отсутствие возрастных ограничений, простота в освоении дает возможность использовать его на уроках математики, планиметрии, геометрии и других дисциплин.

В ходе внедрения и применения разработанного редактора в рамках курса «Дополнительная информатика» 1-11 классами проведен опрос среди обучающихся и преподавателей, с целью получения обратной связи от пользователей. В опросе приняли участие 152 респондента. В результате были получены не только высокие оценки, но и следующие предложения в части улучшения интерфейса программы:

- добавление персонализации, а именно – аккаунт пользователя и индивидуальные настройки;
- возможность пользователю добавлять собственный фон на холсте;
- создание новых фигур – прямоугольники, квадраты, ромбы;
- дополнение раздела со справочными материалами;
- приближение картинки, а также настройка размеров изображения.

Помимо дополнительных занятий приложение было протестировано в период перехода на дистанционное обучение - редактор использовали учителя алгебры, геометрии и начальных классов для демонстрации материала. По результатам обратной связи были внесены незначительные изменения в интерфейс приложения:

- увеличены иконки на панели меню;
- упрощен дизайн панели управления (сведен к минимализму).

В настоящее время разработка отечественного ПО для всех сфер жизни является приоритетом государства. Поэтому растровый графический редактор соответствует тенденциям в сфере информационных технологий. Релевантность предлагаемого решения заключается в соответствии технических характеристик запросам потребителя: интерфейс разработанного редактора удобен, прост, наглядно отображает возможности, адаптирован к мониторам с высокой плотностью пикселей, что позволяет освоить приложение пользователю любого возраста и уровня владения ПК [4]. Работа с обратной связью от пользователей, позволяет усовершенствовать и сделать интерфейс наполненным не только ключевыми функциями редактора, но и более востребованными у пользователей.

В перспективе, для выхода на рынок мобильной разработки и публикации в магазине приложений «Rustore», программа может быть оптимизирована под операционную систему Android. Впоследствии планируется внедрение «Совви» в

качестве основного приложения для освоения образовательных программ в курсе информатики в школах РФ, в соответствии с ФГОС.

Литература

1. Распоряжение об утверждении методических рекомендаций о реализации проекта «Билет в будущее» в рамках федерального проекта «Успех каждого ребенка» //Собрание законодательства РФ", 19.05.2008. N 20. ст. 2383. URL: https://ioe.hse.ru/data/2020/07/17/1597_041961/ФП%20Успех%20каждого%20ребенка.pdf. (дата обращения: 03.03.2023).
2. Учебный элемент по информатике «Редактирование изображений в растровом графическом редакторе» / Масленкова В.А., Горячева К.Г., Пешкова Д.А. [и др.]. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2016. № 30.1 (134.1). С. 9-13. URL: <https://moluch.ru/archive/134/38670/>(дата обращения: 26.01.2022).
3. Михалина А.Д. Технологии компьютерной графики и их практическая реализация / Михалина А.Д., Логвинова Т.С., Польшакова Н.В. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 2 (136). С. 58-61. URL:<https://moluch.ru/archive/136/38109/> (дата обращения: 19.01.2023).
4. Васильев А.В. Растровый редактор - инструмент и среда работы 2d художника / Васильев А.В. // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. 2021. № 4-2. С. 104-112. DOI 10.37485/1997-4663_2021_4_2_104_112. – EDN SMPAWA.
5. Растровые редакторы и их возможности / Гусев В.В., Гусев И.В., Шиганова М.В. [и др.] // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: Электронный сборник статей по материалам LIX студенческой международной научно-практической конференции. Том 11(58). Часть 2: Ассоциация научных сотрудников "Сибирская академическая книга". 2017. С. 27-29. EDN YPWHZD.

НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПРОТОКОЛОВ

Галай О.О.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н. Русак А.В.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: ogalay16@gmail.com

Аннотация

Рассматриваются различные решения задачи предварительной обработки текстовых данных, используемые для последующей реализации задачи классификации. На основе представленных решений формируется список методов, позволяющих выполнить качественную предварительную обработку. Формулируется подход к решению задачи предварительной обработки текстовых данных из медицинских протоколов.

Ключевые слова

предварительная обработка данных, лемматизация, токенизация, извлечение ключевых слов, удаление стоп-слов.

В настоящее время врачи за кратковременный прием пациента должны успеть произвести осмотр, заполнить медицинскую карту и поставить диагноз. Однако, некоторые процессы во время приема можно полностью или частично автоматизировать. Постановка диагноза является одним из них. Для нее требуется собрать анамнез пациента, провести осмотр, выявить симптомы на основании анамнеза и осмотра и, обобщив все симптомы, поставить диагноз. Первые два этапа не подлежат автоматизации, так как только врач может грамотно отличить признаки болезни от обычного состояния человека.

Следующий же этап обобщения признаков в симптомы можно произвести и без участия врача, так как для этого требуется сравнение данных из протокола медицинского осмотра и данных признаков из справочника симптомов, что можно выполнить с использованием машинного обучения. Задача сопоставления признаков из эпикризов с признаками из справочника симптомов является задачей обработки естественного языка, первым этапом которой является первичная обработка текстов. В случае медицинских протоколов этот этап усложняется не только специфичностью медицинской терминологии, но также наличием ошибок различного рода. Так как заполнение протокола производится врачом, который существенно ограничен в сроках, то присутствует вероятность того, что он произведёт ошибки. Они могут быть как синтаксическими, семантическими, грамматическими, так и лексическими. Данные факторы требуют более кропотливого подхода к первичной обработке данных. Методы, решающие эти проблемы будут рассмотрены в данной статье.

Для определения подхода к решению данной задачи производился анализ текущих решений первичной обработки текстовых данных в машинном обучении. Рассмотрено пять решений обработки текстовых данных. Три работы описывают обработку медицинских данных [1, 4, 5], две – обработку данных без определенной тематики [2, 3]. Данные были представлены либо на русском [1-3], либо на английском языках [3-5].

В статье [1] предлагается решение проблемы низкой информативности извлечения и структурирования знаний при помощи методов машинного обучения для разработки моделей комплексных процессов лечения пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями в задачах повышения качества ценностно-ориентированной медицины. Автор отмечает сложность обработки медицинских протоколов из-за их специфики, так как медицинские записи сложны синтаксически из-за большого количества синонимов и сложных терминов, а также могут иметь большое количество сокращений. Для решения

проблемы наличия сокращений автор предлагает заменять аббревиатуры, сокращения и полные названия болезней, симптомов и синдромов на полное название, написанное через нижнее подчеркивание, если оно состоит из нескольких слов. Так, например, «АИТ», «аутоим. тиреоидит» и «аутоиммунный тиреоидит» будут заменены на «аутоиммунный_тиреоидит». Написание названия заболевания с использованием нижнего подчеркивания обуславливается необходимостью нераздельности данных слов при дальнейшей токенизации и векторизации, так как при разделении слов на два различных токена могут последовать некорректные выводы. Одним из важных этапов предварительной обработки текста автор отмечает уменьшение размерности текстовых векторов посредством лемматизации. Для этого применялся метод Rymorphy2, приводящий слова к их начальной форме. Использование данного метода автор объясняет тем, что он разрабатывался специально для работы с русским языком, что выделяет его среди библиотек, имеющих данный функционал.

В статье [2] предлагается другое решение проблемы извлечения ключевых слов и многословных терминов, так как в медицинских протоколах постоянно присутствуют выражения, которые нельзя анализировать и обрабатывать по отдельности, например «УЗИ брюшной полости». Для подобных словосочетаний предлагается использовать лексико-синтаксические шаблоны, представляющие из себя набор существительных и прилагательных в разном порядке и зависимостях. Извлечение данных шаблонов предлагается выполнять с помощью алгоритма извлечения ключевых слов RAKE (Rapid Automatic Keyword Extraction). Данный алгоритм был разработан для применения в текстах на английском языке, поэтому для работы с русскими текстами он был адаптирован с алгоритмом ARTM.

В работе [3] для предобработки текстов были опробованы методы отбора исключительно существительных и отбор существительных, прилагательных и глаголов. Для русского языка лучшие результаты показал отбор исключительно существительных, но было отмечено, что для медицинских текстов этого было недостаточно, и усовершенствование результатов было достигнуто путем отбора существительных и прилагательных. И несмотря на то, что данный метод был использован в контексте выделения тематики текста, он может быть актуален в данном исследовании, поэтому его применимость будет рассмотрена в дальнейшем.

Целью исследования [4] является определение неврологических последствий у пациентов, перенесших коронавирус. Данная работа проводилась с использованием медицинских карт американских пациентов, соответственно, текстовые данные, которые использовались для обучения системы, предоставлялись на английском языке. Среди методов предобработки данных в исследовании были использованы токенизация, лемматизация, удаление стоп-слов, удаление персональной информации, удаление строк длиной в 1 символ, а также расшифровка аббревиатур.

В работе [5] используются следующие методы:

- 1) удаление нетекстовой части данных;
- 2) разделение текста на токены по словам;
- 3) удаление стоп-слов с использованием библиотеки NLTK;
- 4) стемминг;
- 5) перевод в нижний регистр;
- 6) извлечение ключевых слов посредством алгоритма TF-IWF.

Также подробно описывается использование алгоритма TF-IWF для векторизации токенов вместо привычного TF-IDF. Авторы объясняют свое решение тем, что модель TF-IDF слишком проста для работы с медицинскими данными, потому что извлеченные ключевые слова не могут эффективно отражать важность слов и распределение характерных слов. Помимо этого, не может быть хорошо выполнена регулировка весов и в родственных текстах ключевые слова могут быть замаскированы.

На основании вышеизложенного анализа были выделены методы предварительной обработки текстовых данных, которые будут использоваться в последующем исследовании:

- 1) нормализация;
- 2) коррекция ошибок;
- 3) удаление стоп-слов;
- 4) стемминг или лемматизация;
- 5) выделение названий болезней;
- 6) выделение ключевых слов;
- 7) токенизация;
- 8) векторизация.

Соответственно, можно сформулировать подход к решению задачи. Он будет состоять в поочередном анализе использования различных методов предобработки данных и их влияния на конечный результат. Для оценки качества используемых методов будут взяты три характеристики: время обработки одного эпикриза, точность исправления ошибок и точность обучения модели, которой в качестве входных данных будут поставляться уже предварительно обработанные эпикризы.

Метрика точности исправления ошибок будет использована только для сравнения библиотек исправления ошибок, которые были перечислены ранее. Для её оценки будут использоваться эталонные исправленные эпикризы. В сравнении с ними будет вычисляться количество слов, в которых остались ошибки, и отношение числа слов без ошибок к общему числу слов в эпикризе и будет являться вычисленной метрикой.

В качестве модели, точность которой будет являться последней метрикой, будет использоваться модель классификации. Её входными данными будут данные, полученные в результате выполненной предобработки, а задачей модели будет сопоставление текстов эпикризов и симптомов из справочника симптомов. Подобную задачу могут выполнять различные модели. Наиболее актуальными на данный момент являются модель трансформеров, в том числе BERT, помимо этого широко используются модели natasha и FastText. Выбор конкретной модели будет произведен далее в процессе реализации, так как невозможно предсказать, какая из них даст наиболее точный результат.

На основе анализа был сформулирован подход к решению задачи, который состоит в поочередном анализе использования различных методов предобработки данных и их влияния на конечный результат. Для оценки качества используемых методов будут взяты три характеристики: время обработки одного эпикриза, так как стоит задача сокращения времени получения достоверных данных из них; точность исправления ошибок и точность обучения модели, которой в качестве входных данных будут поставляться уже предварительно обработанные эпикризы.

Литература

1. Мецкер О.Г. Методы приобретения и формализации эмпирических знаний по данным медицинских информационных систем в задачах повышения качества лечения кардиологических пациентов: диссерт. канд. техн. наук. СПб. 2018. 135 с.
2. Батура Т.В., Бакиева А.М. Методы и системы автоматического реферирования текстов Новосибирск: ИПЦ НГУ. 2019. 110 с.
3. Добренко Н.В. Методы и алгоритмы интеллектуализации проектирования технических систем посредством тематической сегментации текстов: диссерт. канд. техн. наук. СПб. 2018. 130 с.
4. Fernandes M., Valizadeh N., Alabsi H., Quadri S., Tesh R., Bucklin A., Sun H., Jain A., Brenner L. Classification of neurologic outcomes from medical notes using natural language processing // Expert Systems With Applications. 2023. № 214. С. 1–10.
5. Li D., Ma H., Li W. KTI-RNN: Recognition of Heart Failure from Clinical Notes // Expert Systems With Applications. 2023. №28. С. 117–130.

ОЦЕНИВАНИЕ ВИДЕОРЕЗЮМЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ефремов А.И.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н. Русак А.В.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: efremov_andrey@niuitmo.ru

Аннотация

В работе рассмотрен метод оценивания видеорезюме для автоматизации предварительного отбора кандидатов на собеседование. Предлагается определять по аудио и видео информации личностные качества говорящего, описанные в модели личности «Большая пятёрка». Затем по выделенным качествам принимается решение о том, стоит ли пригласить кандидата на собеседование. В ходе реализации проекта определены модель нейронной сети для выявления личностных качеств и оптимальный регрессор для принятия решения о приглашении на собеседование.

Ключевые слова

Глубокое обучение, пятифакторная модель личности, оценка личностных качеств, CNN-LSTM, анализ видеорезюме.

На сегодняшний день работа специалистов в области управления персоналом становится все более сложной и перегруженной. Так как одной из главных задач HR-специалиста является проведение собеседований и зачастую комплектация штата, компании начали искать пути автоматизации некоторых функций HR-менеджеров для уменьшения объема работы персонала. В связи с этим возникло множество идей, таких как внедрение искусственного интеллекта в управление персоналом, а также новая и более удобная форма резюме – видеорезюме.

Существует несколько решений по оптимизации процесса отбора кандидатов:

1. Работа «Employee selection via multiple neural networks», где предлагается оценивать кандидатов по ряду параметров (предыдущее место работы, причина ухода и т. п.) [1].

2. Сервис оценки видеорезюме «Gecko», определяющий такие характеристики, как эмоции, настроение, уверенность и релевантность по отношению к вакансии [2].

3. Сервис «Resume Worded», оценивающий письменные видеорезюме по таким параметрам, как краткость, убедительность, умение [3].

Ни одно из решений не позволяет автоматизировать процесс отбора достаточным образом, т.е. получать на вход видео, выдавать на выход коэффициент, соответствующий степени уверенности – стоит ли приглашать кандидата на собеседование (далее – коэффициент уверенности). Как следствие, актуальной становится задача создания алгоритма, использующего методы машинного обучения для обработки и анализа видеорезюме и отбора подходящих кандидатов.

Метод, предлагаемый в качестве решения, предполагает определение по видеорезюме пяти личностных качеств из модели «Большая пятёрка» [4], а именно:

- открытость;
- добросовестность;
- экстраверсия;
- доброжелательность;
- открытость опыту.

По мнению многих экспертов данная модель достаточным образом описывает личностные качества индивида, чтобы предсказывать его поведение, поэтому может быть использована в кадровом отборе.

На основе выделенных качеств определяется коэффициент уверенности.

Данные, необходимые для разработки данного метода, были взяты из датасета First Impressions V2 [5], для программирования использовался язык Python. Рассмотрим подробнее модель решения, схема которой представлена на рисунке 1.

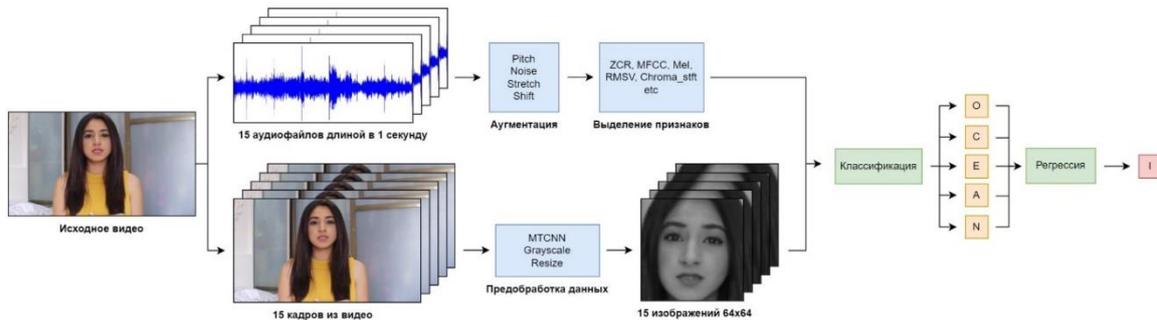


Рис. 1. Модель решения

Из исходного видео выделяется фрагмент длиной в 15 секунд, из которого извлекаются 15 кадров и 15 непересекающихся аудиофайлов, длиной в 1 секунду каждый. Затем эти данные проходят предобработку. К аудиоданным применяются следующие методы аугментации:

- зашумление (noising);
- изменение высоты тона (pitch-shifting);
- растягивание (stretching).

Затем выделяется 128 признаков, среди которых:

- zero-crossing rate (скорость перехода через нуль);
- chroma-stft (хромаграмма);
- mel-frequency cepstral coefficients (мел-частотные кепстральные коэффициенты);
- root mean square (среднее квадратичное сигнала);
- mel-spectrogram (мел-спектрограмма) и т.д.

Аугментация и выделение признаков осуществлялось с помощью библиотеки librosa.

Что касается изображений, сначала на каждом из них выделяется лицо с помощью Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN), затем полученное изображение переводится в оттенки серого и его размер уменьшается до 64x64 пикселя.

Полученные после предобработки данные передаются в модель классификатора, схематично изображенную на рисунке 2.

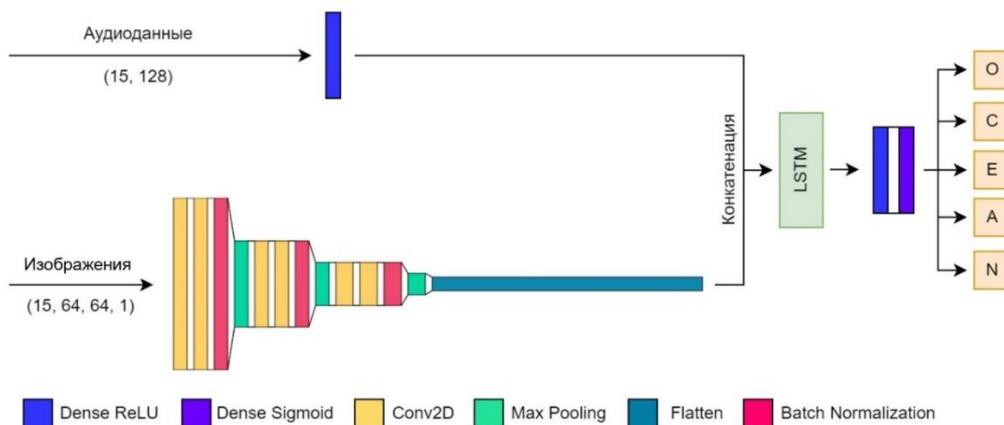


Рис. 2. Классификатор

Для решения задачи определения личностных качеств используется модель CNN-LSTM. Аудиоданные и изображения поступают на два разных входа. Аудиоданные обрабатываются как последовательность, проходя через один полносвязный TimeDistributed слой с функцией активации ReLU. Изображения также обрабатываются как последовательность, проходя через TimeDistributed слои сверточной нейронной сети.

Затем данные объединяются и поступают в сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM). После чего, пройдя через один полносвязный слой с функцией активации ReLU, данные поступают на выходной слой с функцией активации Sigmoid, где и происходит классификация.

Моделирование и обучение осуществлялись с помощью библиотеки tensorflow.

По результатам тестирования модели были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты работы классификатора на тестовой выборке

	Открытость	Добросовестность	Экстраверсия	Доброжелательность	Нейротизм
Accuracy	0.8868	0.8888	0.8852	0.8827	0.8840
Precision	0.8867	0.8773	0.8717	0.8891	0.8781
Recall	0.8870	0.8996	0.8948	0.8798	0.8864

После выявления личностных качеств решается задача регрессии – определение коэффициента уверенности. Принято решение использовать методы машинного обучения для решения задачи регрессии. Для того, чтобы определить, какой метод справится лучше всего, был произведен подбор гиперпараметров с помощью решетчатого поиска. Результаты решетчатого поиска представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты решетчатого поиска

Метод	R ²	MAE	RMSE
SGDRegressor	0.911722	0.034347	0.043119
ElasticNet	0.911669	0.034354	0.043131
BayesianRidge	0.911669	0.034354	0.043132
LinearRegression	0.911668	0.034354	0.043132
CatBoostRegressor	0.91038	0.034525	0.043445
GradientBoostingRegressor	0.908499	0.035043	0.043899
LGBMRegressor	0.90477	0.03547	0.044784
SVR	0.902832	0.035851	0.045238
KernelRidge	0.900428	0.036574	0.045794
XGBRegressor	0.891908	0.037868	0.047713

Методом, показавшим лучшие результаты, оказался алгоритм SGDRegressor, реализующий стохастический градиентный спуск для решения задач регрессии.

Подобранные гиперпараметры:

- alpha = 0.000001;
- eta0 = 0.01;
- learning rate = adaptive;
- loss = squared error;
- penalty = elasticnet.

Выбор метода регрессии и настройка гиперпараметров осуществлялись с помощью библиотеки scikit-learn.

Таким образом, по итогам работы был разработан метод оценивания видеорезюме, включающий в себя модели классификатора на основе CNN-LSTM и регрессора со стохастическим градиентным спуском. Полученные результаты являются удовлетворительными, однако есть возможность улучшить показатели обеих моделей путем более тщательного подбора гиперпараметров, выбора более успешной архитектуры сети и использования дополнительных методов предобработки данных. Также среди перспектив развития стоит выделить добавление модуля распознавания речи и методов обработки естественного языка (NLP), так как NLP широко применяется для решения задач, связанных с определением личностных качеств, а потому позволит еще больше улучшить точность классификации.

Литература

1. Employee selection via multiple neural networks / David J. Scarborough Bjorn Chambless, Anne Thissen-Roe; пат. US7472097B1; заявл. 20.03.2006; опубл. 30.12.2008.
2. Gecko [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gecko.ai/index.php> (дата обращения: 10.01.2023).
3. Resume Worded [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://resumeworded.com/score> (дата обращения: 10.01.2023).
4. Goldberg L.R. The development of markers for the Big-Five factor structure. Psychological Assessment. 1992. 4. P. 26–42.
5. First Impressions V2 (CVPR'17) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://chalearnlap.cvc.uab.cat/dataset/24/description> (дата обращения: 22.12.2022).

ОБЗОР МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СИМПТОМОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ПАЦИЕНТОВ

Курдюмов Д.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., преподаватель Русак А.В.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: d-kurd@yandex.ru

Аннотация

В работе рассмотрен актуальный опыт использования различных методов определения симптомов по текстам эпикризов пациентов. Определена архитектура модели на базе трансформеров с иерархической структурой и механизмом внимания для объяснимого определения симптомов. Проиллюстрирован механизм обучения и реализации такой модели. Проведено сравнение с традиционными для данной сферы моделями и зоны роста при реализации модели для выполнения собственного исследования.

Ключевые слова

Трансформер, обработка естественного языка, механизм внимания, международная классификация болезней, нейросетевые модели.

Использование установленного перечня симптомов для разметки эпикризов пациентов широко используется для сбора статистики по заболеваниям, медицинских исследований, расчета оплаты сотрудников и для работы систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Одним из примеров таких реестров, широко используемых в США, является ICD-9-CM. Но в настоящее время такая разметка зачастую осуществляется вручную при помощи специально обученных специалистов. Описанный подход очень времязатратный, не может быть в должной мере обеспечен достаточным количеством рабочей силы и неустойчив к ошибкам ввиду человеческого фактора. Основным решением перечисленных проблем является использование нейросетевых моделей. В ранних исследованиях для решения этой задачи использовались свёрточные (CNN) и рекуррентные (RNN) нейронные сети. Для повышения точности классификации совместно с архитектурами CNN и RNN было предложено использовать механизм внимания [1, 2]. В приведённых исследованиях удалось достичь повышения точности определения симптомов по сравнению с моделями, не использующими механизм внимания, однако такие модели обладали слабой способностью к обобщению полученных знаний при использовании данных других датасетов. Некоторые исследователи добились более серьезных успехов путем применения как самостоятельно обученных больших языковых моделей на базе трансформеров, так и предобученных – Med-BERT и Clinical XLNet [3, 4]. Однако указанные методы нуждаются в увеличении точности классификации и в предоставлении понятного для человека объяснения работы модели, так как это является сдерживающим фактором их широкого применения в реальной врачебной практике. Анализ научных источников по теме исследования позволил выделить три актуальных подхода к определению кодов заболеваний: CNN или RNN архитектура совместно с механизмом внимания, использование модели на базе трансформеров и применение гибридных моделей, сочетающих первые два типа. На основе сравнения эффективности указанных моделей на одинаковом наборе данных, MIMIC-III, наиболее перспективной архитектурой для решения задачи определения симптомов является иерархическая модель трансформеров с механизмом внимания, использующая XLNet в качестве модели трансформера [5]. Такая гибридная модель учитывает лучшие практики по теме исследования: использование современных больших языковых моделей для извлечения

расширенных контекстных признаков слов и внедрение слоев с механизмом внимания, обеспечивающим выделение наиболее важных признаков для работы модели.

Автоматическое определение симптомов является задачей «многометочной» классификации или классификации с несколькими выводами. Предлагаемая архитектура настроена на обработку до 10 частей эпикриза при максимальной длине каждой в 510 токенов и представляет собой четыре слоя:

- предобученная языковая модель на базе трансформеров для создания скрытого представления токенов каждой части эпикриза;
- слой с механизмом внимания для токенов внутри части эпикриза, который генерирует отдельное представление на каждый из имеющихся симптомов;
- третий слой получает на вход представление каждой части документа для конкретного симптома и строит по ним отображение данного эпикриза в разрезе каждого из симптомов при помощи механизма внимания;
- четвертый слой является нейронной сетью прямого распространения (FFNN), задачей которой является по представлению текста эпикриза для каждого из симптомов определить принадлежность данного симптома к исходным данным.

На рисунке представлена описанная в тексте архитектура решения на базе гибридной модели.

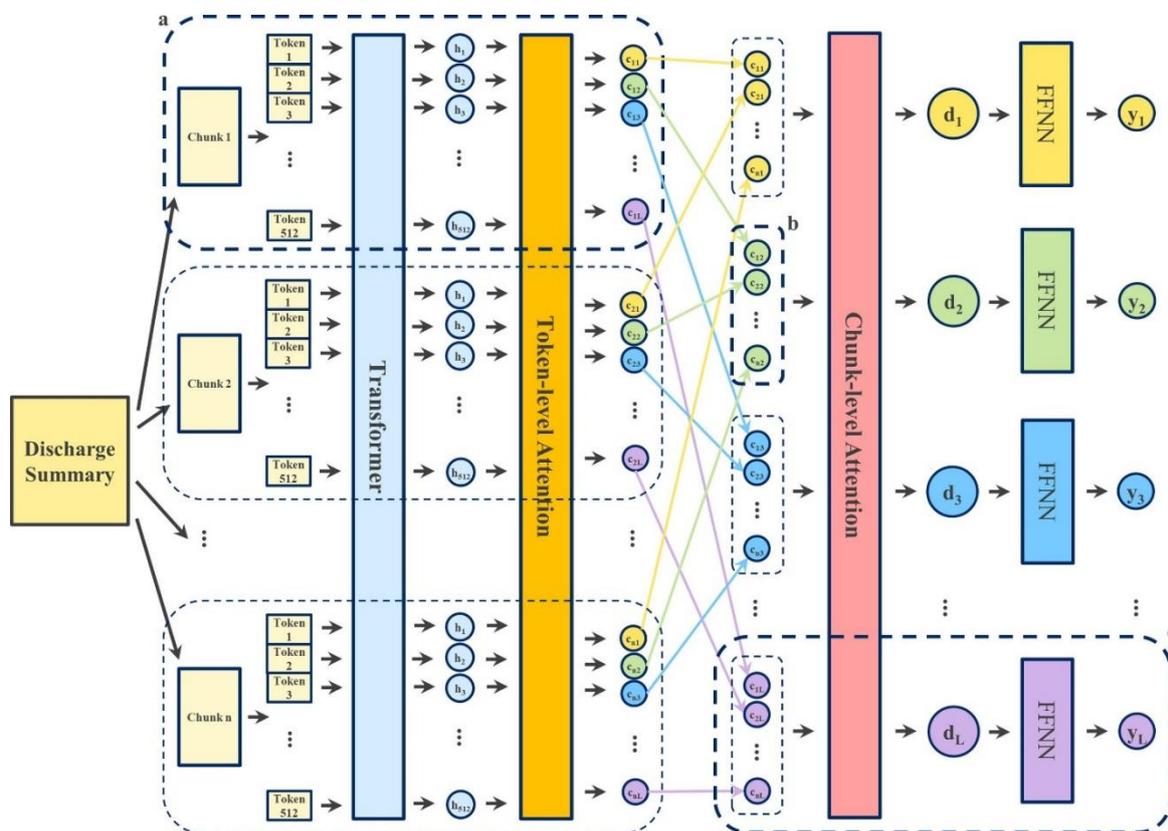


Рисунок. Схема иерархической модели трансформеров с механизмом внимания

Использовались данные эпикризов из датасета MIMIC-III, которые были предобработаны специальным образом перед обучением иерархической модели:

- приведение длин текста к 5100 токенам;
- перенос заключения врача в начало эпикриза;
- добавление токенов начала и конца предложения;
- перевод в нижний регистр.

Обучение такой модели производится в два этапа: первый этап включает в себя дообучение первого слоя иерархической модели – слоя с архитектурой трансформера на исходных данных, тогда как второй этап включает в себя непосредственно обучение иерархической модели: двух слоёв с механизмом внимания и линейных классификаторов на основе эмбедингов, получаемых из первого слоя и специально преобразуемых для дальнейшего использования в модели.

Подводя итог всем вышеперечисленным подходам, алгоритмам и методам по определению симптомов заболеваний самой результативной и многообещающей моделью является структура, использующая большие предобученные языковые модели для получения эмбедингов слов в документе на основе усвоенной организации языка во время обучения трансформера, и затем использующая эти данные для обучения нескольких слоев с механизмом внимания, которые позволяют учитывать сложные связи. Полученные представления документов можно использовать для обучения линейных классификаторов на каждый из типов кода заболевания. Обучению и реализации такой иерархической модели будет посвящена следующая часть исследования.

Конечно, следует учесть, что выделенные методики хорошо показали себя для применения на английском языке. При использовании русского языка необходимо будет пересмотреть несколько ключевых моментов, касающихся предобработки датасетов, типа архитектуры слоя трансформера в такой модели, так как для русского языка может не существовать достаточно производительной версии XLNet.

Проведенный анализ позволил выявить наиболее эффективное решение задачи определения кодов заболеваний, но основным преимуществом в сравнении с другими алгоритмами является то, что представленная модель позволяет выделять с точностью до слова части эпикриза, на основе которых был назначен тот или иной код симптома из-за применения слоев с механизмом внимания. Данная функция помогает лучше понять правила, по которым функционирует модель и соответственно повысить уровень доверия к ней при применении в повседневной врачебной практике и снять барьеры по ее внедрению.

Литература

1. Mullenbach James Explainable Prediction of Medical Codes from Clinical Text [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1802.05695.pdf> (дата обращения: 23.01.2023).
2. Donga Hang, Suárez-Paniagu Víctor, Whiteley William, Wu Honghan Explainable automated coding of clinical notes using hierarchical label-wise attention networks and label embedding initialisation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2010.15728v4.pdf> (дата обращения: 24.01.2023).
3. Laila Rasmy, Yang Xiang, Ziqian Xie, Cui Tao, Degui Zhi Med-BERT: pre-trained contextualized embeddings on large-scale structured electronic health records for disease prediction [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2005.12833> (дата обращения: 22.02.2023).
4. Kexin Huang, Abhishek Singh, Sitong Chen, Edward T. Moseley, Chih-Ying Deng, Naomi George, Charlotta Lindvall Clinical XLNet: Modeling Sequential Clinical Notes and Predicting Prolonged Mechanical Ventilation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1912.11975.pdf> (дата обращения: 22.02.2023).
5. Leibo Liu, Oscar Perez-Concha, Anthony Nguyen, Vicki Bennett, Louisa Jorm, Hierarchical label-wise attention transformer model for explainable ICD coding [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2022.104161> (дата обращения: 25.02.2023).

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ КОЖНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПО ФОТОГРАФИЯМ

Петрова А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., преподаватель Русак А.В.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: apetrova.01@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается возможность использования нейронной сети в сфере онкологии в качестве системы поддержки принятия решения. Предложена нейросетевая модель для классификации кожных новообразований по фотографиям. Точность обученной модели на тестовых данных составила около 80%. Результаты работы могут иметь большое значение для разработки автоматизированных инструментов, которые могут помочь людям в самодиагностике рака кожи.

Ключевые слова

Нейронная сеть, система поддержки принятия решения, кожное новообразование, медицинская диагностика, классификация изображений.

Согласно исследованиям, заболеваемость раком кожи в России растет: на рак кожи приходится около 14% из всех известных видов рака [1], что является наибольшим показателем по сравнению с другими возможными онкологическими заболеваниями, и, несмотря на то, что – это визуально локализованная опухоль, уровень пренебрежения заболеванием остается высоким. По статистике смертность от рака кожи при ранней диагностике составляет 15%, а при выявлении на 4 стадии уже 90%, [2] что подтверждает необходимость диагностики на ранних стадиях для снижения смертности.

Для решения этой проблемы разработка инструментов, помогающих в ранней диагностике, становится все более актуальной. Однако из-за разнообразия различных паттернов, наблюдаемых при новообразованиях кожи, даже при одном типе заболевания постановка однозначного диагноза может быть сложной задачей. В таких ситуациях для решения проблемы могут быть использованы системы поддержки принятия медицинских решений, основанные на анализе изображений и базе данных с экспертными оценками, в разработке которых используются нейронные сети.

Искусственные нейронные сети применяются в медицине для помощи в постановке диагнозов, решения задач, связанных с выявлением и определением заболевания, а также прогнозирования развития заболевания. Нейронные сети помогают снизить количество неверно поставленных диагнозов и помогают оптимизировать работу медицинского персонала. Однако для диагностики большинства болезней, так и не обучены модели машинного обучения. Поэтому была поставлена задача разработать нейронную сеть, которая помогла бы в классификации кожных новообразований.

Одним из аналогов, разрабатываемой системы, является нейронная сеть для классификации кожных заболеваний. Она распознает широкий спектр дерматологических заболеваний: дерматиты, акне, экземы, новообразования и другие. Однако из-за большого количества распознаваемых заболеваний, вероятность правильной классификации новообразований низкая. Другим решением описанной проблемы может являться нейронная сеть для распознавания меланомы, но к злокачественным образованиям кожи относятся и другие виды, например карцинома, которую тоже необходимо распознавать для ранней диагностики. Также существует нейронная сеть для классификации новообразований, однако она показывает только

является ли доброкачественным или злокачественным то или иное новообразование, что является недостаточным для постановки точного диагноза.

Для решения данной задачи первым шагом был выбран датасет, в котором представлены 10 тыс. фотографий, относящиеся к 7 различным новообразованиям:

- актинические кератозы и внутриэпителиальная карцинома;
- базально-клеточная карцинома;
- доброкачественные образования, похожие на кератоз;
- дерматофиброма;
- меланоцитарные невусы;
- меланома;
- сосудистые поражения.

Из представленных видов новообразований 3 относятся к злокачественным (актинические кератозы и внутриэпителиальная карцинома, базально-клеточная карцинома и меланома), а 4 - к доброкачественным (доброкачественные образования, похожие на кератоз, дерматофиброма, меланоцитарные невусы, сосудистые поражения).

Для данного датасета была произведена балансировка на Python [3, 4]. Были использованы методы *upper-sampling* для маленьких классов (масштабирование, отзеркаливание, поворот по горизонтали и вертикали, насыщение цвета) и *under-sampling* для больших классов, после чего получился датасет размером 7 тысяч изображений. Далее для датасета была проведена аугментация данных для расширения датасета.

Для обучения модели было решено использовать предобученную нейронную сеть VGG16, так как данная нейронная сеть требует меньше вычислительных ресурсов, при этом обладает высокой точностью в задачах классификации изображений. VGG16 – тип сверточной нейронной сети, содержащая 16 слоев, из которой 13 сверточных слоев и 3 полносвязных. Архитектура данной сети представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Архитектура сети VGG16

Для обучения были выставлены следующие параметры: оптимизатор: adam, количество эпох: 100, batch-size: 128. Полученные результаты представлены на рисунке 2 и 3. Были использованы библиотеки Keras [4] и Tensorflow [5].

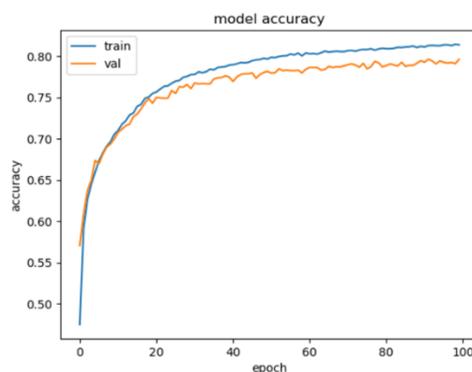


Рис. 2. График функции точности

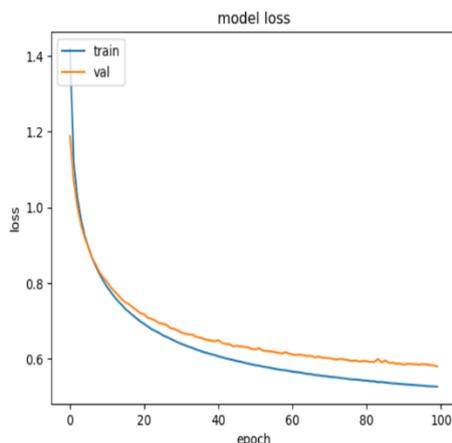


Рис. 3. График функции потерь

Точность на тестовых данных составила около 80%, что является хорошим показателем для обученной модели.

Выводы

Разработанная нейронная сеть определяет 7 типов злокачественных и доброкачественных новообразований, что может помочь улучшить раннее выявление и диагностику рака кожи, а также снизить смертность от рака кожи, что имеет решающее значение для успешного лечения, а также может помочь снизить рабочую нагрузку медицинских работников за счет автоматизации первоначальной оценки новообразований кожи. Разработка данной нейронной сети также может оказать положительное влияние на систему здравоохранения в целом за счет снижения затрат, связанных с ненужными назначениями и биопсиями. Проведение дальнейших исследований связано с увеличением точности модели.

Литература

1. Статистика онкологических заболеваний в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spb.medsu.ru/articles/statistika-onkologicheskikh-zabolevaniy/> (дата обращения: 05.03.2023).
2. Рак кожи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://oncology-spb.ru/zabolevaniya/kozha-i-myagkie-tkani/rak-kozhi> (дата обращения: 15.03.2023).
3. Python Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.python.org/doc/> (дата обращения: 17.03.2023).
4. Keras Documentation. keras.io. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://keras.io/applications/> (дата обращения: 10.03.2023).
5. Tensorflow Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/all_symbols (дата обращения 17.03.2023).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОМОЩИ ЖЕСТОВ КИСТИ РУКИ

Сизов М.С.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: mssizov@gmail.com

Аннотация

В данной работе рассматривается разработка модуля идентификации пользователей электронных систем, который использует жесты рук, считываемые камерой, в качестве пароля к системе. В работе рассмотрены внутреннее устройство разработанного модуля, используемые технологии, а также достоинства и недостатки подобного метода авторизации в сравнении с существующими аналогами.

Ключевые слова

Распознавание жестов, компьютерное зрение, идентификация, распознавание образов, сравнение траекторий, OpenCV, MediaPipe.

В современном мире в связи с возрастающей ценностью информации и электронных ресурсов немаловажной задачей является их защита. Чаще всего доступ к данным охраняется символьным паролем или биометрической идентификацией. Однако, эти способы обладают некоторыми недостатками [1]. В частности, символьные пароли просты для воспроизведения злоумышленниками, кроме того, пользователи зачастую выбирают осмысленные пароли, что делает их взлом намного проще, а оборудование для считывания биометрических данных в большинстве своём довольно дорогое. Новым вариантом идентификации, способным исправить описанные недостатки, является использование в качестве пароля последовательности жестов рук, считываемых камерой. В данной работе был разработан модуль идентификации, основанный на данном подходе.

Модуль идентификации – это программное обеспечение, которое получает сигнал с камеры, с помощью нейронной сети распознаёт на изображении кисть руки и положение пальцев, сравнивает их движение с заранее записанным шаблоном (паролем), после чего выдаёт результат – допуск или отказ. Эта система имеет ряд преимуществ перед описанными выше стандартными методами аутентификации:

1. Трудная воспроизводимость – зная символьный пароль, злоумышленник может без труда ввести его на клавиатуре или ином устройстве, однако увидев показываемый жест, он может легко упустить важные и не уловимые движения. Кроме того, некоторые движения пальцев простые для одних людей являются невероятно трудными для выполнения другими.

2. Дорогое оборудование – для биометрической идентификации требуются считыватели отпечатков пальцев, высококачественные камеры для распознавания радужной оболочки глаза и прочее дорогостоящее оборудование для остальных биометрических показателей. Для распознавания ладони же требуется камера с минимальными требованиями по качеству, которую можно найти во множестве современных портативных устройств, например, в смартфонах и ноутбуках.

3. Меньшая осмысленность жестов – пользователи зачастую выбирают символьные пароли на основе лёгких для запоминания вещей: даты рождения, имена близких и пр., которые легко могут быть подобраны злоумышленниками. Последовательности жестов в свою очередь редко складываются в знакомые паттерны и, хоть это и может усложнить процесс запоминания, процесс взлома также станет значительно затруднительнее.

4. Гигиеничность – для ввода символьного пароля на клавиатуре или для

сканирования отпечатка пальца требуется касаться устройства, которое часто может находиться в общественном пользовании. Подобные касания способствуют распространению инфекций и вирусов, что крайне нежелательно в современной эпидемиологической обстановке. Однако, для того чтобы показать камере жест, не требуется прикасаться к каким-либо устройствам, что более предпочтительно в общественных местах.

Впрочем, авторизация жестами имеет и некоторые недостатки:

1. Сложность запоминания – как было сказано ранее, запоминать последовательности символов проще, чем жестов руками, поэтому подобные пароли могут вызывать затруднения для пользователя при вводе, особенно если будут достаточно длинными, но тем не менее при некотором числе повторений пароль будет запоминаться мышечной памятью, что упростит его ввод.

2. Видимость пароля – если около устройства ввода находятся люди в то время, как пользователь показывает жест камере, то им составит меньше труда увидеть пароль, чем при вводе символьного пароля на клавиатуре. Однако, как говорилось ранее, даже увидев пароль, злоумышленник может и не быть способен повторить его, кроме того, при достаточно быстром движении пальцев, жест может стать почти неуловимым для посторонних глаз.

Для разработки программного обеспечения распознавания жестов и их последующего сравнения требовалось разработать ряд подсистем, выполняющих следующие задачи:

- получение изображения с камеры устройства;
- выделение скелетной модели ладони;
- распознавание показываемого жеста;
- сравнение жеста с предзаписанным паролем;
- предоставление доступа или отказ в нём.

Модуль имеет два варианта работы: запись пароля и авторизация пользователя по предзаписанному паролю. Сообщение между вариантами работы обеспечивается через специальный файл пароля, который хранит информацию о показанном жесте в зашифрованном виде. Общая схема работы данных вариантов представлена на рисунке 1 и 2 соответственно. Далее подробно рассматриваются этапы разработки и итоговая реализация каждой из подсистем, решающих поставленные выше задачи.

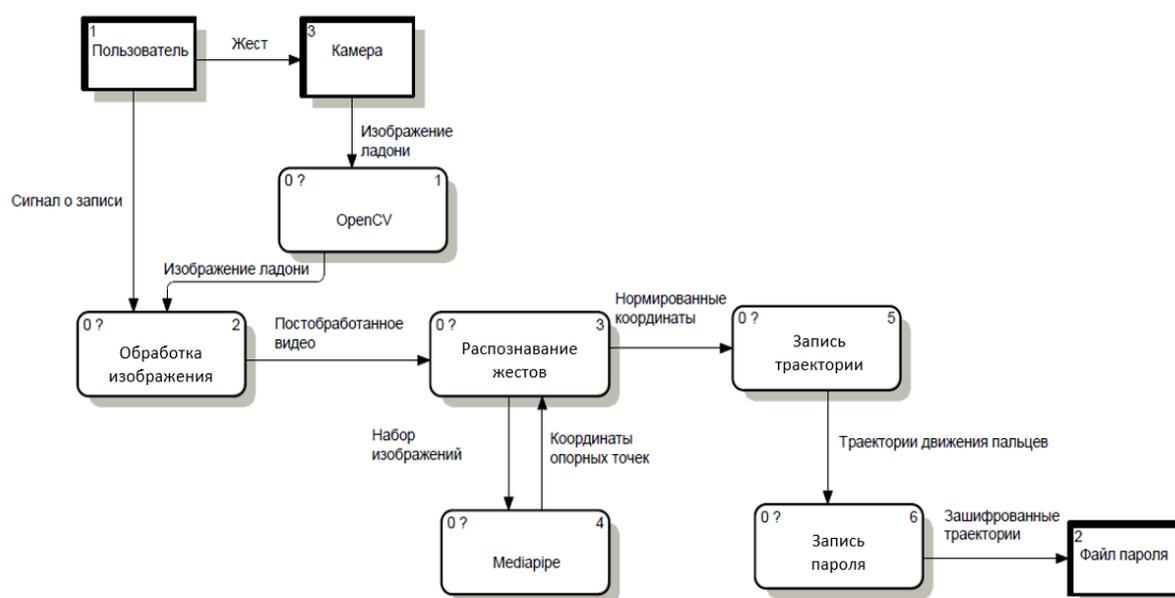


Рис. 1. Схема записи пароля

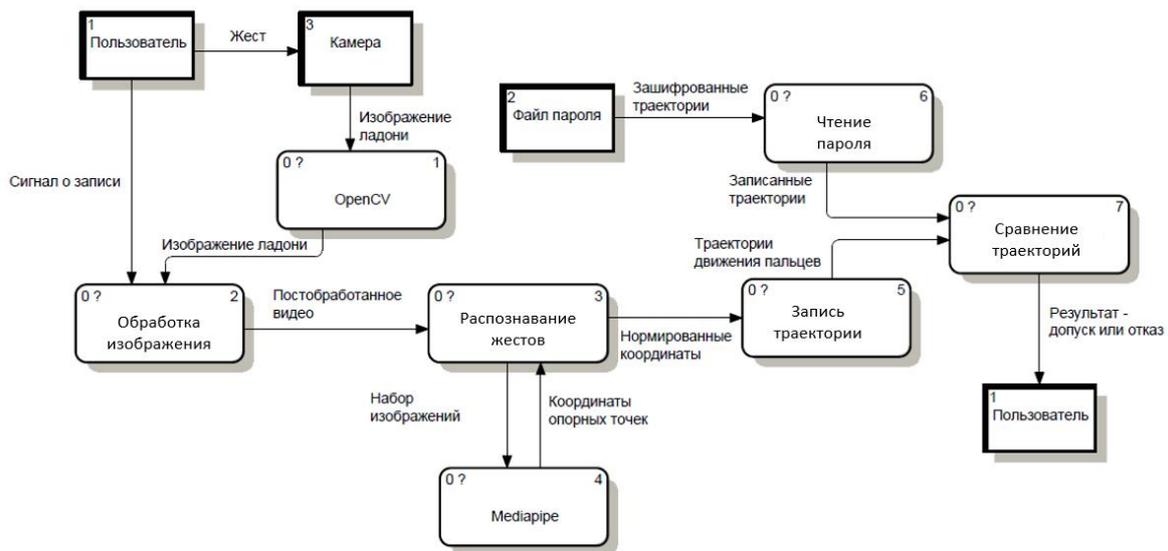


Рис. 2. Схема авторизации пользователя

Языком программирования модуля был выбран Python 3, поэтому для выполнения поставленных задач использовались библиотеки этого языка программирования. Так, для выполнения первой задачи была выбрана библиотека OpenCV [2] – библиотека компьютерного зрения, имеющая реализацию для Python. Помимо простой передачи изображения библиотека помогает делать его предобработку, чтобы повысить точность распознавания в последующих этапах работы программы.

Следующей задачей в разработке модуля идентификации являлся выбор метода распознавания жеста человека. Одним из основных методов является метод построения скелетной модели с помощью нейросети [3] – на вход нейросети подаётся изображение ладони, а на выходе получают опорные точки ладони – некоторые фиксированные места ладони, например суставы, по координатам которых можно определить показываемый жест. В данной работе для нахождения этих точек использовалась библиотека Mediapipe [4], которая позволяет найти 21 опорную точку: 1 точку у основания ладони и по 4 точки в суставах каждого из пальцев (рис. 3).

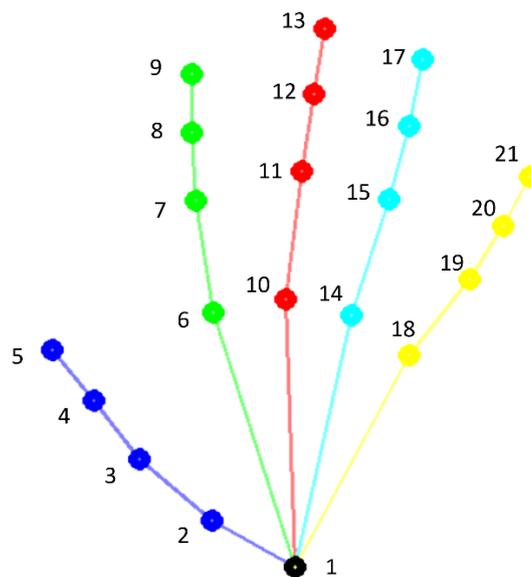


Рис. 3. Опорные точки ладони

При этом, так как во время записи и ввода пароля кисть человека может быть повернута к камере под различными углами или находиться на разном расстоянии от неё, то после выделения координат требуется выполнить ряд поворотов вокруг координатных осей и масштабирование ладони для того, чтобы на последующих этапах мы могли унифицировать вычисления относительно начала координат. Для этих преобразований требовалось выбрать, относительно каких точек мы будем вращаться и масштабировать. Были выбраны следующие условия (номера точек отмечены на рисунке 1):

- точка 1 должна находиться в начале координат;
- точки 1, 10 и 18 должны находиться в плоскости перпендикулярной направлению камеры (плоскость XY);
- точки 1 и 10 должны располагаться строго вертикально (находится одна над другой на оси Y);
- расстояние между точками 1 и 10 должно равняться 100 условным единицам, а все остальные расстояния меняются в зависимости от этого расстояния.

Тем не менее простого знания координат недостаточно для определения жеста – требуется динамическое отслеживание перемещения точек. В ходе разработки модуля рассматривались два возможных варианта. Первый – использование конечного алфавита жестов: кулак, открытая ладонь, вытянутый указательный палец и прочее [5]. В таком случае во время записи и ввода пароля отслеживается дискретная последовательность жестов, и если их порядок совпадает, то предоставляется доступ. Однако, из-за конечности алфавита, подобные жесты было бы легко воспроизводить и перебирать возможные комбинации. По этой причине был выбран второй вариант сравнения жестов – сравнение траекторий движения опорных точек. В таком случае жест представляется в виде набора непрерывных линий, что значительно повышает сложность подбора пароля.

Наконец, основная подсистема модуля – сравнение двух жестов. Для этого требовалось разработать функционал сравнения двух отдельно взятых траекторий, которое происходит в следующими этапами:

- 1) вычисление угла поворота в каждой точке считываемой траектории и траектории-пароля;
- 2) вычисление разницы углов на участках обеих траекторий, которые находятся на равном удалении от начала траектории;
- 3) расчёт среднего взвешенного всех разниц, где вес пропорционален длине участка, участвовавшего в подсчёте разницы;
- 4) нормирование результата в интервал [1].

Однако данный вариант сравнивает лишь траектории равной длины, в то время как, несмотря на масштабирование на предыдущих этапах, даже одинаковые жесты могут немного различаться по длине записываемой траектории из-за разной амплитуды или неудачного поворота ладони. По этой причине сравниваются не только траектории равной длины, но и те, что на 10 % короче или длиннее друг друга, после чего выбирается траектория с максимальным коэффициентом схожести.

Таким образом, имеется способ сравнить траектории и выяснить схожесть движения отдельной опорной точки в записанном и введённом пароле, однако для распознавания всего жеста требуется получить некоторое единственное значение. Было решено снова использовать среднее взвешенное всех точек. При этом точки имеют тем больший вес, чем ближе к кончикам пальцев находятся, так как они принимают большее участие в жесте. Так, например, из-за геометрических преобразований точка в основании ладони всегда находится в начале координат, то её траектории всегда одинаковы и её вес следует сделать нулевым. Выбранный в ходе экспериментов вес точек представлен на рисунке 4.

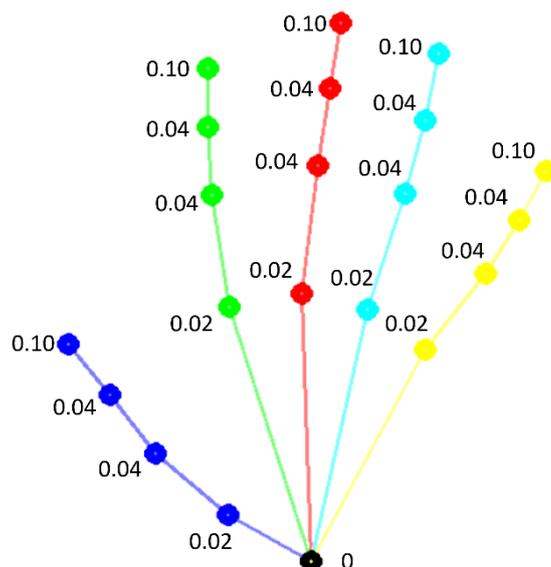


Рис. 4. Веса точек ладони

После взятия среднего взвешенного имеется результат из интервала [1]. Для получения бинарного результата *допуск* или *отказ*, выполняется пороговое отсечение с фиксированным порогом. Изменения данного порога влияют на использовавшиеся метрики точности FAR (вероятность ложного допуска) и FRR (вероятность ложного отказа), увеличивая одну и уменьшая другую. При установленном пороге 0,85 был достигнут результат FAR = 3 % и FRR = 12 %. В дальнейшем система может улучшать показатели точности и скорость работы следующими способами:

- дообучение нейронной сети (Fine Tuning);
- использование камеры с определением глубины;
- исследование и анализ других алгоритмов сравнения траекторий;
- создание облачного сервиса для ускорения вычислений.

В ходе работы был создан прототип модуля идентификации, который может быть интегрирован в широкий спектр электронных систем, требующих подтверждения личности пользователя, начиная с авторизации на веб-сайтах и заканчивая открыванием дверей с электронным замком. Кроме того, в связи с минимальными требованиями к качеству считываемого изображения данный модуль может использовать средства простейших камер, встроенных в ноутбуки и мобильные устройства, что ещё больше расширяет сферу применения разработанной системы жестовой идентификации.

Литература

1. Анатолий Малков. Классификация механизмов аутентификации пользователей и их обзор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/177551/> (дата обращения: 23.04.2023).
2. Официальный сайт OpenCV [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://opencv.org/> (дата обращения: 23.04.2023).
3. Pavlovic V., Sharma R. & Huang T. (1997). "Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. July. 1997. Vol. 19(7). pp. 677 -695.
4. Документация Mediapipe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://google.github.io/mediapipe/> (дата обращения: 23.04.2023).
5. Коломыщев А.С., Вердиев О.Р. Распознавание жестов на видео // StudNet. 2022. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznvanie-zhestov-na-video> (дата обращения: 23.04.2023).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ-ВИЗУАЛИЗАТОРА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Трубицына А.М.¹, Бодров К.Ю.¹

Научный руководитель – заведующий лабораторией ОЛИМП Бодров К.Ю.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: anna.trubitcyna@gmail.com

Аннотация

В работе представлен процесс разработки программы-визуализатора робота-манипулятора. С использованием созданной с нуля программы исследованы различные решения поставленных задач, проведено сравнение. Рассмотрены наиболее плохо описанные в литературе темы, такие как: способы задания ориентации, принцип работы матриц однородного преобразования. В заключении работы представлены выводы и описаны перспективы дальнейшей разработки.

Ключевые слова

Робот-манипулятор, визуализация, задачи кинематики, матрицы однородных преобразований, ориентация

Робототехника является важной частью современного мира. Роботы заменили людей во многих сложных и опасных профессиях, монотонной работе, способствовали частичной автоматизации производства. Однако, робототехника развивается не так быстро, как могла бы, из-за ряда ограничивающих факторов. Одним из ключевых является недостаток кадров, способных к разработке новых устройств. В настоящий момент все больше заметна тенденция использования готовых решений, библиотек и устройств. В теории это позволяет быстрее прототипировать новые продукты и получать опыт их эксплуатации, однако мало способствует росту навыков разработки. Без этих навыков на рынке робототехники будет появляться меньше конкурентоспособных новых решений, что, в свою очередь, замедлит темпы развития индустрии.

Рассмотрим более детально роботы-манипуляторы. В настоящее время они набирают всё большую популярность, так как достаточно универсальны и способны выполнять широкий набор задач.

Сложности, возникающие в ходе изучения данной области:

1. Большая часть информации недоступна, так как используется для создания коммерческого продукта.
2. Большинство имеющихся визуализаторов/симуляторов и физических роботов-манипуляторов имеют ограниченный набор функций, поэтому они не доступны для тестирования новых идей.
3. Ряд тем, важных для понимания и создания базовых функций, в большинстве материалов отсутствуют или недостаточно объяснены.
4. Робототехника является дорогостоящей областью, поэтому получить практические навыки по созданию и управлению реальным манипулятором зачастую является проблематичным.

Одним из возможных решений является компьютерное моделирование, позволяющее получить практический результат, близость которого к реальности зависит от того, насколько подробно проработана модель и как много физических законов применено. Как правило, это приводит к разработке симулятора и первым этапом является создание визуализатора, который учитывает только кинематические особенности роботов-манипуляторов. В рамках создания программы-визуализатора были выделены следующие этапы его реализации:

1. Отображение манипулятора по имеющимся координатам сочленений.
 - 1.1. Изображение орт систем координат каждого звена.
2. Визуализация манипулятора по заданным углам сочленений.

2.1. Реализация решения прямой задачи кинематики (ПЗК) методом Денавита-Харатенберга [1, 2].

2.2. Реализация решения ПЗК методом произведения матричных экспонент [3].

3. Отображение манипулятора по заданному положению и ориентации хвата.

4. Управление с использованием клавиатуры или по кнопкам на экране.

5. Задание ориентации хвата.

6. Изображение углов поворота сочленений.

7. Управление мышью.

8. Движение манипулятора с заданной скоростью по заданной траектории.

Программа-визуализатор позволяет изучить и протестировать новые идеи без затрат на изготовление робота-манипулятора. Она может отображать манипулятор любой заданной конструкции и включать в себя различные способы управления роботом.

В ходе работы программы есть возможность выводить всю необходимую информацию, за счет чего можно изучать принципы работы различных методов, сравнивать и исследовать их.

Цель работы: описать процесс разработки программы-визуализатора робота-манипулятора.

Задачи:

1. Разработать программу-визуализатор.

2. Провести исследование и сравнение двух методов решения прямой задачи кинематики.

3. Описать решения, полученные в ходе работы.

4. Описать теоретические и практические результаты, полученные в ходе работы.

Робототехническая система робота-манипулятора состоит из набора последовательно соединенных кинематических пар: вращательных и поступательных (рис. 1). Робот-манипулятор можно рассматривать как систему, в которой твердые тела – звенья, соединены между собой подвижными сочленениями. В конце последнего звена часто устанавливают хват или другой инструмент (рис. 2). За счет движения звеньев манипулятора друг относительно друга, хват манипулятора может перемещаться и менять ориентацию, выполняя определенные действия.

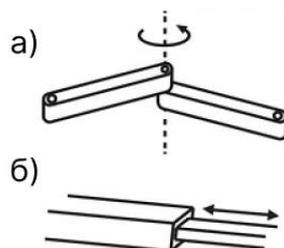


Рис. 1. а – вращательное сочленение, б – поступательное

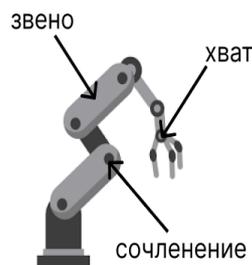


Рис. 2. Части робота-манипулятора



Рис. 3. Представление звеньев робота прямой или набором прямых

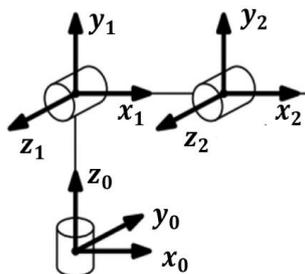


Рис. 4. Системы координат, привязанные к каждому звену (сочленению)

Отображение манипулятора по имеющимся координатам сочленений

Для отображения движения манипулятора на компьютере удобно использовать язык программирования, а также библиотеки, позволяющие работать с 3D-графикой.

Манипулятор можно изобразить, как набор звеньев. Звено же можно показать в виде 3D-модели, 3D-фигуры, набора прямых или прямой между сочленениями (рис. 3). Для того чтобы отобразить прямую, необходимо знать координаты начала и конца прямой, то есть координаты сочленений в пространстве, в котором происходит отображение. Чаще всего система координат, в которой происходит отображение, совпадает с системой координат базы манипулятора. Обозначим ее 0-й системой координат.

Для отображения 3D-моделей, фигур или набора прямых нам необходимо знать их расположение в пространстве. Проще всего это реализовать, сопоставив звену некоторую систему координат, которая будет двигаться в пространстве вместе с телом. Тогда расположение тела можно задавать через расположение центра системы координат и координаты ее орт. Зачастую центр системы координат звена располагают на оси вращения или перемещения сочленения, из которого звено начинается, поэтому иногда эта система координат будет называться системой координат сочленения (рис. 4).

Отображение манипулятора по заданным углам сочленений

Для отображения манипулятора, по заданным углам сочленений определяются координаты всех сочленений и расположения систем координат, привязанных к звеньям. Для этого необходимо решить прямую задачу кинематики (ПЗК). Она заключается в поиске координат и ориентации хвата манипулятора по известным углам поворота вращательных сочленений и смещениям поступательных. Однако, вместо хвата можно выбрать любое сочленение и найти таким же методом его координаты.

Чаще всего промежуточным результатом решения является набор матриц однородного преобразования между системой координат пространства, в котором производится отображение, и системой координат, привязанной к любому сочленению или хвату манипулятора: $[H_0^1, H_0^2, \dots, H_0^i, \dots, H_0^n]$.

Главным образом, умножение матрицы однородного преобразования из i -й системы координат в j -ю H_i^j на вектор обобщенных координат: $[x, y, z, 1]^T$ для точки с координатами (x, y, z) необходимо, чтобы получить координаты в i -й системе координат, если известны координаты в j -й системе координат. А умножение на обратную матрицу однородного преобразования, если необходимо получить координаты в j -й системе координат, а известны координаты в i -й системе координат.

Поэтому, зная матрицу однородного преобразования H_0^i , можно найти центр i -й системы координат, умножив ее на вектор $[0,0,0,1]^T$, так как в i -й системе координат его координаты $(0,0,0)$. А координаты концов орт – умножив соответственно на векторы $[1,0,0,1]^T$, $[0,1,0,1]^T$, $[0,0,1,1]^T$.

В ходе работы изучены 2 метода поиска набора матриц однородного преобразования.

Первый метод поиска набора матриц однородного преобразования (решения ПЗК).

В рамках первого метода находятся матрицы однородного преобразования между двумя идущими друг за другом системами координат H_{i-1}^i . Тогда по правилу цепочки можно найти любую матрицу из нужного ряда $H_0^i = H_0^1 \cdot H_1^2 \cdot \dots \cdot H_{i-1}^i$.

Правило цепочки заключает, что матрица преобразования из i -й в k -ю систему координат равна произведению матриц преобразования из i -й в j -ю систему координат и из j -й в k -ю: $H_i^k = H_i^j \cdot H_j^k$.

Для поиска матриц однородного преобразования H_{i-1}^i пользуются правилом цепочки и стандартными матрицами однородного преобразования.

Если j -ю систему координат можно получить из i -й системы координат поворотом i -й системы координат вокруг одной из ее осей (x, y, z) или смещением вдоль одной из ее осей, то можно пользоваться готовыми матрицами однородного преобразования из i -й системы координат в j -ю. Они могут быть получены геометрически, исходя из координат орт систем координат.

Исходя из правила цепочки можно увидеть, что если мы получаем j -ю систему координат из i -й набором стандартных преобразований, то матрица итогового преобразования H_i^j равна произведению матриц стандартных движений начиная с первого.

Чаще всего для поиска матриц однородного преобразования между двумя идущими друг за другом системами координат пользуются параметрами Денавита-Хартенберга. Этот метод позволяет удобно выбрать системы координат. Для решения ПЗК реального робота надо снять определенные параметры, например длины звеньев и далее соотнести их с параметрами, необходимыми соответствующему методу. А параметры Денавита-Хартенберга достаточно легко соотносятся с размерами стандартных чертежей. Кроме того, при использовании этих параметров, все матрицы однородного преобразования H_{i-1}^i имеют одинаковый вид.

Рассмотрим процесс выбора СК и определения матриц однородного преобразования, для того чтобы понять, почему метод с использованием параметров Денавита-Хартенберга работает именно так.

Пусть есть 2 произвольно расположенные системы координат. Будем называть их 1 и 2 (они соответствуют двум идущим друг за другом системам координат).

Обычно твердое тело имеет 6 степеней свободы, и ее положение задается тремя смещениями и тремя поворотами. Для начала можно считать, что вторая система координат имеет также 6 степеней свободы относительно первой, то есть мы можем выбирать ее произвольно. Однако, логично выбирать ее так, чтобы легко получить матрицу однородного преобразования между системами координат.

1. Выберем первую ось.

Если сочленение вращательное, и если ни одна из осей ни первой, ни второй системы координат не будет совпадать с осью вращения, то матрицу однородного

преобразования при изменении угла поворота сочленения будет найти достаточно сложно. Поэтому удобно выбрать ось поворота сочленения манипулятора совпадающей с одной из осей системы координат этого сочленения. В методе Денавита-Хартенберга такой выбрана ось Z . Если сочленение поступательное, исходя из аналогичных соображений, удобно выбрать ось Z так, чтобы вдоль нее происходило перемещение.

2. Выберем вторую ось.

Теперь можно заметить, что система координат №2 имеет только 4 степени свободы относительно системы координат №1. Одна вращательная степень свободы теряется за счет выбора оси Z , а вторая поступательная за счет того, что системы координат связаны жестким звеном и третья линейная координата выражается через первые 2. Тогда можно выбрать вторую ось так, чтобы оставшиеся 3 степени свободы (одну мы уже учли поворотом вокруг оси Z или смещением вдоль оси Z) задавались 1 углом и 2 смещениями (или 2 углами и 1 смещением).

В методе с использованием параметров Денавита-Хартенберга выбирают ось X так, чтобы она была перпендикулярна и пересекала предыдущую ось Z . Это условие определяет единственное положение оси X . Ось Y соответственно выбирается исходя из того, что система ортонормированная и подчиняется правилу правой тройки.

За счет такого выбора оси X можно получить из системы координат №1 стандартными преобразованиями систему координат №2 и определить вид матрицы преобразования.

При таком выборе систем координат, ось Z_1 всегда перпендикулярна осям X_1 и X_2 . Поворотом системы координат №1 вокруг оси Z_1 на угол поворота между осями X_1 и X_2 относительно оси Z_1 получается система координат, в которой ось X параллельна X_2 . Сместив эту систему координат вдоль оси Z_1 на расстояние между осями X вдоль оси Z_1 , получаем систему координат, в которой ось X коллинеарна с X_2 . Если сместить эту систему координат вдоль оси $X_1 \equiv X_2$ на расстояние между осями Z относительно X_2 , то в полученной системе координат центр совпадёт с центром второй системы координат. Поворотом вокруг оси $X_1 \equiv X_2$ на угол между осями Z относительно X_2 получим систему координат, полностью совпадающую со второй. Можно также заметить, что расстояния и углы между осями можно измерять исходя из начального расположения систем координат (рис. 5) (табл. 1).

Таблица 1

Последовательные стандартные преобразования 1-й системы координат ко второй, при произвольном выборе систем координат методом Денавита-Хартенберга

Расположение систем координат между собой перед движением	Возможное движение
ось Z_1 перпендикулярна оси X_1 и X_2	поворот вокруг оси Z_1 на угол поворота между осями X относительно оси Z_1
оси X_1 и X_2 параллельны	сдвиг вдоль оси Z_1 на расстояние между осями X вдоль оси Z_1
оси X_1 и X_2 коллинеарны	смещение вдоль оси X_2 на расстояние между осями Z^*
оси X и центры СК совпадают	поворот на угол между осями Z относительно оси X^*

*равно расстоянию/углу между осями Z относительно оси X_2 в начальном положении

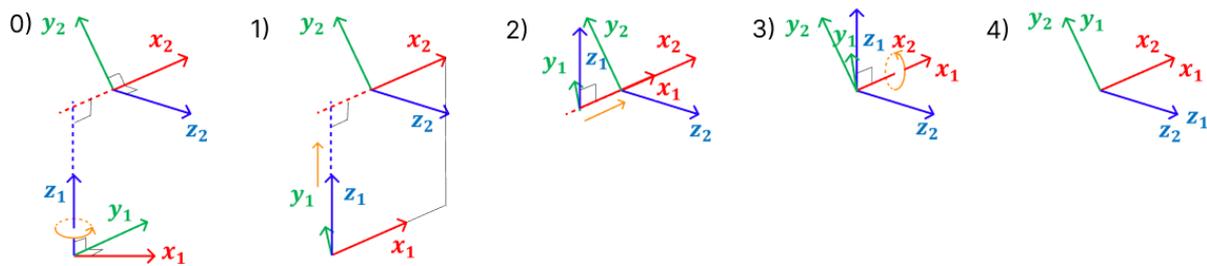


Рис. 5. Последовательные стандартные преобразования первой системы координат ко второй, при произвольном выборе систем координат методом с использованием параметров Денавита-Хартенберга

Тогда матрица однородного преобразования равна $H=H_z(\theta) \cdot H_z(d) \cdot H_x(a) \cdot H_z(\alpha)$. Где H_z – стандартная матрица поворота или смещения относительно оси Z, H_x – относительно оси X, θ, d, a, α – соответствующие алгоритму углы и расстояния в стандартных обозначениях метода Денавита-Хартенберга.

Первый метод для прямой и обратной задачи кинематики скоростей

В рамках первого метода существует алгоритм поиска Якобиана системы, с помощью которого можно по известным скоростям поворота/смещения сочленений найти линейную и угловую скорости перемещения хвата манипулятора. Для этого отдельно рассматриваются линейная и угловая часть матрицы Якоби для вращательного и поступательного сочленения. Для поиска линейной части матрицы Якоби рассматривается движение каждого сочленения (при неподвижности остальных). Производится поиск частных производных координат вектора с началом в центре базы манипулятора и концом в хвате от углов поворота/ величины смещения сочленения. Для поиска угловой части матрицы Якоби рассматривается движение каждого сочленения отдельно и используются стандартные формулы физики.

Второй метод решения ПЗК

Как ранее уже было сказано, для решения прямой задачи кинематики надо получить ряд параметров из конструкции рассматриваемого манипулятора и преобразовать их в параметры, которые использует метод. У второго метода решения ПЗК существует несколько модификаций, которые главным образом отличаются данными параметрами и предварительными вычислениями. Далее будет рассмотрена одна из модификаций этого метода, для которой эти параметры наиболее просты в определении.

В ней также, как и в первом методе, реализуется поиск матриц однородного преобразования между двумя идущими друг за другом системами координат: H_{i-1}^i . Для этого ищется нормированный вектор обобщенных скоростей для этих 2-х систем координат размерности 6×1 : $\hat{T} = \begin{pmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{p} \end{pmatrix}$, в англоязычной литературе – Unit Twist. Первые 3 значения которого – единичный вектор угловой скорости i -й системы координат относительно $(i-1)$ -й системы координат. Последние 3 – единичный вектор линейной скорости. Линейная скорость равна нормированной сумме векторного произведения вектора из центра 1-й системы координат в центр 2-й системы координат на угловую скорость и линейной скорости движения 2-й системы координат относительно 1-й вдоль оси вращения.

$$\hat{v} = [\hat{\omega}, p] + \lambda \hat{\omega}. \quad (1)$$

Аналогичный вектор обобщенных скоростей без $\hat{T} = \begin{pmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{\vartheta} \end{pmatrix}$, в англоязычной литературе – Twist. Существует его матричное представление, получаемое из вектора следующим образом

$$\tilde{T} = \begin{pmatrix} \tilde{\omega} & \vartheta \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\tilde{\omega} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{pmatrix}$ — соответствующая вектору ω кососимметричная матрица. При этом матрица обобщенных скоростей вводится через матрицы однородного преобразования, как $\tilde{T}_i^{j,j} = \dot{H}_i^j \cdot H_i^{j-1}$, где запись $\tilde{T}_i^{k,j}$ обозначает вектор обобщенных скоростей i -й системы координат относительно j -й, записанный в k -й системе координат. Тогда можно рассмотреть дифференциальное уравнение $\dot{H}_i^j = T_i^{j,j} \cdot H_i^j$. Для нормированного вектора обобщенных скоростей оно также верно.

Так как нормированный вектор обобщенных скоростей показывает только направление скорости (норма его компонент единичная), то он постоянен в любом положении и для любых скоростей поворота сочленений. Поэтому решением данного дифференциального уравнения является матричная экспонента, умноженная на матрицу начальных условий: $H_i^j = \exp(T_i^{j,j} \cdot q_i) \cdot H_i^j(0)$. Отсюда следует, что $H_i^{i-1} = \exp(T_i^{i-1,i-1} \cdot q_i) \cdot H_i^{i-1}(0)$.

Второй метод для прямой и обратной задачи кинематики скоростей

В рамках данного метода также рассматривается поиск Якобиана. Он отличается от найденного предыдущим методом и называется геометрическим. С его помощью также можно найти линейную и угловую скорость хвата. Можно показать, что найденная с использованием геометрического Якобиана линейная скорость (1) равна минус матрице вращения R_{i-1}^i , умноженной на скорость, с которой движется центр i -й системы координат относительно центра $(i-1)$ -й системы координат (линейную скорость предыдущего метода): $v = -R_{i-1}^i \cdot \dot{p}$. Линейная скорость второго метода показывает движение центра $i-1$ системы координат относительно i -й системы координат при движении i -й системы координат, по направлению перпендикулярно оси вращения i -й системы координат и вектору между центрами систем координат (рис. 6).

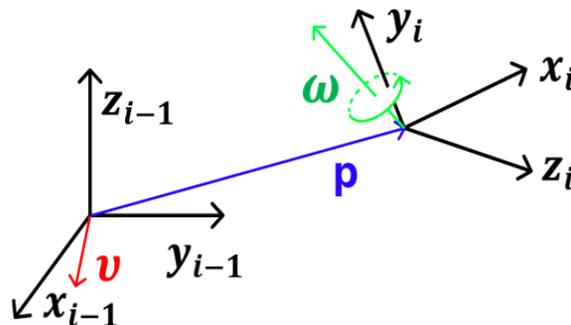


Рис. 6. Геометрический смысл линейной скорости v , используемой во втором методе

Якобиан состоит из векторов обобщенных скоростей приведенных к 0-й системе координат $J = [T_1^{0,0}, T_2^{0,1}, \dots, T_n^{0,n-1}]$. Приведение производится, например, посредством

преобразования матриц обобщенных скоростей по формуле (3) и преобразования обобщенных скоростей из матрицы в вектор и обратно по формуле (2).

$$\tilde{T}_i^{i,j} = H_j^i(q) \cdot \tilde{T}_i^{j,j} \cdot H_i^i(q). \quad (3)$$

Сравнение двух описанных методов решения прямой задачи кинематики, прямой и обратной задач кинематики скоростей описано в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение двух описанных методов решения прямой задачи кинематики и прямой и обратной задач кинематики скоростей

Критерии сравнения	Метод 1	Метод 2
Выбор систем координат	Пошаговый алгоритм с ограничениями на выбор расположения осей	Можно выбирать произвольно, но от выбора зависит количество дополнительных вычислений (производимых с длинами и углами манипулятора) при поиске параметров, необходимых методу
Параметры, которые необходимо найти из конструкции манипулятора и выбора систем координат	Параметры Денавита-Хартенберга	Матрицы однородных преобразований для начального положения, вектора обобщенных скоростей
Необходимые математические операции	Матричное умножение	Матричное умножение, возможность создать блочную матрицу и выделить блок матрицы, векторное умножение
Скорость работы кода	~100 мкс для стандартного 6-осевого манипулятора	Примерно в 5-6 раз больше
Универсальность	Можно использовать для любых типов манипуляторов и систем, представимых как последовательное соединение вращательных и поступательных звеньев	Можно использовать для любых типов манипуляторов и систем, представимых как последовательное соединение вращательных и поступательных звеньев
Понимание работы методов	Аксиоматичное описание	Опирается на строгую, но сложную теорию
Прямая задача скоростей	Аксиоматичное описание	Базируется на теории ПЗК

Критерии сравнения	Метод 1	Метод 2
Линейная скорость, используемая в методе	Линейная скорость движения центра одной системы координат относительно другой	Линейная скорость движения центра одной системы координат относительно другой, умноженная справа на матрицу поворота и взятая со знаком минус
Обратная задача скоростей	Необходимо брать обратную матрицу, присутствуют точки сингулярности (в которых Якобиан равен 0)	Возможно нахождение моментов для управления через транспонирование матрицы, за счет чего избегаются точки сингулярности (в которых Якобиан равен 0)
Использование полученных соотношений для решения других задач	Выводится отдельно	Можно вывести из обосновывающей метод теории

Отображение манипулятора по заданному положению и ориентации хвата

Для отображения манипулятора по заданному положению и ориентации хвата удобно использовать решение обратной задачи кинематики (ОЗК): по известным координатам и ориентации хвата находить углы поворота или величины смещения сочленений. Далее можно использовать решение предыдущей задачи: отображение манипулятора по заданным углам поворота/длинам смещения сочленений. Однако не вычислительно затратные методы решения ОЗК существуют лишь для определенных конфигураций. Несмотря на то, что управлять манипулятором можно и не решая обратную задачу кинематики за счет обратной задачи скоростей, полезно знать решение ОЗК из-за присутствия точек сингулярности.

Управление с использованием клавиатуры или по кнопкам на экране

В рамках визуализатора, было реализовано управление манипулятором, для которого существует геометрический метод решения ОЗК, с помощью клавиш без использования задачи скоростей. Для этого при нажатии кнопок, к текущим значениям углов, координат или ориентации прибавлялось фиксированное значение. Далее заново решалась либо только прямая (если производилось изменение угла поворота сочленений), либо обратная и прямая задача кинематики (если производилось изменение положения/ориентации хвата) и заново изображался манипулятор. За счет большой частоты отображения, реализация такого решения выглядит как непрерывное движение. При этом важно учитывать, что обратная задача кинематики имеет несколько решений. Поэтому для непрерывного движения необходимо выбирать то, которое наиболее близко к предыдущему. В литературе обычно приводятся формулы только для одного варианта решения, однако остальные можно получить геометрическими преобразованиями.

Реализация способа задания ориентации при известном положении хвата

Для решения задачи отображения манипулятора по заданному положению и ориентации хвата необходимо иметь возможность задавать ориентацию хвата. Существует несколько вариантов задания ориентации хвата, такие как: матрица поворота, углы Эйлера, углы последовательных поворотов вокруг осей X, Y, Z. Однако, зная их, достаточно сложно представить итоговое положение хвата, и наоборот, зная

положение хвата, достаточно сложно найти необходимые программе параметры. При работе с покупными роботами-манипуляторами обычно не до конца понятно, какие углы необходимо ввести в программу. Поэтому большинство процессов программируется посредством запоминания траектории при управлении роботом в ручном режиме.

Оказывается, достаточно удобно задавать ориентацию через матрицу вращения. Ее столбцы являются координатами векторов орт системы координат хвата в 0-й системе координат, зная которые достаточно просто представить положение хвата.

Орты системы координат имеют единичную длину, перпендикулярны друг другу и составляют правую тройку. Поэтому для их задания достаточно ввести 3 значения, остальные получаются из следующих соотношений:

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = 1,$$

$$x_j^2 + y_j^2 + z_j^2 = 1,$$

$$x_i \cdot x_j + y_i \cdot y_j + z_i \cdot z_j = 1,$$

$$x_k = y_i \cdot z_i - y_j \cdot z_i, \quad y_k = x_j \cdot z_i - x_i \cdot z_j, \quad z_k = x_i \cdot y_j - x_j \cdot y_i$$

где i, j, k – номера орт; x, y, z – соответствующие координаты.

Изображение углов поворота сочленений

Углы поворота сочленений можно изобразить, перейдя в систему координат соответствующего сочленения. Иногда для более удобного понимания влияния угла поворота конкретного сочленения на расположение хвата необходимо изобразить углы со смещенным центром и определенным радиусом. Это реализуется использованием дополнительной стандартной матрицы преобразования и вычислением радиуса исходя из геометрических соображений.

Управление мышью

Задача управления мышью представляет собой поиск ближайшей к хвату манипулятора точки на прямой, которая перпендикулярна плоскости экрана и проходит через точку положения мыши. Таким образом, нажимая в определенную точку на экране, видно, что хват манипулятора переместился в нее. Эта задача аналогична задаче нажатия на предмет при разработке игр. Рассмотрим алгоритм действий для решения данной задачи:

1. Определение координат мыши в двумерной системе координат экрана (реализуется с использованием дополнительных библиотек).

2. Преобразование этих координат в систему координат базы манипулятора (реализуется с использованием умножения на матрицу однородного преобразования).

3. Поиск координат 2-х дополнительных точек из плоскости экрана в 0-й системе координат (реализуется умножением любых точек из плоскости на матрицу однородного преобразования).

4. Поиск координат вектора N перпендикулярного плоскости экрана (реализуется посредством векторного умножения двух векторов в плоскости экрана, найденных с использованием координат точек из прошлых пунктов).

5. Поиск ближайшей к хвату манипулятора точки на прямой, которая перпендикулярна плоскости экрана и проходит через точку положения мыши. Она будет лежать в точке пересечения вектора N и вектора перпендикулярного ему и проходящего через точку хвата манипулятора.

Формализуется соотношением: $\langle a \cdot N, g - (a \cdot N + m) \rangle = 0$, где скобки $\langle \rangle$ обозначают скалярное произведение, a – неизвестный коэффициент, g – вектор координат хвата манипулятора, m – вектор координат мыши в 0-й системе координат.

Если для отображения манипулятора используется перспектива, это необходимо учитывать при расчете.

Движение манипулятора с заданной скоростью по заданной траектории

В задаче движения манипулятора с заданной скоростью исходными данными являются скорость, координаты хвата и координаты точки куда необходимо прийти. В начале необходимо найти составляющие вектора скорости по каждой из осей, исходя из траектории. После этого, движение манипулятора с заданной скоростью реализуется посредством прибавления к соответствующей координате хвата значения, вычисляемого как: $v \cdot \frac{x}{l} \cdot t$, где v – привычная линейная скорость хвата для соответствующей оси, $x = x_1 - x_0$ – расстояние по соответствующей оси, которое необходимо пройти, $l = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}$ – общее необходимое расстояние, t – единица времени. Прибавление производится до момента достижения необходимой точки или до момента достижения пройденного времени времени перемещения ($T = \frac{l}{v}$). При этом необходимо учитывать влияние погрешности, либо производить подсчеты в целых числах, так как значения достаточно маленькие за счет высокой частоты отображения.

Так как роботом обычно управляют посредством изменения угла поворота сочленений, полезной прикладной задачей является реализация аналогичного алгоритма посредством прибавления значений $v \cdot t$ к углам поворота сочленений. При этом необходимая скорость поворота сочленений v ищется с помощью обратной задачи скоростей.

В ходе работы был описан процесс разработки программы-визуализатора робота-манипулятора с нуля. Были описаны способы решения ряда задач. В дальнейшем планируется использование данного визуализатора для исследовательских задач по планированию маршрутов и траекторий, а также реализация визуализации 3D-печати с использованием робота-манипулятора. В перспективе возможно создание полноценного симулятора, а также использование полученных теоретических и практических результатов для управления реальным роботом-манипулятором.

Литература

1. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2016. 110 с.
2. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot modeling and control. Wiley New York. 2006. 419 с.
3. Kevin M. Lynch and Frank C. Park Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press. 2017. 642 с.

**РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО ПРОФОРИЕНТАЦИОННОГО НАБОРА
ДЛЯ НАГЛЯДНОЙ ДЕМОСТРАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ, ЭЛЕКТРОНИКЕ,
СОЗДАНИЮ УМНЫХ УСТРОЙСТВ, ПРОГРАММИРОВАНИЮ,
РОБОТОТЕХНИКЕ, СХЕМОТЕХНИКЕ**

Храпов О.Н.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Шматков В.Н.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: hrpov-oleg@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены ключевые процессы по созданию электронного учебного курса, которые проходят через определенный порядок действий, облегчающие задачи по разработке и проектированию электронных образовательных курсов. Для реализации обучающего профориентационного набора для наглядной демонстрации и обучения, электронике, созданию умных устройств, программированию, робототехнике, схемотехнике был проведен анализ существующих образовательных курсов. Для реализации профориентационных программ были пройдены и проанализированы тесты. Также были предложены и проанализированы основные моменты реализации учебного комплекса.

Ключевые слова

Разработка курсов, программно-аппаратный комплекс, технологии обучения, мягкие навыки, инклюзивное обучение, умные устройства, профориентация, электроника.

Разрабатываемый игровой программно-аппаратный комплекс представляет собой многоплановый обучающий комплекс. Для его проектировки было выделено три составляющие: конструктор, профориентационная составляющая, образовательная составляющая.

Для создания образовательной программы и разработки подробного материала для изучения физических основ работы приборов, схем и датчиков был проведен анализ уже реализованных образовательных курсов с целью выделения общих принципов изложения материала и перенятия за основу образовательного плана. В ходе проектной работы с конструктором учащиеся освоят: электронику, программирование, робототехнику, схемотехнику и основы проектирования умных устройств.

Для решения проблемы с неосознанным выбором будет предназначаться разработка принципиально нового обучающего комплекса для «погружения в тематику» и наглядной демонстрации. Данный набор будет соответствовать самым современным тенденциям в образовании. Данный продукт будет помогать уже на ранних стадиях узнать специфику специальности, но в то же время этот же конструктор будет развивать и усиливать скрытый интерес к физике, технике и программированию у других ребят, что не менее важно.

Для реализации данного проекта был проведен анализ образовательных курсов: «Основы программированию микроконтроллеров семейства Arduino», «Современные беспроводные Wi-Fi сети», «основы IoT на Arduino», «Основы работы с данными», «Поколение Python» и многие другие.

Для реализации профориентационных программ были пройдены и проанализированы тесты DIGITAL HUMAN от МГУ и ИТМО. Профориентация.

В рамках реализации проекта разработка образовательных курсов одна из самых основных и важных задач, которую необходимо решить. Разрабатываемый комплекс, будет представлять собой многоплановый обучающий набор. Он будет включать в себя конструктор, образовательный контент и профориентационные тесты.

Новизна разрабатываемого обучающего программно-аппаратного комплекса будет заключаться в создании платформы для совокупного обучения основам физики, программированию, схемотехнике, электроники. Также комплекс будет совмещать в себе профориентационные тесты, которые помогут ученикам выпускных классов принять осознанный выбор дальнейшего их жизненного пути.

Уникальность разработки заключается в том, что будет проведено объединение профориентационных тестов и учебного курса, предназначенного для совокупного проектного обучения набору дисциплин с изменяемым уровнем сложности и глубины предлагаемого материала. Таким образом, учащиеся основываясь на выводах, сделанных в ходе проектной деятельности, самостоятельно смогут принять осознанное решение о выборе будущей профессии. Данный подход позволяет принять правильный и осознанный выбор профессии в соответствии с выявленными способностями и особенностями характера, что не реализовано в отечественных и зарубежных наборах. Обычно выделяют в проектировании электронного курса до пяти этапов:

- подготовительный этап;
- этап разработки проекта;
- этап производства курса;
- этап тестирования и апробации курса;
- этап его усовершенствования и тиражирования [2].

Эти этапы являются важными организационными этапами, которые необходимы для продвижения и эффективного использования электронного учебного курса. Главным этапом является непосредственная работа с учебным материалом и его организация в электронном учебном ресурсе или курсе.

По рекомендациям специалистов, специализирующихся на разработке и запуске образовательных курсов, необходимо было принять решение, какого рода электронный учебный курс создается и определить модель курса. Разрабатываем образовательный курс будет направлен на инженерную сферу. В разрабатываем конструкторе образовательный план будет в себя включать следующие направления, которые описаны в таблице 1.

Таблица 1

Образовательные направления

Направление	Описание
Введение в профессию	Обучающиеся знакомятся: со спецификой разработчика; узнают технику безопасности; этапы разработки устройств IoT; основы физики (можно рассказать про правило Кирхгофа); методы пайки
Программирование	Учащиеся знакомятся с основами программирования на Си (пишут самостоятельно маленькие скрипты или составляют из блоков язык программирования Scratch): введение в язык Си (функции, типы данных, ООП)

продолжение таблицы

Направление	Описание
Электроника	Учащиеся узнают основные термины и компоненты, применяющиеся в разработке устройств. Расчеты транзисторов, знакомство с Arduino, сенсорами, дисплеями, интерфейсами
Схемотехника	Учащиеся знакомятся с различными соединениями, учатся рассчитывать транзисторы, пользоваться средствами монтажа элементов на макетных и печатных платах
Робототехника	Введение в робототехнику, учащиеся учатся основам конструирования, работе с датчиками препятствия и дальномерами, управлению с внешними источниками, механизмами управления

В ходе анализа существующих уже курсов на рынке EdTech были выбраны следующие проектные задания:

- система самополива;
- домашняя метеостанция;
- небольшой дрон;
- робот;
- регуляторы (температуры, подогрева полов, воздуха, анализатора влажности почвы);
- электронный кубик (аналог игрального кубика); система безопасности.

Комплекс будет поставляться или в сборе, или в виде отдельных запчастей (конструктора), позволяющих собрать проектные задания. Для конструирования была подобрана подборка основных необходимых комплектующих: комплект плат микроконтроллера, STM32 и Arduino Nano с техническими характеристиками: Флэш-память 16Кб; тип процессора ATmega 168; тактовая частота 16 МГц. Набор для изучения электроники будет включать в себя: беспаячные макетные платы, транзисторы, фоторезисторы, кнопки, таймеры, светодиоды, контроллеры питания, универсальные резисторы. Было разработано проектное задание по созданию домашней метеостанции. Данная метеостанция будет показывать: температуру воздуха, время, дату, влажность воздуха, атмосферное давление (в мм.рт.ст.), углекислый газ (в ppm), прогноз осадков, построение графиков показаний с датчиков, индикация уровня CO₂. При работе в проектном формате объединяются такие предметы как технология, математика, физика, информатика, демонстрируя общие пересечения предметов и их применение. Инженерное, алгоритмическое и творческое мышление у учащихся, а также навык принимать самостоятельные и нестандартные решения достигается через разработку и конструирование. В данном курсе учащиеся ознакомятся с компонентной базой и узнают специфику и применение каждого элемента. Также во время обучения, учащиеся ознакомятся с понятием схемотехники и научатся расшифровывать схемы соединений компонентов как показано на рисунке 1. Кроме этого учащиеся получают основы программирования, так как им самостоятельно придется загружать программный код на одноплатный компьютер.

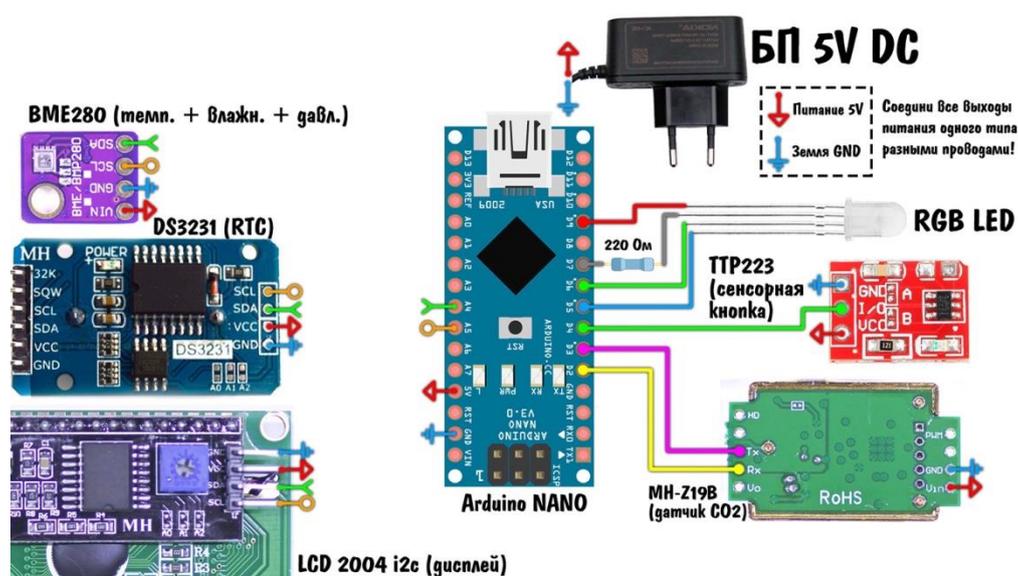


Рис. 1. Схема метеостанции

Была подготовлена материальная база для разработки данного проектного задания. Здесь подобраны самые основные и распространенные компоненты: Arduino Nano, сенсорная кнопка, датчик BME280, датчик MH-Z19, дисплей LCD 2004 I2C, часы DS3231, светодиод RGB, RGB модуль, резисторы (220 R), монтажный провод, корпус, модуль USB, фоторезисторы, резисторы 10k.

Создание качественного и хорошо проработанного электронного учебного курса одному невозможно. Обычно положительный результат достигается через совместную деятельность множества специалистов [1].

Процесс создания электронных учебных курсов основан на нескольких этапах. Во-первых, выбор или создание учебного материала, контента курса для представления его в электронном виде. Во-вторых, это разработка модели электронного учебного курса, учитывая все дидактические и методические принципы его построения. В-третьих, это выбор или разработка самой образовательной платформы для размещения контента.

В ходе анализа существующих готовых решений, было выявлено, что все образовательные платформы закрыты, а также в них плохо проработан UI компонент, что сильно снижает удобство использования платформы пользователями. Для реализации проекта было составлено техническое задание (ТЗ) для дизайнера для проектирования макета образовательной платформы. Главная цель – это реализовать простой и удобный интерфейс, чтобы во время прохождения курса, не возникало чувство непонимания и желания закончить обучение. Была проработана структура образовательной площадки как на рисунке 2 и путь пользователя на рисунке 3.

Также была разработана основа для разработки прототипа стартовой страницы образовательной площадки, представленной на рисунке 4 и 5. Особое внимание уделяется уменьшению количества кнопок и нагроможденности.

Было продумано взаимодействие с технической поддержкой, в случае возникновения трудностей или непонимания материала. Данная проблема решается через специальную форму, либо через специальный раздел «Часто задаваемые вопросы» (FAQ).

Для помощи выпускникам школы в решении трудностей с неосознанным выбором будут внедряться профориентационные тесты. Уникальность разработки заключается в том, что впервые будут объединяться профориентационные тесты и учебные курсы. Учебные курсы предназначены для совокупного проектного обучения набору дисциплин с реконфигурируемым уровнем сложности и глубины предлагаемого материала.

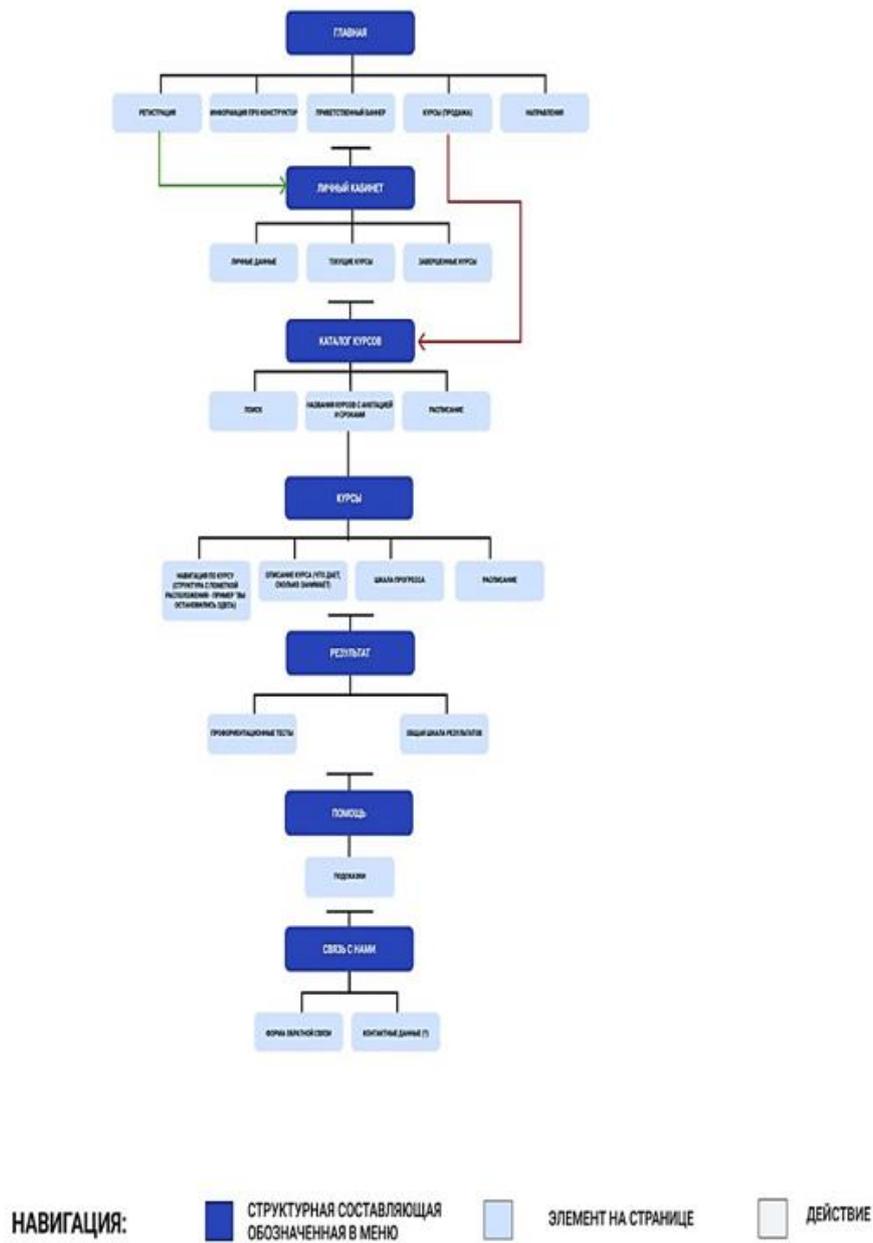


Рис. 2. Структура образовательной площадки

ПУТЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

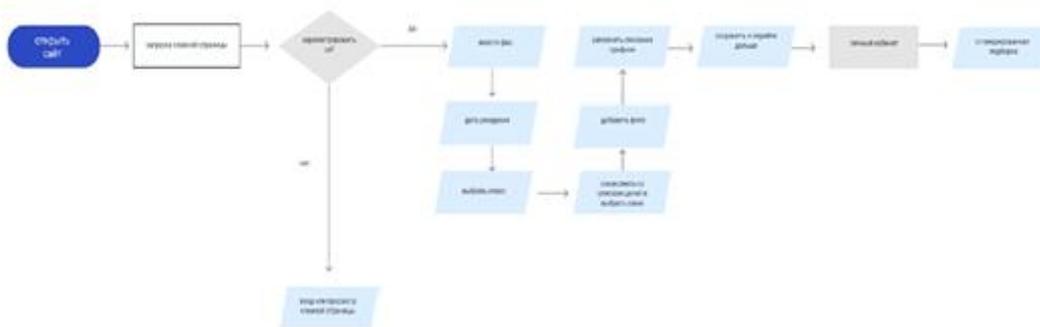


Рис. 3. Путь пользователя

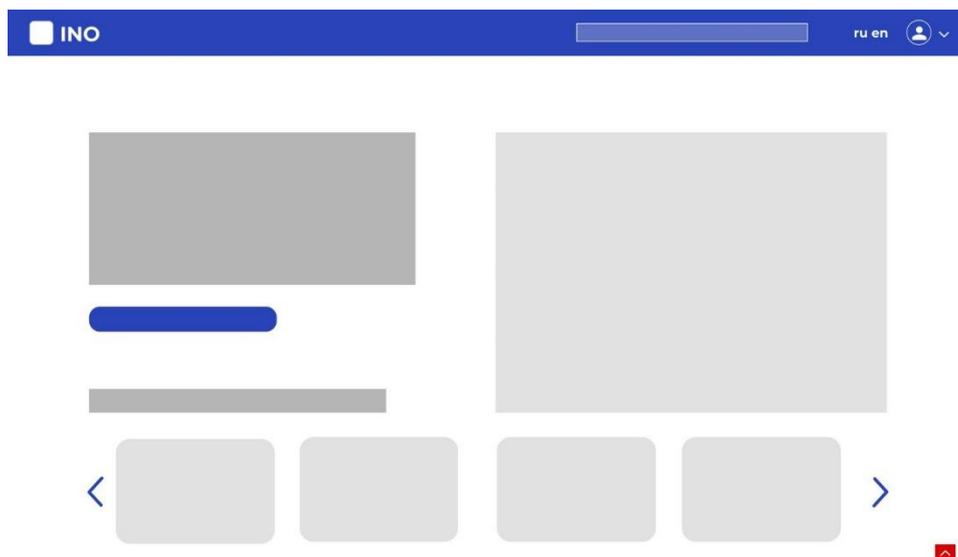


Рис. 4. Разработка макета образовательной площадки



Рис. 5. Пример стартовой страницы

Таким образом, учащиеся, основываясь на выводах, сделанных в ходе проектной деятельности, самостоятельно принимают осознанное решение о выборе будущей профессии. Такой подход позволяет сделать верный выбор профессии в соответствии с выявленными способностями и особенностями характера, что не реализовано в отечественных и зарубежных наборах.

Обучающимся предоставляются профориентационные тесты порционно, которые добавлены в определенные проекты. В конце работы с конструктором учащимся должен быть предоставлен отчет (обратная связь) по профориентации и рекомендации на что необходимо обратить внимание при выборе дальнейшего жизненного пути.

Основываясь на выводах, сделанных в ходе прохождения профориентационных программ DIGITAL HUMAN от МГУ и ИТМО. Профориентация, было принято решение, чтобы обратная связь (результаты профориентационной программы) содержали следующие психологические показатели:

- психологические ресурсы личности;
- выбор профессиональной сферы;
- сильные стороны;

- слабые стороны;
- компетенции;
- интересы личности.

Профориентационные тесты будут реализовываться с помощью известных и чаще всего используемых методиках:

- карта интересов (А.Е. Голомшток);
- методика Л.А. Йовайши;
- личностный опросник (Г. Айзенк, адаптация А.Г. Шмелева);
- опросник профессиональной готовности (в редакции Л.Н. Кабардовой);
- опросник профессиональных предпочтений (Дж. Холланд).

Для дальнейшего внедрения в образовательные учреждения необходимо проработать методическую составляющую. Необходимо разработать подробно прописанные методические указания и инструкции для преподавательского состава, чтобы преподаватели могли грамотно контролировать образовательный процесс и помогать обучающимся получать знания. Роль преподавателя должна заключаться в подстраховке, а не в тотальном контроле. Также преподавателям должна быть предоставлена оценочная таблица, для выставления оценок.

Также необходимо разработать методические рекомендации для самостоятельного пользователя. Должна быть разработана подробная инструкция, чтобы обучающийся как в классе, так и при использовании в домашних условиях самостоятельно мог получать такой же положительный результат от работы с конструктором. Не должно быть заминок и вопросов в самостоятельном изучении, весь материал должен быть понятным и доходчиво изложен.

Существует метод для привлечения большего внимания со стороны пользователей через внедрение соревновательного компонента. Необходимо разработать игровые задания, чтобы поддерживать вовлеченность. Во время занятий в классе будут развиваться коммуникационные навыки и навыки работы в команде. Соревнования могут быть после каждого модуля. Если учащийся занимается самостоятельно, то ему можно предложить соревноваться с героями, которым присвоены метрики. Как пример игрового задания можно предложить, за сколько секунд робот преодолеет расстояние из А в Б.

Литература

1. Войтович И.К. Специфика создания электронных образовательных курсов // Вестник ТГПУ. 2015. № 1(153). С. 138–143.
2. Рогожина Т.С. Методология создания образовательного онлайн-курса: от идеи до воплощения // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 2 (87). С. 90–93.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНКИ ОТЗЫВА О ТОВАРАХ

Чумаков А.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.¹

¹ – Университет ИТМО

email: chumakovalexey@mail.ru

Аннотация

В данной работе решается задача многоклассовой классификации оценки текста отзыва о товарах с помощью использования нейросети. Для этого были собраны и преобразованы данные для обучения. Рассмотрены несколько нейросетевых моделей: многослойный перцептрон, свёрточная нейронная сеть, рекуррентные модели LSTM и GRU, а также методы векторизации TF-IDF, Word2Vec и FastText. В результате построения и сравнения нейросетей, итоговое значение точности лучшей модели составило 90.39%.

Ключевые слова

Классификация текста, нейронная сеть, глубокое обучение, анализ текста, обработка естественного языка.

Миллионы людей по всему миру ежедневно покупают товары на онлайн-платформах от самых маленьких и повседневных вещей по типу еды и бытовых принадлежностей, до крупной техники и даже техники для бизнеса и производства. По данным Data Insight за 2021 год, объём рынка розничной интернет-торговли в России составил 1 700 млн заказов, что в среднем более 4.5 млн заказов ежедневно [1]. Люди, отдавая свои накопленные средства, покупая товар, хотят быть уверенны, что товар удовлетворяет их в факторе цена-качество. Для этого используются отзывы других людей, о желаемом приобретении.

По результатам исследования Data Insight совместно с AliExpress Россия, при онлайн покупках 91% заказов берётся с учётом отзывов о товаре, а для 21% покупок, отзывы играли решающее значение [2]. Отзывы играют большую роль при выборе из многочисленных аналогов, и поскольку их оценка является наиболее быстрым отражением содержания, необходимо чтобы она отражала действительность. Для этой цели предлагается использование нейросетевых моделей. Для этого необходимо собрать отзывы и их оценки, провести необходимую предварительную обработку текста и обучить нейросеть определять поставленную пользователем оценку на основе текста отзыва.

Использование нейросетей для обработки текстов является популярным и востребованным, и привлекает множество исследователей. Рассмотрим существующие решения наиболее близкие к разрабатываемой в статье.

В первой статье [3] рассматривается задача классификации отзывов о ресторанах по 5-балльной шкале. Для решения этой задачи использовались методы векторизации TF-IDF с логистической регрессией и Word2Vec с многослойным перцептронном, достигнув максимальной точности в 61%.

В статье «Анализ тональности коротких текстовых сообщений» [4] анализируется тональность сообщений на русском языке сети Twitter о банках и телекоммуникационных компаниях с экспертной оценкой по тональности (позитивная, негативная или нейтральная). В работе использовались методы векторизации TF-IDF и Bag of words (BoW) для моделей машинного обучения таких как: наивный байесовский классификатор, случайный лес, метод k-ближайших соседей и метод опорных векторов. Для нейросетей многослойный перцептрон (MLP), LSTM и GRU использовался метод векторизации Word2Vec предобученный на данных Ruscorpора и Wiki Ruscorpора.

Лучший результат был у нейросетевой модели GRU и модели представления текста Word2Vec, обученной на корпусе WikiRuscorpora.

В третьей статье «Анализ тональности текстов с использованием нейросетевых моделей» [5] рассматривается несколько типов текстовых данных – это отзывы (положительные и отрицательные), новости (положительные, отрицательные, нейтральные) и сообщения твиттера (положительные и отрицательные). Использовалось обширное количество методов как векторизации так и моделей нейросетей. В добавок к уже упомянутым в прошлых статьях методам векторизации были рассмотрены FastText и GloVe, а из нейросетей также была рассмотрена свёрточная нейронная сеть, но без GRU.

В данной работе будут рассматриваться некоторые из используемых в статьях методы, а именно TF-IDF, Word2Vec и FastText для векторизации и многослойный перцептрон (MLP), свёрточная нейронная сеть (CNN), LSTM и GRU в качестве нейросетей. Классификация будет по 5 классам оценок и в качестве данных отзывы о товарах с онлайн-площадок.

Из-за конкретных требований проекта подразумевается сбор данных с сайтов интернет-магазина. Поскольку в открытых источниках не было найдено готовых датасетов с отзывами о товарах на русском языке, было решено собрать их самостоятельно. После чего необходимо произвести их предобработку (рис. 1).

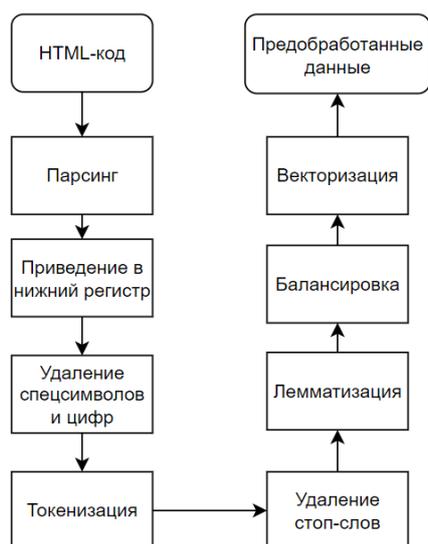


Рис. 1. Схема предобработки данных

Для сбора данных был использован парсинг – синтаксический разбор текста в соответствии с её грамматикой. Например, перед парсингом отправляется запрос на получение нужной страницы (HTML-код), после чего HTML, обладая конкретной структурой можно “разобрать” на составляющие и собрать необходимое.

Для парсинга получаемых данных была выбрана библиотека BeautifulSoup4, которая является одной из самых популярных на данный момент, ввиду своей простоты и покрытия потребностей.

Перед созданием матрицы признаков из отзывов, необходимо несколько операций: удаление стоп-слов (слова, удаление которых из текста не нарушает его смысла), токенизация (разделение отзыва на слова), лемматизация (приведение слов к начальной форме) и удаление пунктуации и цифр.

Наиболее сложная операция на этапе обработки данных это лемматизация. Для применения данной операции была использована одна из самых популярных библиотека для лемматизации русских слов PyMorphy2.

При анализе исходных данных было выявлено, что они являются несбалансированными, что можно увидеть на рисунке 2 распределении оценок отзывов.

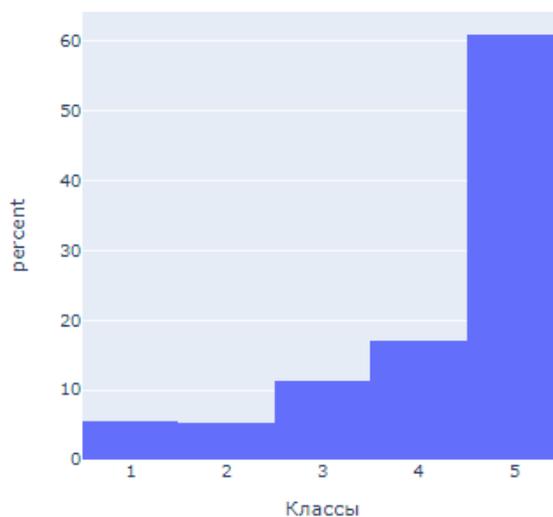


Рис. 2. Несбалансированный датасет

Таким образом, после обучения нейросеть будет стремиться предсказывать наиболее многочисленный класс.

Для решения этой проблемы было использовано 2 стратегии: UnderSampling – стратегия удаление случайных элементов самого многочисленного класса и OverSampling – генерация дополнительных экземпляров класса, с помощью алгоритма SMOTE основанных на непосредственной близости к словам класса в векторном представлении. После балансировки объём выборки составил 33500 значений, равномерно распределённых по всем классам.

На данном этапе у нас уже имеются готовые предобработанные данные и теперь необходимо превратить их в числовой вид для обучения нейронной сети, для этого производится превращение слова в их векторное представление.

Первым методом была использована статистическая мера – TF-IDF (Term Frequency – Inversed Document Frequency) мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов или корпуса. Использовалась реализация TfidfVectorizer из библиотеки scikit-learn.

Вторым подходом был выбран алгоритм построения матрицы признаков Word2Vec. Данный метод обучается на большом объёме текстовых данных и преобразует слова в векторное представление на основе контекстной близости (слова встречающиеся в тексте с одинаковыми словами).

Третий использованный подход FastText продвигает идею встраивания слов в Word2Vec на шаг вперед и изучает представления для символьных n-грамм и для представления слов в виде суммы векторов n-грамм. Для Word2Vec и FastText использовались реализации из библиотеки gensim.

Для проектирования модели использовались востребованные фреймворк машинного обучения tensorflow.

Для решения задачи классификации отзывов по шкале от 1 до 5 с использованием метода векторизации TF-IDF была спроектирована простая нейросеть в виде многослойного перцептрона.

Размерность входного слоя перцептрона определяется из размера матрицы признаков, полученной на этапе векторизации текстов отзывов при помощи статистической меры TF-IDF с выбором токенов, которые встречаются более чем в 0,1% отзывов.

Имеется 3 скрытых слоя имеющих функцию активации ReLu, а внешний слой имеет пять нейронов и функцию активации – Softmax, предназначенную для решения задач классификации. После каждого слоя скрытого слоя модели был добавлен слой Dropout с долей исключения 0.3.

Для построения моделей с использованием метода векторизации слов Word2Vec и FastText использовались модели свёрточной нейронной сети (CNN), рекуррентных нейронных сетей LSTM и GRU.

Размерность входного слоя определяется из выбранной длины токенов текста. Было выбрана длина 120, при которой покрывается 96.33% входных текстов. Далее отзывы токенизируются с помощью Tokenizer из библиотеки keras. После составляется матрица значений для Embedding слоя. В ней сопоставляется индекс слова из токенайзера с полученным вектором признаков из Word2Vec или FastText. Размер Embedding слоя составляют 300×10000 , где 300 – размерность вектора признаков при векторизации методом Word2Vec, 10000 – выбранный размер словаря самых частых слов из словаря Word2Vec.

Для свёрточной нейронной сети после Embedding слоя, идёт одномерный свёрточный слой, который используется для извлечения признаков из последовательности слов. Он состоит из фильтра, который скользит по последовательности слов и вычисляют линейную комбинацию векторных представлений слов, находящихся в области фильтрации. В результате получается матрица признаков, которая представляет собой выходные данные слоя. Размерность выходного слоя 800, размер ядра свёртки 5. Далее идёт слой субдискретизации (maxPooling), который используется для уменьшения размерности карты признаков, полученной на выходе свёрточного слоя. После идут 2 полносвязных слоя.

Далее были испробованы 2 типа рекуррентных сетей LSTM и GRU. В них использовался тот же созданный Embedding слой, после которого соответствующие им рекуррентные слои с количеством внутренних узлов равным 32. Входные данные и их формат остались неизменны.

Для всех моделей использовались распределение тренировочной, валидационной и тестовой выборки в соотношениях 70%, 10% и 20% соответственно. Модели обучалась 10 эпох с размером одной порции данных 20 экземпляров.

В ходе тестирования полученных нейросетевых моделей были использованы метрики accuracy и F1-score. Далее представлена сравнительная таблица с результатами измерения метрик для разных видов нейросетей.

Таблица

Результаты измерения метрик нейросетей

Модель нейросети	Accuracy	F1-score
TF-IDF + NN	0.9015	0.9027
W2V + CNN	0.8911	0.8923
W2V + LSTM	0.8902	0.8913
W2V + GRU	0.8722	0.8740
FastText + CNN	0.8981	0.8994
FastText + LSTM	0.9039	0.9060
FastText + GRU	0.8890	0.8906

Из представленных результатов видно, что наилучший результат показала рекуррентная нейросеть модели LSTM с использованием метода векторизации FastText.

Нейросети с подходом модели GRU показали более низкие результаты по сравнению с LSTM и CNN. Метод векторизации FastText оказался лучше Word2Vec. Также многослойный перцептрон с векторизацией TF-IDF показал небольшое отставание от лучшего результата с FastText и LSTM, поэтому его вполне можно рассматривать как альтернативу.

В данном исследовании было собранно более 21 тысячи отзывов по 4 категориям товаров: мыши/клавиатуры/наушники/мониторы. Для этого была написана программа для парсинга страниц товаров. Собранные данные были предварительно обработаны, токенизированы и приведены в векторную форму методами TF-IDF, Word2Vec и FastText.

Были созданы и протестированы несколько моделей нейросетей, способных выполнять задачу многоклассовой классификации оценки отзывов по 5-балльной шкале. Наилучшей оказалась рекуррентная нейронная сеть LSTM с методом векторизации FastText с точностью предсказания 90.39%. Далее данную модель можно использовать для автоматической постановки оценки отзыва, на основе её содержания, а также в рекомендательной системе для подбора товаров на основе средней оценки предсказаний всех отзывов о товаре.

Литература

1. Использование отзывов при онлайн-покупках. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://datainsight.ru/sites/default/files/DI_Aliexpress_GuidedBuying.pdf (дата обращения: 15.02.2023).
2. Маркетинговое исследование Интернет-торговля в России 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://datainsight.ru/eCommerce_2021 (дата обращения: 16.02.2023).
3. Шлеменков А.А. Сравнение различных подходов к анализу текста на примере задачи предсказания оценки ресторана по отзыву посетителя // BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS. 2017. № 3. С. 298-300.
4. Оглезнева О.В. Анализ тональности коротких текстовых сообщений // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2020. № 2(11). С. 113-118.
5. Ахметгалиев А.И., Гафаров Ф.М., Ситдикова Ф.Б., Анализ тональности текстов с использованием нейросетевых моделей // Наука России: Цели и задачи: Сборник научных трудов по материалам XIV международной научной конференции, Екатеринбург, 10 апреля 2019 года. Том Часть 4. Екатеринбург: НИЦ "Л-Журнал". 2019. С. 33-40.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Басова Т.В.¹ (аспирант)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент факультета «Систем управления
и робототехники» Андреев Ю.С.¹**

1 – Университет ИТМО

e-mail: tvbasova@itmo.ru

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (договор №17984ГУ/2022 от 26.05.2022).

Аннотация

В настоящей работе рассматриваются проблемы информационной обработки данных, касающихся режущего и вспомогательного инструмента. В результате отсутствия унификации представления информации в каталогах производителей, а также неполноты предоставляемых данных предприятия приборостроения и машиностроения нередко встречаются со сложностями при выполнении ключевых задач технологической подготовки производства и изготовления деталей. В качестве перспективного решения указанных проблем была разработана база данных параметров режущего и вспомогательного инструмента. Указанная база данных включает в себя информацию, необходимую для успешного выполнения основных операций работы с режущим и вспомогательным инструментом. Таким образом, данная работа направлена на улучшение процессов технологической подготовки производства и обеспечения эффективности изготовления деталей.

Ключевые слова

Режущий инструмент, база данных, стандартизация, унификация, программирование, САМ-система, ISO 13399.

Процессы технологической подготовки производства, связанные с режущим и вспомогательным инструментом, требуют ручного сбора, обработки и передачи информации об инструментальной настройке и ее компонентах [1]. В настоящее время, данные процессы затруднены в связи с отсутствием единых стандартов по описанию комплектующих инструментальных настроек в каталогах производителей инструмента [2]. Автоматизация перечисленных процессов возможна путем внедрения базы данных, содержащей необходимую информацию о режущем и вспомогательном инструменте. Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы позволяет сделать вывод о том, что разработка базы данных параметров режущего и вспомогательного инструмента, структурированной и заполненной в соответствии с международными стандартами описания данных, является актуальной задачей.

Информация о режущем инструменте играет ключевую роль при САМ-разработке управляющих программ для оборудования с ЧПУ, программировании систем технического диагностирования и контроля инструмента, разработке технологической документации и так далее. При САМ-разработке управляющих программ для оборудования с ЧПУ необходимо представление в САМ-системе действительной инструментальной настройки в виде ее 3D модели. Соответствие конструкторско-технологических параметров 3D модели инструментальной настройки в САМ-системе параметрам действительной инструментальной настройки влияет на достоверность симуляции и верификации САМ-обработки, а также на вывод кода управляющей программы [3].

В области приборостроения и машиностроения широко применяются системы технического диагностирования и контроля инструмента. Для их программирования необходима программа определения геометрических размеров (цикл измерения)

инструмента, значения переменных которой зависят от геометрических параметров инструментальной наладки [4, 5]. Такие задачи как подбор комплектующих инструментальных наладок для разработки технологической документации, программирование оборудования с ЧПУ и систем технического диагностирования и контроля и пр., требуют предварительного сбора и обработки данных о режущем и вспомогательном инструменте из каталогов его производителей.

Современные производители инструмента применяют преимущественно различные информационные стандарты описания своих изделий. Анализ каталогов производителей инструмента нередко выявляет несоответствия в описании одних и также параметров инструмента, а также отсутствие некоторых данных, необходимых для выполнения задач производства. Это требует дополнительного уточнения информации в справочной литературе и непосредственно у поставщика инструмента. В результате, отсутствие информации в унифицированном электронном формате передачи информации приводит к повышению трудоемкости обработки данных, увеличению продолжительности производственного процесса и вероятности некорректного ввода данных в программное обеспечение пользователя. Описанные проблемы могут вызывать ошибки в коде управляющих программ, технологических процессах, комплектации инструментальных наладок и др., что в свою очередь может привести к поломке дорогостоящего режущего инструмента и оборудования, производственным браку и простоям [6, 7].

Автоматизация процессов программирования и подбора режущего инструмента может быть достигнута путем разработки и внедрения базы данных, содержащей необходимую информацию об инструментальных наладках и ее компонентах. Так, например, возможно формирование программы определения геометрических размеров инструмента системами технического диагностирования и контроля за счет считывания значений переменных программ из базы данных режущего и вспомогательного инструмента. С целью разработки базы данных параметров режущего и вспомогательного инструмента, был проведен анализ особенностей программирования систем технического диагностирования и контроля инструмента, представления инструментальных наладок в САМ-системах и технологических процессах, геометрических характеристик режущего инструмента и пр.

В рамках исследования были проанализированы международные стандарты представления информации, такие как DIN 4000, ISO 10303-1, комплекс стандартов ISO 13399 (ГОСТ-Р 54132-2010) и прочие стандарты [8-11]. В результате проведенного анализа были сформированы основные требования по унификации инструмента, а также выбран стандарт, внедрение которого является оптимальным для текущих условий предприятия. Также было отмечено, что предложенные стандарты пригодны для описания обширного количества конструкторско-технологических характеристик объектов, поэтому содержат большой объем параметров. Поскольку замеченная особенность может затруднять унификацию данных в соответствии с предложенными международными стандартами, то для исключения разночтений в описаниях номенклатуры, рекомендуется выполнить дополнительную выборку параметров из стандарта.

С целью определения набора параметров, необходимых для передачи информации об инструменте, был выполнен анализ электронных каталогов в формате GTC (Generic Tool Catalogue) на базе международных стандартов [12]. По результатам выполненного анализа был сформирован универсальный набор параметров для дальнейшего приведения информации об инструменте разных поставщиков к единому виду представления. Выполненный анализ позволил разработать рекомендации по заполнению значений базы данных параметров режущего и вспомогательного инструмента и ведению структуры базы данных.

Также было изучено влияние на действительные размеры обрабатываемых элементов заготовки значений переменных, содержащихся в программах определения геометрических размеров инструмента системами технического диагностирования и контроля, и параметров 3D-моделей инструментальных наладок на действительные размеры обрабатываемых элементов заготовки. В ходе исследования выяснилось, что ошибка в значениях переменной, отвечающей за осевую позицию инструмента при измерении, программы определения геометрических размеров инструмента в 0,1 мм может привести к неисправимому производственному браку изготавливаемых изделий. Данная проблема особенно выражена если контролируемый инструмент обладает сложной геометрической формой. Кроме того, было обнаружено, что значения параметров 3D-модели инструментальной наладки в САМ-системе, используемой для разработки управляющих программ, напрямую влияют на качество изготовления деталей. Несоответствие номинальных (заданных в управляющей программе для оборудования с ЧПУ) и фактических значений параметров режущего инструмента, таких как радиус режущей кромки может вызывать зарезы заготовки.

Для автоматизации заполнения значений базы данных параметров режущего и вспомогательного инструмента были введены расчетные формулы для заполнения полей в базе данных на основании предварительно введенных значений. Таблица содержит некоторые расчетные формулы для присвоения значений переменных (радиальная и осевая позиции для измерения инструмента) программ определения геометрических размеров инструмента с учетом типа инструмента (определяется при помощи класса инструмента в базовой структуре GTC), а также имеющихся параметров описания инструмента по международному стандарту ISO 13399.

Таблица

Фрагмент таблицы с формулами для расчета значений переменных программ определения геометрических размеров инструмента

Тип инструмента	Класс инструмента в базовой структуре GTC/(характерный параметр для инструмента по стандарту ISO 13399)	Формула для вычисления значений переменных, отвечающих за радиальную «PX» и осевую «PZ» позиции для измерения инструмента
Концевая фреза	«MILSQI», «MILSQS» (KAPR=90°)	$PZ = Re^{(KCH)+0,5}$
Гребенчатая резбовая фреза	«MILTHGI», «MILTHGS» (TP≠APMX & THFT=M, Kapr=90°, Cict=1)	$PX = \frac{DC}{2} - Tr$
Монолитное сверло	«DRLIS», «DRLII» (SIG<180°)	$PZ = 0$

В предложенных формулах используется минимально необходимый набор параметров для расчета значений переменных программ определения геометрических размеров инструмента. Благодаря этому, достигается систематизация значений в базе данных параметров режущего и вспомогательного инструмента.

В результате проведенной работы, в программном продукте АСКОН «ПОЛИНОМ:MDM Клиент» была создана база данных параметров режущего и вспомогательного инструмента, включающая около 2000 позиций, представленных согласно международному стандарту ISO 13399 и формату GTC [13]. Параметры инструментов, не входящие в выбранные стандарты, были добавлены в указанную базу данных при помощи имеющегося инструментария программного обеспечения.

Информация из разработанной базы данных была применена для создания управляющих программ и технологических процессов, программирования систем

технического диагностирования и контроля инструмента и т.д. Внедрение стандартизированного представления информации в базе данных привело к повышению эффективности цифрового взаимодействия между различными информационными системами, а также обеспечило возможность свободного импорта электронных каталогов напрямую от производителей инструмента, поддерживающих стандарт ISO 13399 (ГОСТ-Р 54132-2010) и формирующих электронные каталоги в формате GTC .

В результате проведенного исследования были проанализированы комплексы международных стандартов представления данных о режущем и вспомогательном инструменте, а также анализировались электронные каталоги. Выявлен минимально необходимый набор свойств из стандарта представления данных «ISO 13399», необходимый для разработки управляющих программ и выбора режущего инструмента. Созданная база данных параметров режущего и вспомогательного инструмента упрощает обмен информацией об инструментальной наладке на этапах технологической подготовки производства и изготовления деталей.

Использование разработанной базы данных параметров режущего инструмента, созданной в соответствии с предложенными рекомендациями, позволяет значительно расширить возможности автоматизации многочисленных информационных процессов, связанных с режущим инструментом. Такой подход снижает трудозатраты на выполнение этапов технологической подготовки производства и, как следствие, уменьшает общие затраты на изготовление изделий. В результате внедрения созданной базы данных параметров режущего и вспомогательного инструмента в производственные процессы организации, удалось сократить трудозатраты на выбор режущего и вспомогательного инструмента до 70%, а также уменьшить время, затрачиваемое на разработку управляющих программ до 10%. Таким образом, предложенное решение может значительно повысить производительность на предприятиях приборостроения и машиностроения.

Литература

1. Каштальян И.А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением. 2015.
2. Li Y., Huang Q., Hedlind M., Sivard G., Lundgren M., Kjellberg T. Representation and exchange of digital catalogues of cutting tools. International Manufacturing Science and Engineering Conference. 2014. V. 1. P. 108097.
3. Ведмидь П. Мониторинг работы оборудования, инструмента: что дальше? //САПР и графика. 2018. №. 1. С. 31-34.
4. Мартинов Г.М. Система ЧПУ" АксиОМА Контрол": перспективы развития в поле мировых трендов //Вестник МГТУ Станкин. 2018. №. 1. С. 106-110.
5. Мартинова Л.И., Стась А.В. Исследование и разработка автоматического цикла контроля положения заготовок на станках с ЧПУ //Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM–2017). 2017. С. 63-66.
6. Koleva S., Enchev M., Szecsi T. The influence of the mechanical deformations on the machining accuracy of complex profiles on CNC lathes //Procedia engineering. 2015. vol. 132. pp. 521-528.
7. Basova T.V., Andreev Y.S., Basova M.V. The Development of Cutting Tools Active Control Methodology for Numerical Control Milling Machines // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2022. pp. 108–112.
8. ISO 13399-1: 2006 (E), 2006 Cutting tool data representation and exchange – Part 1: Overview, fundamental principles and general information model. Publication date: 2006-02 Technical Committee: ISO/TC 29 Small tools. 284 p.

9. ГОСТ Р 55342-2012/ISO/TS 13399-150:2008 Представление и обмен данными по режущим инструментам. Часть 150. Руководство пользователя. Введен 01.01.2014. – М.: Стандартинформ. 2014. 79 с.
10. ISO13399-60 Cutting tool data representation and exchange – Part 60: Reference dictionary for connection systems. Publication date: 2014-02 Technical Committee: ISO/TC 29 Small tools. 138 p.
11. ISO 10303-1:2021, Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles Publication date: 2021-03 Technical Committee: ISO/TC 184/SC 4 Industrial data. 24 p.
12. Sandvik Coromant Technical White Paper GTC Guidelines Introduction to Generic Tool Classification [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gtc-tools.com/wp-content/uploads/2016/12/GTC-WP-Version-1-White-Paper.pdf> (дата обращения: 12.04.2023).
13. ПОЛИНОМ:MDM Система управления нормативно-справочной информацией промышленного предприятия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ascon.ru/products/polinom-mdm/> (дата обращения: 12.04.2023).

ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лаптев А.А.¹ (аспирант), Третьяков С.Д.¹
Научный руководитель – к.т.н., доцент Третьяков С.Д.¹

1 – Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Повышение эффективности единичного и мелкосерийного производства за счет автоматизации оперативного планирования».

Аннотация

Проведен анализ существующих методов оперативного планирования в рамках единичного и мелкосерийного производства. Определены недостатки применения существующих методов для производств с большой номенклатурой производимых изделий. Предложены дополнения к методам, которые позволят повысить эффективность производства на уровне технологической подготовки предприятия.

Ключевые слова

Оперативное планирование, календарный метод, объемный метод, объемно-календарный метод, динамический метод, единичное производства, технологическая подготовка производства.

В сегодняшние дни 70-80 % изделий машиностроения производится единичными или малыми партиями [1]. На предприятиях единичного и мелкосерийного производства в последнее время развивается тенденция повышения количества производимой номенклатуры изделий, требований к качеству продукции и уменьшению времени на изготовление. В условиях современного рынка рационально использовать комплексную автоматизацию и эффективное оперативное планирование.

Главными отличительными чертами единичного и мелкосерийного производства считается то, что рабочие центры не имеют конкретной специализации, на производстве преобладает универсальная технологическая оснастка и оборудование. Большая часть рабочего персонала имеет высокий уровень квалификации. Нельзя не отметить такие характеристики, как наличие большого объема незавершенного производства и длительный производственный цикл изделий. Так же единичные предприятия характеризуются значительной частью ручных сборочных и доводочных операций, соответственно и высокой трудоемкостью выпускаемой продукции [3-5].

Главной особенностью оперативно-календарного планирования для единичного и мелкосерийного производства является учет каждой стадии производства. Далее представлены стадии производства, которые необходимо учитывать при разработке оперативного плана:

- разработка и согласование конструкции с заказчиком;
- разработка технологического процесса;
- проектирование и изготовление инструмента и технологической оснастки, при необходимости;
- нормирование затрат труда;
- технологический процесс изготовления;
- испытания изделия;
- упаковка выпускаемого изделия.

Оперативно-производственное планирование для единичного и мелкосерийного производства состоит из следующих этапов:

- расчёт производственного цикла;
- построение календарного графика выполнения заказов;
- расчёт времени опережения в работе цехов;

- расчёт загрузки оборудования;
- ежесменный учёт выполнения заказов;
- определение объема незавершенного производства.

Данные операции необходимо выполнять для каждого нового изделия (заказа).

В настоящее время изучены методы оперативного планирования такие как объемный, календарный, объемно-календарный и динамический.

В таблицах 1 и 2 представлено сравнение методов оперативного планирования.

Таблица 1

Анализ объемного и календарного метода

Параметр	Объемный метод	Календарный метод
Назначение	Распределение номенклатуры выпускаемых изделий по планово-учетным промежуткам. Распределение объема выпускаемой продукции по цехам и подразделениям	Определения точных промежутков времени запуска и отгрузки изделий. Определении нормативной длительности технологического производственного цикла и расчета опережений производства конкретных работ относительно отгрузки готовой продукции
Недостатки	Не происходит учет времени задержки поставки ресурсов, учет необходимого количества рабочего персонала. Данный метод используется для распределения годовых объемов производства и продажи продукции предприятия по конкретным подразделениям	Не возможность реализовать равномерную ритмичность производства для единичного и мелкосерийного производства, а это является одним из основных принципов при разработке календарного плана

Таблица 2

Анализ объемно-календарного и динамического метода

Параметр	Объемно-календарный метод	Динамический метод
Назначение	В данном методе определяется количество рабочих часов, которые необходимы для изготовления изделия. Получение трудочасы могут быть использованы, в период от начала выполнения работы и до момента отгрузки изделия. Задача данного метода заключается в взаимном сочетании работ и сроков выполнения заказов с учетом пропускной способности производственных мощностей	Данный метод позволяет управляющему составу производства одновременно учитывать объем, сроки и динамику производства выпускаемой продукции. Полученные данные сравнивают запланированным планом выпуска изделий. Мощность производства используется рациональнее, так как в данном методе применяются приближенные, а не упрощенные законы нормирования хода производства
Недостатки	При использовании объемно-календарного метода планирования создается аналитико-прогнозный объем выпускаемой продукции на конкретный отрезок времени и производится оценка возможности выполнения плана по основным ресурсам. Данный метод сложно использовать в рамках многономенклатурного производства	Данный метод оценивает объемы спроса, производственные мощности и на основе полученных данных создаются планово-организационные основы рационального использования ресурсов на предприятии. Данный метод сложно использовать в рамках многономенклатурного производства из-за невозможности прогнозирования спроса

Данные методы не способны учитывать все особенности мелкосерийного и единичного производства с большой номенклатурой выпускаемых изделий, во время поступающих новых заказов.

В классическом случае на производстве планово-производственный отдел предоставляет механообрабатывающему цеху месячную производственную программу, в которой указана номенклатура выпускаемой продукции и сроки ее изготовления. Цеховое планирование заключается в составлении графика производства продукции с целью обеспечения необходимой загрузки оборудования и выполнения директивных сроков изготовления деталей. Однако при ежедневном поступлении новых заказов в производство, месячная производственная программа подвергается изменению, **не чаще чем раз в сутки.**

В таком случае классические методы оперативного планирования со следующими требованиями к методу планирования:

- максимальный объем выпускаемой продукции;
- минимальная себестоимость единицы изготавливаемой продукции;
- минимальное количество партий деталей, не изготовленных к указанному сроку;
- максимально возможный коэффициент загрузки оборудования;

на предприятиях с ежедневно изменяющейся планами не являются работоспособными.

Метод оперативное планирование должно учитывать запас производственной нагрузки на основании того, что возможно поступление новых заказов, дополнительно система должна заблаговременно выявлять наиболее напряженные («узких») участки в цепочке работ для принятия мер по их устранению («расшитию») [2].

Рассмотрены существующие методы оперативного планирования и проведён анализ возможности их применения в условиях единичного и мелкосерийного производства в условиях.

Литература

1. Исаков И.Н. Особенности оперативного планирования в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства, оснащенного многофункциональным оборудованием // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №8-2. С. 291-298.
2. Чаруйская М.А. Особенности применения на практике методов оперативно-календарного планирования и управления производством // Организатор производства. 2017. Т.25. №2. С. 13-21.
3. Управление производством: планирование и диспетчеризация / Яковлев А.В. М. ООО «1С-Публишинг». 2018. 219 с.: ил. (1С:Академия ERP).
4. Дунаев Д.Н. Сущность и содержание процесса объемно-календарного планирования // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2013. №20. С. 160-165.
5. Ершова И.В. Оперативно-производственное планирование / Ершова И.В. Екатеринбург : Издательство Уральского университета. 2016. 100 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ ADONIS

Левин Ф.Н.¹ (магистрант), Герасимов Е.Е.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Помпеев К.П.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: phill@levin.tk

Аннотация

В работе рассмотрено применение системы имитационного моделирования бизнес-процессов Adonis для совершенствования процесса конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), оценки его эффективности за счет использования программного обеспечения Лоцман:PLM и Полином:MDM на его этапах, которые позволяют сократить временные затраты на разработку новых изделий и технологий их изготовления.

Ключевые слова

Конструкторско-технологическая подготовка производства, имитационное моделирование, бизнес-процесс, нормативно-справочная информация, оценка эффективности КТПП.

Конструкторско-технологическая подготовка производства – это процесс, связанный с разработкой новых изделий и технологий их изготовления. Ее эффективность определяется способностью предприятия реализовывать этот процесс при условии снижения временных затрат на принятие необходимых решений в ходе КТПП.

Важными элементами эффективной КТПП являются правильный выбор материалов, оптимальное проектирование изделий и входящих в них деталей, а также разработка рациональных технологических процессов их изготовления и методов контроля качества продукции.

Оценка эффективности автоматизированной КТПП от внедрения указанных систем проводилась в программе Adonis.

При проведении сравнительного анализа большое значение имеет моделирование конструкторско-технологической подготовки производства. В данной работе использовалась система имитационного моделирования бизнес-процессов Adonis [1].

Система имитационного моделирования бизнес-процессов Adonis представляет собой мощную систему моделирования процессов, которая обладает широким спектром функциональных возможностей, включая анализ и оптимизацию процессов, управление проектами и задачами, а также отслеживание метрик производительности. Ее использование может помочь повысить эффективность конструкторско-технологической подготовки производства и снизить вероятность ошибок при проектировании.

Для оценки эффективности бизнес-процесса КТПП в системе Adonis требуется создание его функциональной, информационной и организационной моделей.

Организационная модель (см. рис. 1) рабочей среды может состоять из нескольких независимых частей, отображающих работу различных отделов компании. На диаграмме обязательно должны быть указаны департамент, служащие и их роли (специализация сотрудников).

Информационная модель (см. рис. 2) представляет собой перечень документов. Данная модель должна содержать все документы, используемые и создаваемые в ходе выполнения моделируемого бизнес-процесса.

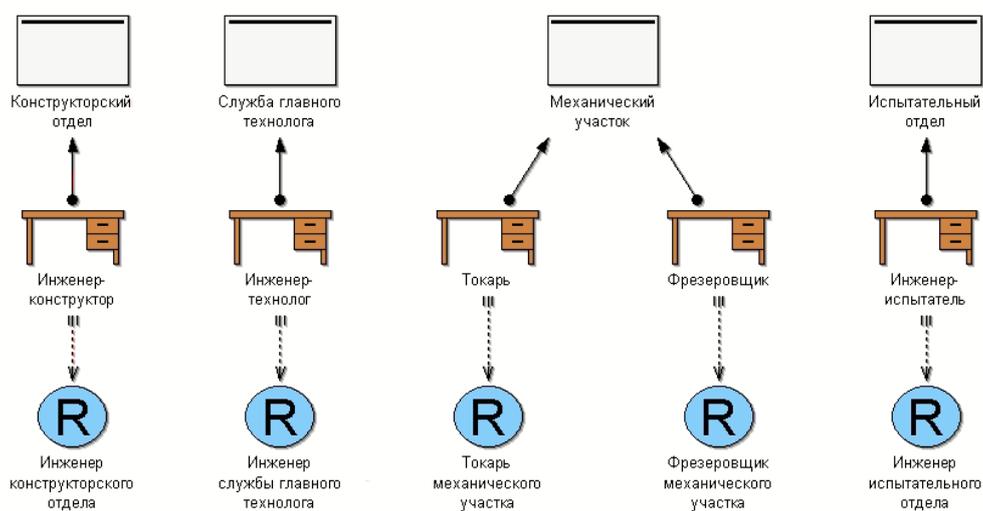


Рис. 1. Организационная модель бизнес-процесса КТПП

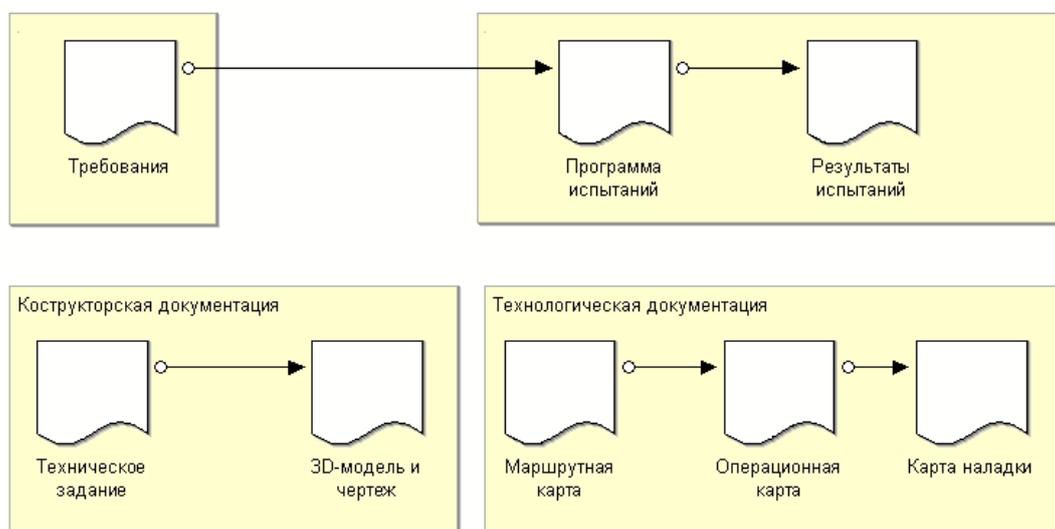


Рис. 2. Информационная модель бизнес-процесса КТПП

Функциональная модель (см. рис. 3) описывает совокупность функциональных подсистем и связей, отражающих порядок взаимодействия подсистем при функционировании компании или ее подразделений.

Процесс КТПП включает в себя следующие этапы:

1. Определение требований к детали на основе требований к изделию.
2. Разработка КД.
3. Разработка ТП изготовления детали.
4. Разработка УП и наладка оборудования.
5. Проведение испытаний.

По результатам испытаний определяется готовность детали к запуску в производство либо же требуется изменение конструкции детали или ее переработка. Если требуется переработка конструкции, то осуществляется возврат к разработке КД, иначе вносятся изменения в КД и дорабатывается ТД.

Переход в условных блоках по одному из путей (по ответу «да» или «нет») определяется той или иной вероятностью. Значения вероятностей перехода получены на основе экспертных оценок. Экспертами выступали наиболее квалифицированные и опытные в области КТПП специалисты предприятия.

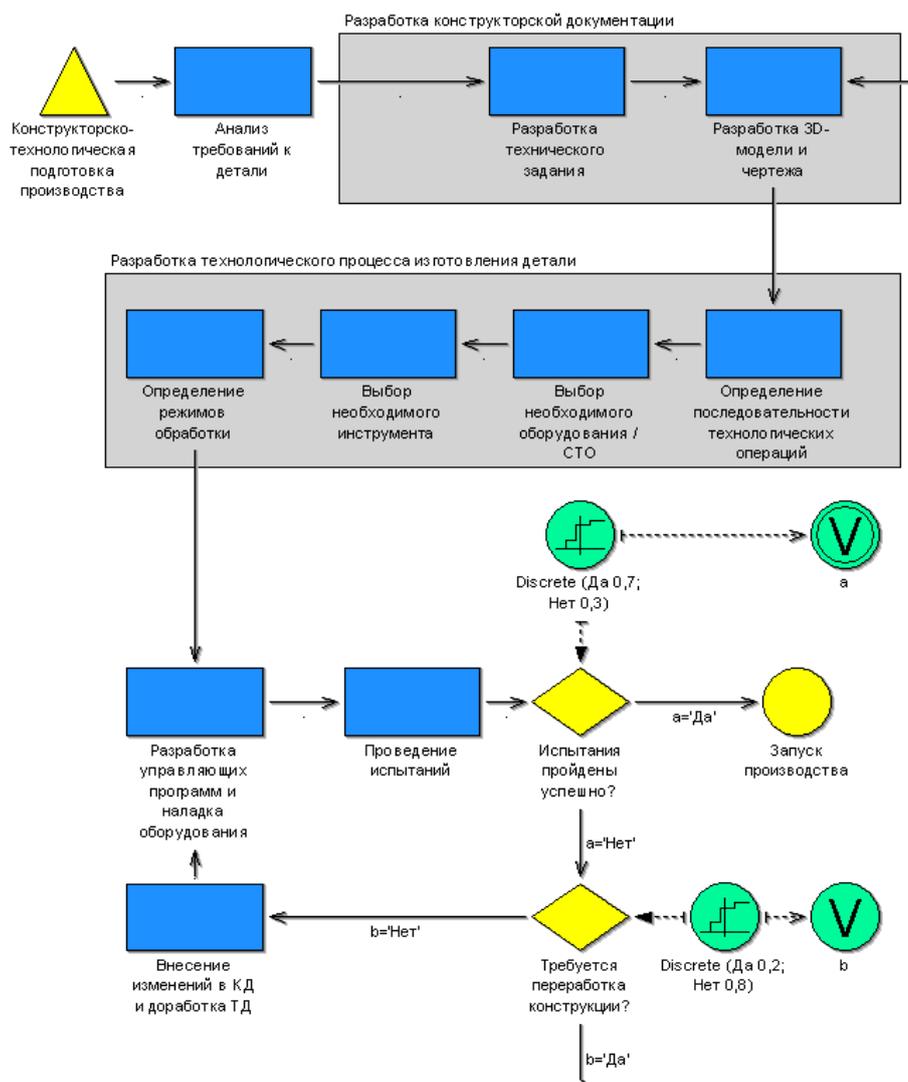


Рис. 3. Функциональная модель бизнес-процесса КТПП

Использование модуля «Управление требованиями» позволяет сократить время на разработку ТЗ, за счет быстрого доступа к необходимым требованиям.

На этапе проектирования детали использование ПО Полином:MDM позволяет сократить время за счет применения конструктивных элементов в ходе разработки ее конструкции [2].

На этапе разработки ТП изготовления детали для упрощения процедуры создания нового ТП можно использовать предоставляемый в ПО Лоцман:PLM поиск по имеющимся аналогам изделий (либо деталей) и связанных с ними технологиями [3].

Использование ПО Полином:MDM при разработке технологического процесса изготовления деталей позволяет сократить время на его разработку благодаря применению содержащейся в Полином:MDM нормативно-справочной информации об имеющемся оборудовании, инструменте, станочной оснастке и специальных приспособлениях. При добавлении операции в разрабатываемый ТП изготовления детали автоматически предоставляется возможность выбора того оборудования, которое может на ней использоваться. У каждого оборудования имеются атрибуты, благодаря которым быстро определяется возможность выполнения той или иной операции. Это позволяет технологу сократить вероятность ошибочного выбора.

После выбора оборудования автоматически предоставляется возможность выбора используемой на нем станочной оснастки и специальных приспособлений. При

добавлении операционного перехода также автоматически предоставляется доступ к выбору инструмента, атрибуты которого позволяют определить возможность выполнения им этого перехода.

Атрибуты инструмента также содержат рекомендуемые и выявленные во время его работы режимы резания, что позволяет сократить время на поиск и расчет необходимых режимов в каталогах и справочниках, а также время на наладку станка.

На этапе разработки УП и наладки оборудования также можно использовать поиск по аналогам, упрощающий разработку новых УП для изготовления простых по конструкции деталей.

Исходное время бизнес-процесса (см. рис. 4) – 13 дней, 3 часа, 45 минут. Время выполнения с использованием ПО Лоцман:PLM и Полином:MDM (см. рис. 5) – 8 дней, 2 часа, 15 минут.

	Expected value
Execution time	00:013:03:45:00
Waiting time	00:000:00:00:00
Resting time	00:000:00:00:00
Transport time	00:000:00:00:00
Cycle time	00:013:03:45:00
Costs	0

Рис. 4. Исходное время выполнения

	Expected value
Execution time	00:008:02:15:00
Waiting time	00:000:00:00:00
Resting time	00:000:00:00:00
Transport time	00:000:00:00:00
Cycle time	00:008:02:15:00
Costs	0

Рис. 5. Время выполнения с применением ПО Лоцман:PLM и Полином:MDM

Результаты имитационного моделирования в программе Adonis по критерию сокращения времени проведения КТПП показали, что предлагаемое внедрение систем управления жизненным циклом изделий Лоцман:PLM и нормативно-справочной информацией Полином:MDM позволит повысить эффективность этой подготовки приблизительно на 40%.

Литература

1. Яблочников Е.И., Молочник В.И., Фомина Ю.Н. Реинжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства / Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО. 2008. 152 с.
2. ПОЛИНОМ:MDM: Руководство пользователя. АСКОН. 2020. 593 с.
3. ЛОЦМАН:PLM: Руководство пользователя. АСКОН. 2020. 709 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ В РАЗРЕЗЕ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

Пономаренко М.В.¹ (аспирант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Андреев Ю.С.¹

¹ – Университет ИТМО

E-mail: ponomarenko.mx@gmail.com

Аннотация

В работе рассмотрено взаимодействие систем различных классов для задач управления жизненным циклом изделия с точки зрения передачи данных от этапа формирования требований до момента изготовления. В работе рассматриваются различные пользовательские сценарии с целью определения оптимальной архитектуры предлагаемого комплексного решения управления производственными процессами с учетом задач импортозамещения, включают системы CAD, CAE, CAM, PLM, MDM, MES, CAPP, ERP с выделением связующего элемента. Предложена и описана архитектура такого решения.

Ключевые слова

Автоматизированные системы управления производством, жизненный цикл изделия, управление, конструкторско-технологическая подготовка производства, автоматизация, MES, MOM.

При рассмотрении автоматизированных систем управления в разрезе жизненного цикла изделия важно учитывать структуру и связи между различными системами. Согласно классификации ISA-95 выделяют несколько классов систем таких как MES (Manufacturing Execution System), ERP (Enterprise Resource Planning), SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [1]. В отдельных источниках выделяется класс систем MOM (Manufacturing Operations Management), которые включают в себя системы APS (Advanced Planning and Scheduling, QS (Quality System) и MES [2]. В различных источниках, например, в учебном пособии Рогозова Ю.И. «Архитектура информационных систем» рассматривается система управления производством в разрезе жизненного цикла изделия [3]. Взаимодействие систем различных классов является крайне важным аспектом на пути к решению большого спектра задач, в частности создания системы управления умных фабрик. В рамках работы были рассмотрены различные пользовательские сценарии выполнения различных бизнес-процессов, характерные для машиностроительных и приборостроительных производств дискретного типа. Сценарии выбирались исходя из практической значимости для отечественных предприятий, а также возможности реализации за счет имеющихся программных продуктов отечественных разработчиков программного обеспечения.

На этапе изучения указанных выше задач были выделены следующие ключевые пользовательские сценарии:

1. Управление жизненным циклом инструмента (рис. 1).
2. Создание управляющей программы технологом СЧПУ (станков с числовым программным управлением).
3. Прохождение заказа клиента в MES системе.
4. Сценарий взаимодействия систем MES и ERP.
5. Сценарий работы с системой класса ТООР (техническое обслуживание и ремонт).
6. Связь данных из системы мониторинга оборудования и MES системы.
7. Управление процессом заготовительного производства.

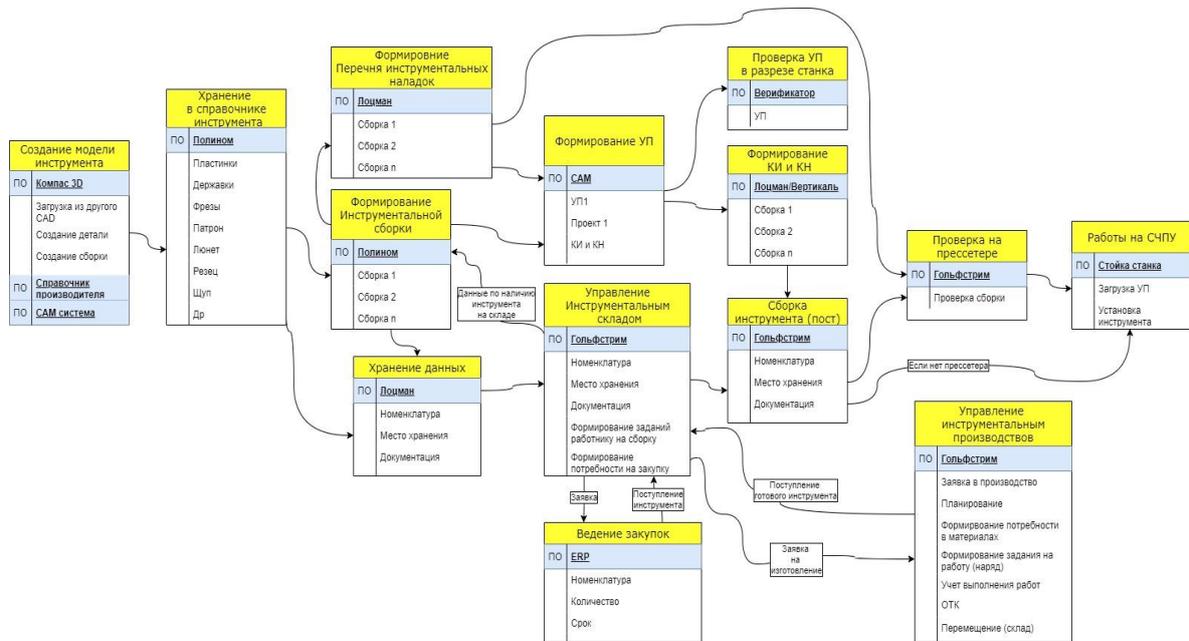


Рис. 1. Управление жизненным циклом инструмента

На рисунке 1 представлено графическое отображение сценария управления жизненным циклом инструмента, где решаются задачи сокращения простоев металлорежущего оборудования за счёт оптимизации процессов подготовки инструмента и оснастки. Целями такой системы являются:

1. Прозрачный учёта инструмента между подразделениями предприятия и контроля статуса инструмента, оснастки.
2. Исключение возможности оператора выбирать компоненты инструмента.
3. Заблаговременной подготовки инструмента и оснастки на операцию.

На рисунке 2 представлено графическое отображение сценария процесса создания УП (управляющей программы) для СЧПУ.



Рис. 2. Поток данных при создании УП

производства. Важно учитывать возможность изменения в процессе производства, а именно, возможность изменения в составе оборудования (выход из строя, кооперация и др.), заготовки, исполнителя. Таким образом, производственная спецификация должна иметь не только возможность динамического изменения, но и прямую связь с процессами производства. На рисунке 4 показана верхнеуровневая архитектура взаимодействия систем класса различных классов.

CAD/PLM/MES/

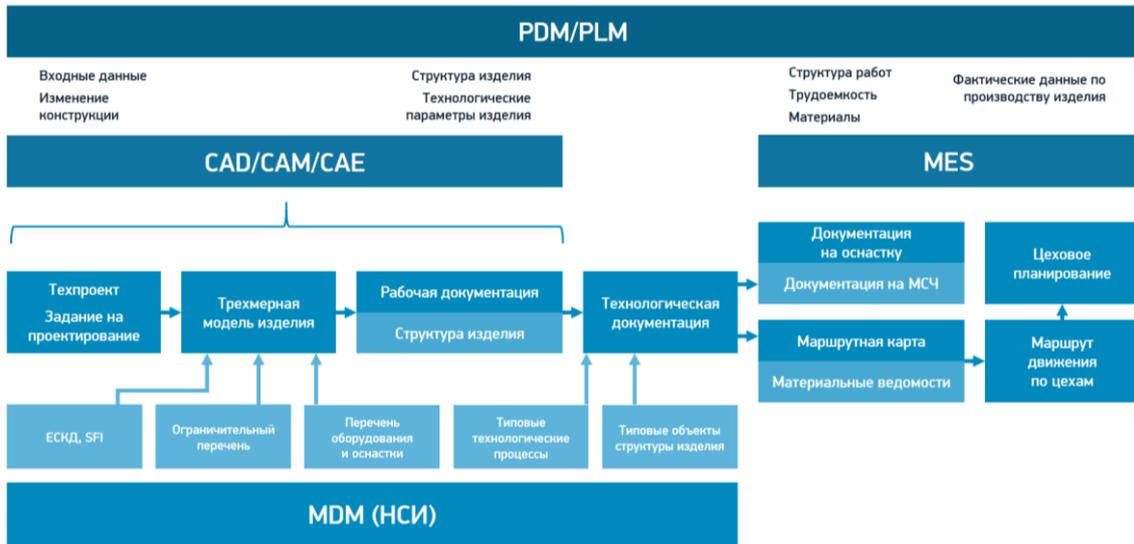


Рис. 4. Архитектура взаимодействия систем

Ключевой особенностью указанной архитектуры является то, что процессы производства под управлением MES системы находятся также в контуре PLM системы.

Одновременно с потоками данных между системами, рассмотрены потоки данных в сложных сетях, которые могут быть в предприятиях распределенного типа. На рисунке 5 представлен вариант потока данных.

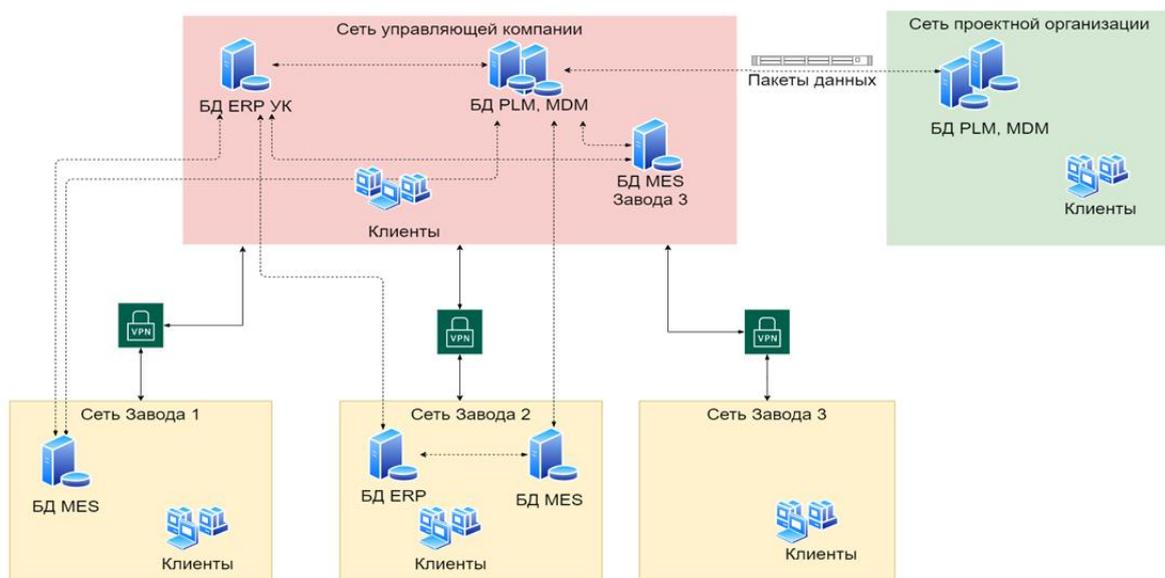


Рис. 5. Поток данных в сложных сетях

На схеме графически отображены различные конфигурации производственных площадок, которые могут иметь или не иметь БД (базы данных) PLM, MES и ERP систем, клиенты. Рассмотрены разные варианты подключения.

На основе вышеописанных пользовательских сценариев предлагается архитектура комплексного решения, включающего PLM, объединяющую такие системы как CAD, CAM, MES, MDM, CAPP, IoT и другие. Данная схема представлена на рисунке 6.

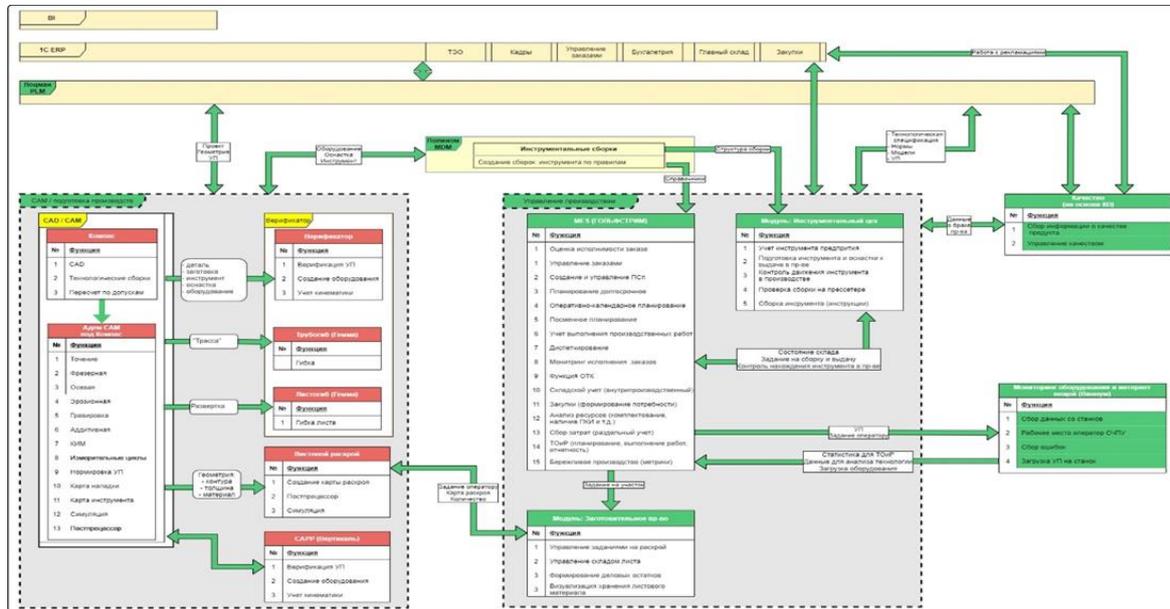


Рис. 6. Архитектура предлагаемого решения

Разработанная схема представляет собой несколько ключевых блоков, которые подробно описаны были в сценариях, а именно, подготовка производства в части создания УП, а также управление производственными процессами. Также предложен механизм взаимодействия с системой мониторинга оборудования на основе трёх уровневнного сценария. Схема описывает связь программных продуктов группы компаний АСКОН и консорциума «Развитие», а также решения от 1С и программного продукта Winnum.

В результате проведенной работы предложена архитектура комплексного решения. Отдельно сформирован список интеграционных связей, которые требуется доопределить и проработать с точки зрения оптимальности бизнес-процессов. Сформулированы требования для формирования технического задания, часть из которых получили возможность апробации непосредственно у разработчика программного обеспечения.

Литература

1. ANSI/ISA-95.00.01-2000 Enterprise-Control System Integration. P. 1: Models and Terminology. http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Shop_ISA&Template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&Productid=2612 (17.03.2023).
2. ГОСТ Р МЭК 62264-1-2013. Национальный стандарт Российской Федерации интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология. Введен 26.11.2014. М.: Стандартинформ. 2016. 32 с.
3. Рогозов Ю.И., Свиридов А.С., Кучеров С.А. Архитектура информационных систем: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. 2014. 117 с.
4. Загидуллин Р.Р. Планирование машиностроительного производства: учебник. Старый Оскол: ТНТ. 2015. 392 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Ремизов Б.К.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Третьяков С.Д.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: boris.remizow@gmail.com

Аннотация

В работе рассматриваются принципы работы технологии граничных вычислений в системах промышленного интернета вещей. Предлагается способ реализации технологии граничных вычислений в системе промышленного интернета вещей при помощи программы Eclipse ioFog, рассматриваются основные понятия, необходимые для работы с программой, и создается модель работы системы промышленного интернета вещей на основе технологии граничных вычислений.

Ключевые слова

Industrial Internet of Things, ПоТ, промышленный интернет вещей, обработка данных, Edge Computing, граничные вычисления, Eclipse ioFog.

Промышленный интернет вещей представляет собой объединенную автономную систему подключенных промышленных объектов, соединенных с различными датчиками и программным обеспечением, осуществляющим сбор и обмен данными, поступающими в систему.

Структуру интернета вещей можно разделить на три основных уровня: уровень датчиков и сенсоров, собирающих информацию на местах, граничный уровень, состоящий из различных контроллеров и маршрутизаторов, агрегирующий и пересылающий эту информацию, а также облачный уровень, на котором данная информация непосредственно обрабатывается и анализируется для дальнейшего использования.

Среди главных проблем, свойственных современным системам интернета вещей, работающим на основе технологии облачных вычислений, можно выделить следующие: замедления в обработке информации вследствие необходимости пересылать собираемые данные на облачный уровень; поддержания бесперебойного соединения с облачным сервером для избежания утери данных; проблемы с безопасностью данных при обработке хранения в облачном уровне [1]. Описанные проблемы, предполагается, может решить технология граничных вычислений.

Главными принципами технологии граничных вычислений выделяют возможность вычисления и хранения части данных на граничном уровне сети, т.е. граничных вычислительных узлах. Результатом внедрения данной технологии в системы промышленного интернета вещей предполагается уменьшение задержек при передаче данных во время работы системы; снижение эксплуатационных расходов вследствие снижения потребности в вычислительных мощностях облачного сервера; устойчивость к проблемам со связью граничных узлов с облачным сервером, а также улучшение защиты конфиденциальности данных за счет переноса обработки критических данных на граничный уровень [2].

В рамках данной работы рассматривается платформа для построения системы граничных вычислений с открытым кодом Eclipse ioFog. Особенностью данной платформы является её доступность и масштабируемость под нужды конкретного предприятия. Главными компонентами системы Eclipse ioFog можно выделить микросервисы, агенты и контроллеры. Все компоненты существуют в системе как

контейнеры платформы Docker, что позволяет разворачивать компоненты системы граничных вычислений в любой Linux-системе.

Микросервисы представляют из себя главную функциональную часть системы. Они являются независимыми фрагментами программного кода, отвечающие за конкретные операции. Между микросервисами могут быть построенные информационные связи для обмена данными: для этого в рамках написания кода для развертывания микросервисов необходимо дополнительно прописать связи между какими микросервисами необходимы, после чего оператор маршрутизации ioFog реализует их.

Компонент системы ioFog “агент” отвечает за то, чтобы развернуть в рамках конкретного граничного устройства необходимые ему микросервисы. Для работы с агентами и их контроля используется компонент “контроллер”. Обычно для локально развернутой системы достаточно одного контроллера.

Минимальные системные требования для контроллера: оперативная память – минимум 1 ГБ; жесткий диск – не менее 5 ГБ; поддержка операционной системы – Linux версии 3.10 или более поздней, macOS 10.12 или более поздней версии, Windows 7 или более позднее версии; поддержка Node.js 8 или более поздней версии.

Минимальные системные требования для агента: оперативная память – минимум 256 МБ; жесткий диск - не менее 100 МБ; поддержка операционной системы Linux версии 3.10 или более поздней; среда для выполнения Java версии 8.0.0 или более поздней; Docker версии 1.10 или более поздней.

Работа с системой граничных вычислений ioFog через контроллер осуществляется с помощью инструмента ioFogctl, который позволяет устанавливать, редактировать, удалять компоненты сети, а также содержит в себе информацию о существующих библиотеках программы.

Библиотека платформы ioFog содержит в себе шаблоны микросервиса развертывания простого веб-сервера для проверки работы системы; микросервиса, соединяющего с онлайн сервисом Open Weather Map, представляющим данные о текущей погоде; настраиваемого микросервиса для вывода данных в формате JSON; простой преобразователь формата температуры; симулятор датчиков влажности, температуры и сейсмической активности; микросервис, собирающий логи данных с устройств [3].

На основе представленных базовых компонентов системы была создана модель работы системы интернета вещей, осуществляющая обработку данных с последующим выводом на локальный сервер визуализированной информации об обработанных данных в режиме реального времени.

Для развертывания данной системы необходимо создать файл формата YAML, содержащий команды для развертывания контроллера, агента и микросервисов данной системы.

Первым этапом развертывания системы необходимо указать параметры контроллера, к которому позднее будет подключаться агент системы. Для этого необходимо указать версию программы, с которой должен быть совместим контроллер, задать его название в системе, а затем указать данные входные пользователя, работающего в системе, после чего задать образ Docker для данного контроллера.

Следующим этапом развертывания системы является указание агента системы. По содержанию прописываемых параметров он совпадает с контроллером, за исключением отсутствия необходимости указания пользователя системы. Связь между устанавливаемым агентом и контроллером будет установлена автоматически при развертывании. Код развертывания контроллера и агента системы представлен на рисунке 1.

```
rbc@WIN-4DRFMN2SR5D:~$ echo "---
> apiVersion: iofog.org/v2
> kind: LocalControlPlane
> metadata:
>   name: ecn
> spec:
>   iofogUser:
>     name: iofog
>     surname: user
>     email: boris.remizow@gmail.com
>     password: 12345
>   controller:
>     container:
>       image: iofog/controller:2.0.1
> ---
> apiVersion: iofog.org/v2
> kind: LocalAgent
> metadata:
>   name: local-agent
> spec:
>   container:
>     image: iofog/agent:2.0.2
> " > /tmp/start-ecn.yaml
```

Рис. 1. Программный код для развертывания агента и контроллера

Для того, чтобы созданная система выполняла какие-либо команды, к созданному агенту необходимо подключить микросервисы.

Развертывание микросервисов включает в себя указание названия микросервиса, его роли в системе, его образа Docker, который может как быть взят из библиотеки шаблонов микросервисов, так и создан с помощью программы Node.js на основе загружаемой библиотеки ioFog. В зависимости от содержания программного кода микросервисов в их параметрах при развертывании также необходимо указать входные данные, требуемые программой. В случае развертывания нескольких микросервисов в рамках одного приложения, которые должны производить между собой обмен данными, необходимо указать связи эти микросервисов в конце программного кода. Программный код развертывания двух связанных микросервисов системы представлен на рисунке 2.

```
microservices:
- name: Sensors
  agent:
    name: local-agent
  config: {}
  images:
    x86: iofog/sensors:latest
  registry: remote
  container:
    volumes: []
    ports: []
    env: []
- name: Rest API
  agent:
    name: local-agent
  config: {}
  images:
    x86: iofog/freeboard-api:latest
  registry: remote
  container:
    volumes: []
    ports:
      - internal: 80
        external: 10101
    env: []
  routes:
  - from: Sensors
    to: Rest API
    name: sensor-to-rest
```

Рис. 2. Программный код для развертывания микросервисов с указанием их связей

В рамках представленной системы было развернуто приложение, которое генерирует информацию с датчиков, передает её на локальный адрес в виде файла формата JSON, а также создает визуализацию изменения поступающих данных в реальном времени. Результат работы данной системы представлен на рисунке 3.

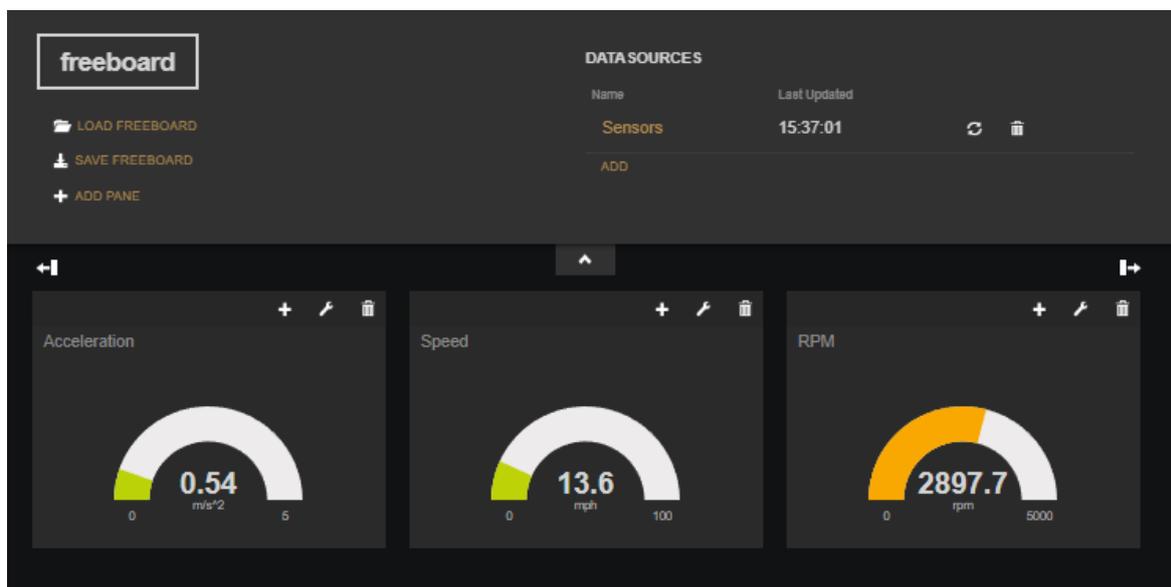


Рис. 3. Визуализация данных с датчиков на локальном сервере

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный способ реализации технологии граничных вычислений может представлять интерес за счет своей простоты и легкодоступности, а также возможности использовать его на любом устройстве соответствующим базовым техническим требованиям. Благодаря своим особенностям данное решение может позволить осуществлять масштабирование под условия конкретного предприятия и использовать представленную технологию на предприятиях, интегрирующих в свою работу технологию интернета вещей с целью ускорения обработки данных и создания более безопасных условий для работы с критически важными потоками данных путем их обработки на локальном уровне.

Литература

1. Концепция независимой инфраструктуры для IoT системы на основе mesh сети. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/532422/> (дата обращения: 22.03.2023).
2. Fazeldehkordi Elahe & Grønli Tor-Morten. (2022). A Survey of Security Architectures for Edge Computing-Based IoT. IoT. 3. 332-365. 10.3390/iot3030019.
3. ioFog. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iofog.org> (дата обращения: 10.02.2023).

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ И КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ**

УЛУЧШЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Бондаренко М.И.¹ (аспирант)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Платунов А.Е.

1 – Университет ИТМО

email: bondarenko-m-i@yandex.ru

Аннотация

В данном исследовании рассматривается схема маршрутизации с учетом перегрузки для систем типа сеть на кристалле, позволяющая снижать задержки и повышать эффективность системы. Проанализированы преимущества и недостатки исследуемого алгоритма и предложены потенциальные улучшения для повышения его производительности, адаптивности и применимости в современных интегральных схемах.

Ключевые слова

Сети на кристалле, интегральные схемы, маршрутизация с учетом перегрузки, эффективность сети, отказоустойчивая маршрутизация, маршрутизация на основе машинного обучения.

Сети на Кристалле (СенК) являются масштабируемой и эффективной коммуникационной инфраструктурой для соединения различных компонентов внутри кристалла интегральной схемы. Несмотря на схожесть сетей на кристалле с другими типами сетей (например, с компьютерными сетями) у них существуют ключевые отличия, которые диктуют проектные ограничения и цели оптимизации. СенК ограничены одной интегральной схемой с фиксированными пространственными размерами. Они представляют собой однородную среду, так как все компоненты разрабатываются и производятся вместе, и имеют статическую топологию, поскольку IP-ядра, маршрутизаторы и каналы фиксируются на этапе проектирования.

Конструктивные ограничения для СенК определяют необходимость снижения энергопотребления из-за ограничений по тепловыделению и емкости аккумулятора устройства, а также заставляют сокращать аппаратные затраты на организацию сети из-за ограниченной площади чипа и требования минимизации задержек для высокопроизводительных систем.

Оптимизация алгоритмов маршрутизации для СенК может включать в себя минимизацию количества переходов между узлами, уменьшение задержки связи за счет выбора оптимальных путей и механизмов маршрутизации. Кроме того, должны быть учтены вышеописанные конструктивные ограничения.

По мере роста числа компонентов и их взаимосвязанности управление связью между ними становится серьезной проблемой. Одной из основных проблем при проектировании СенК является эффективное распределение трафика во избежание перегрузки, которая может привести к снижению производительности системы, высокой задержке и даже системным сбоям.

Маршрутизация с учетом перегрузки играет решающую роль в обеспечении эффективной и надежной связи внутри СенК. Адаптивно выбирая наименее загруженные пути, алгоритмы маршрутизации с учетом перегрузки могут помочь сбалансировать нагрузку трафика, минимизировать задержки и повысить общую производительность системы. Более того, эти алгоритмы также могут предотвращать появление сильно перегруженных регионов, которые могут привести к потенциальным узким местам. Таким образом, разработка передовых схем маршрутизации с учетом перегрузки необходима для решения проблем, связанных с растущей сложностью и масштабом современных СенК.

The Path-Aware Routing Scheme (PARS) – схема маршрутизации с учетом перегрузки, описанная в работе [1] – это алгоритм маршрутизации, предназначенный для оптимизации маршрутизации пакетов в системах типа СенК путем учета информации о перегрузке определенных маршрутизаторов. Алгоритм помогает повысить общую эффективность сети и уменьшить задержку.

Основная идея – сосредоточиться на маршрутизаторах с более высокой степенью адаптивности. Адаптивность – это метрика, которая измеряет количество возможных минимальных путей между исходным и конечным узлами. Маршрутизаторы с более высокой степенью адаптивности более влиятельны, так как через них проходит много пакетов. Таким образом, информация о перегрузке для этих маршрутизаторов более ценна для принятия решений о маршрутизации.

Чтобы использовать эту информацию о перегрузке, PARS создает Congestion Aware Subnetwork (CAS) – подсеть, которая записывает состояние перегрузки маршрутизаторов с высокой степенью адаптивности. CAS состоит из четырех двухбитных регистров в каждом маршрутизаторе, представляющих состояния перегрузки в четырех направлениях: северо-восток, северо-запад, юго-восток и юго-запад. Первый бит каждого регистра вычисляется с помощью логических элементов ИЛИ и И, а второй бит перемещается от предыдущего маршрутизатора в соответствующем направлении. Схема маршрутизации с учетом перегрузки в сети ориентированная на маршрутизатор №12 показана на рисунке 1.

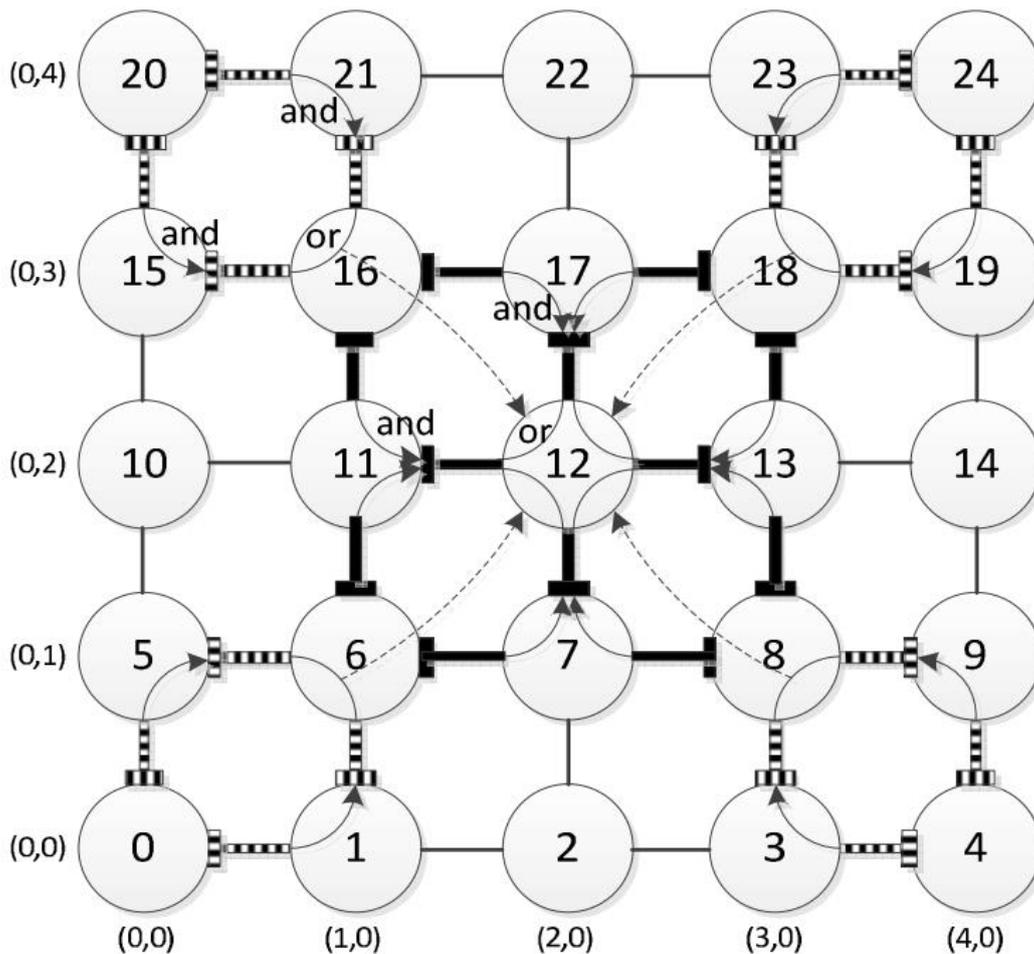


Рис. 1. Маршрутизация в сети с учетом перегрузки [1]

Когда новый пакет поступает на маршрутизатор, PARS сравнивает состояния перегрузки локального маршрутизатора и двух соседних маршрутизаторов с наивысшей адаптивностью, чтобы определить наилучший путь для пакета. Алгоритм учитывает старший бит значения перегрузки двух соседних маршрутизаторов и младшие два бита значения распространения перегрузки этих маршрутизаторов.

Для обеспечения лучшей производительности, адаптивности и применимости для широкого спектра конструкций и приложений сетей на кристалле, в рассматриваемую схему маршрутизации могут быть включены различные улучшения.

Например, с бурным развитием технологий машинного обучения и нейросетей, расширяется и сфера их применения. Маршрутизация на основе машинного обучения может быть использована для прогнозирования перегрузок на основе исторических данных и состояния сети. Затем прогнозы можно использовать для улучшения решений по маршрутизации. Изучая сетевую среду, алгоритм маршрутизации может постоянно улучшать свои решения и производительность. На рисунке 2 показан пример такой схемы. Для каждого маршрутизатора (R – Router) добавлены модули, собирающие историю для алгоритма машинного обучения (MLH – Machine Learning History), а также модули, позволяющие настраивать маршрутизатор (MLS – Machine Learning Setup) на основе результата, полученного из модуля обработки алгоритмов машинного обучения (MLCU – Machine Learning Computing Unit).

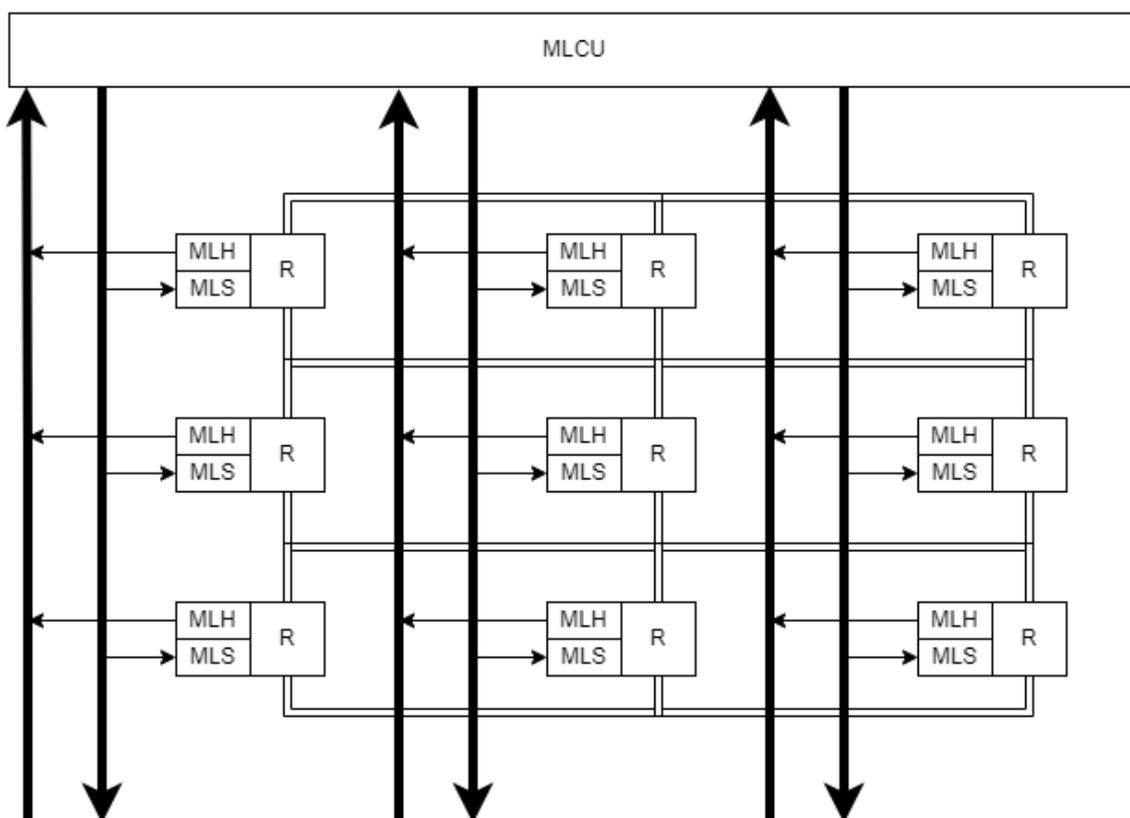


Рис. 2. Маршрутизация на основе машинного обучения

Также можно предложить другие улучшения алгоритма PARS:

- динамический выбор CAS – ранжирование маршрутизаторов и внедрение механизма, который постоянно оценивает производительность и важность маршрутизаторов в CAS на основе таких факторов, как перегрузка, неисправные компоненты или шаблоны трафика. Динамически обновляя рейтинг маршрутизатора, CAS может адаптироваться к текущим условиям сети и принимать более эффективные решения

по маршрутизации;

– регулировка динамической адаптивности – текущий алгоритм PARS основан на статической степени адаптивности маршрутизаторов. Однако за счет динамической настройки адаптивности в зависимости от состояния сети алгоритм маршрутизации может лучше реагировать на изменения в перегрузке сети или неисправных компонентах [2]. Это может быть достигнуто за счет реализации циклов обратной связи в алгоритме для мониторинга состояния сети и соответствующей настройки адаптивности. Например, маршрутизатор может повысить свою адаптивность в периоды высокой перегрузки, чтобы обеспечить больше альтернативных путей, и уменьшить свою адаптивность, когда сеть недостаточно загружена, для экономии ресурсов;

– отказоустойчивая маршрутизация – внедрение отказоустойчивых методов маршрутизации позволит алгоритму PARS автоматически обнаруживать и обходить неисправные компоненты, повышая общую надежность сети. Это может быть достигнуто за счет использования избыточных путей и реализации механизмов обнаружения ошибок, таких как проверки четности, контрольные суммы или проверки циклическим избыточным кодом (CRC – Cyclic Redundancy Check). Также это поможет избегать ситуаций взаимоблокировок в сети [3]. Кроме того, можно использовать методы динамической реконфигурации для корректировки таблиц маршрутизации и топологии сети в ответ на обнаруженные сбои, что позволяет сети восстанавливаться после сбоев и продолжать эффективно работать [4];

– улучшения масштабируемости – иерархическая маршрутизация: реализация иерархической схемы маршрутизации, которая делит СенК на более мелкие регионы или кластеры, используя комбинацию глобальных и локальных алгоритмов маршрутизации для улучшения масштабируемости, балансировки нагрузки и уменьшения перегрузок. Глобальный алгоритм маршрутизации определяет наилучший путь на уровне региона, в то время как локальный алгоритм маршрутизации управляет передачей пакетов внутри каждого региона. Маршрутизация между регионами может быть облегчена выделенными каналами связи или узлами шлюза. Методы адаптивной маршрутизации и балансировки нагрузки могут применяться как на глобальном, так и на локальном уровнях для повышения производительности. Кроме того, региональная маршрутизация обеспечивает повышенную отказоустойчивость за счет перенаправления пакетов через альтернативные регионы в случае сбоев. Путем маршрутизации внутри и между этими кластерами алгоритм маршрутизации может масштабироваться до больших размеров СенК без значительных накладных расходов или снижения производительности;

– поддержка различных топологий – хотя в статье особое внимание уделяется топологиям сетки и тора, алгоритм может быть адаптирован и усовершенствован для поддержки различных топологий. CAS может быть адаптирована к различным сетевым топологиям, что позволит быть эффективным в широком диапазоне конструкций СенК и предоставлять более точную информацию о перегрузке для различных топологий. Это может помочь алгоритму лучше обрабатывать различные топологии и улучшить его общую производительность [5]. Также для поддержки различных топологий может быть изменен механизм контроля перегрузки: PARS использует механизм контроля перегрузки, основанный на мониторинге использования буфера соседними маршрутизаторами. Этот механизм, потребуются скорректировать для различных топологий в зависимости от структуры сети и шаблонов соединений. Например, в иерархической топологии может потребоваться отслеживать использование буфера на разных уровнях иерархии, чтобы принимать более обоснованные решения о маршрутизации. Также может быть скорректирована стратегия выбора пути для различных топологий, чтобы учесть различное количество доступных путей и различные типы соединений между маршрутизаторами. Может быть разработана более общая стратегия выбора пути, учитывающая уникальные особенности каждой топологии.

Таким образом, в результате данного исследования был проведен анализ схемы маршрутизации с учетом перегрузок для сетей на кристалле и рассмотрены возможные улучшения и оптимизации для повышения ее производительности. PARS превосходит другие алгоритмы маршрутизации в снижении задержки и поддержании минимальных накладных расходов и рассеиваемой мощности, но несмотря на высокую производительность, есть несколько областей, в которых PARS может быть улучшен.

Литература

1. Chang Xin & Ebrahimi Masoumeh & Daneshtalab Masoud & Westerlund Tomi & Plosila Juha. PARS – An Efficient Congestion-Aware Routing Method for Networks-on-Chip. // 16th CSI International Symposium on Computer Architecture and Digital Systems. 2013. P. 166–171.
2. Tedesco Leonel & Rosa Thiago & Clermidy Fabien & Calazans Ney & Moraes Fernando. Implementation and evaluation of a congestion aware routing algorithm for networks-on-chip // Conference: Proceedings of the 23rd Annual Symposium on Integrated Circuits and Systems Design. 2010. P. 91–96.
3. Duato J., Yalamanchili S., & Ni L. Interconnection Networks: An Engineering Approach. Morgan Kaufmann Publishers. 2003. 624 p.
4. Шаршов А.В. Отказоустойчивая адаптивная маршрутизация пакетов с учетом состояния секторов виртуальных соседей в матричных многопроцессорных системах // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 5. С. 12.
5. Кожин Е.С., Кожин А.С. Сеть-на-кристалле нового поколения микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. С. 103–109.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

Власова М.А.^{1,2} (студент), **Шевченко А.Н.²**
Научный руководитель – к.т.н. Безмен Г.В.²
1 – Университет ИТМО
2 – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
e-mail: mary_vlasova446@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №622286 «Разработка оборудования для обеспечения проведения биоманнитных исследований в области нейротехнологий».

Аннотация

Описана зависимость коэффициента экранирования от амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля на примере одного из слоёв экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа. Экспериментально выявлено, что изменение коэффициента экранирования может быть описано двумя характерными линейными участками, с разными коэффициентами аппроксимации. Установлена связь между скоростью возрастания коэффициента экранирования и ростом величины гистерезиса при увеличении амплитуды изменения внешнего магнитного поля.

Ключевые слова

Магнитное экранирование, гистерезис, коэффициент экранирования.

С 60-х годов XX века наблюдается повышенный интерес к разработке гироскопов, не содержащих подвижных частей [1], включая такие квантовые датчики, как волоконно-оптические [2] и ядерные магнитные гироскопы [3]. Ключевые компоненты таких приборов чувствительны к внешним воздействиям, в частности, к магнитному полю. Это негативно сказывается на их точности. Для защиты чувствительных элементов гироскопов от воздействия внешних магнитных полей обычно применяют экраны из материалов с высокой магнитной проницаемостью. Коэффициент экранирования таких материалов не является постоянной величиной и зависит от амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля [4]. Это затрудняет создание математических моделей, разрабатываемых с целью прогноза, а также коррекции дрейфов таких датчиков, вызванных внешним магнитным полем. В связи с этим возникает необходимость описания экранирующего эффекта магнитного экрана.

В работе описан характер зависимости коэффициента экранирования экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа от индукции магнитного поля, в котором происходит его поворот, например из-за вращения объекта, на котором он установлен или привода автокомпенсации погрешностей инерциального измерительного модуля [5].

С помощью представленных в работе аппроксимирующих функций планируется по характеристикам внешних по отношению к гироскопу, магнитных полей, рассчитывать характеристики магнитных полей в полости многослойного ферромагнитного экрана. Описанные в работе зависимости могут быть использованы при исследовании возможности модернизации системы экранирования чувствительных элементов гироскопических приборов, которые должны быть защищены от внешних магнитных полей.

Описание эксперимента

Существует несколько способов определения коэффициента экранирования K . В общем случае он определяется как отношение изменения индукции внешнего

магнитного поля $\Delta B_{\text{внеш.}}$ к изменению индукции поля в объёме экрана $\Delta B_{\text{внутр.}}$ [6] и зависит от величины магнитной проницаемости материала:

$$K = \frac{\Delta B_{\text{внеш.}}}{\Delta B_{\text{внутр.}}} \quad (1)$$

При малых изменениях напряженности магнитного поля магнитная проницаемость является постоянной величиной, изменение коэффициента экранирования в таком случае происходит преимущественно из-за появления в материале эффекта гистерезиса [4, 7]. Суть этого эффекта заключается в том, что значение индукции магнитного поля в объёме экрана зависит от предыстории изменения индукции внешнего магнитного поля и, соответственно, неоднозначно определяется её величиной. Для количественной оценки гистерезиса введена процентная характеристика – ширина гистерезиса W . Эта величина определяет, как отношение максимальной ширины гистерезиса (остаточного внутреннего поля) $\Delta B_{0 \text{ внутр}}$ при нулевом значении индукции внешнего магнитного поля к удвоенной амплитуде индукции поля внутри экрана $\Delta B_{\text{внутр}}$, умноженное на 100 %:

$$W = \frac{\Delta B_{0 \text{ внутр}}}{\Delta B_{\text{внутр}}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Для исследования зависимости коэффициента экранирования от амплитуды внешнего магнитного поля был проведён эксперимент с использованием одного из слоёв трёхслойного магнитного экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа (ВОГ), изготовленного из ферромагнитного материала – пермаллой 79НМ [7]. Индукция магнитного поля внутри экрана измерялась с помощью феррозондового магнитометра, установленного в его геометрическом центре. Изменение индукции поля за пределами экрана ВОГ создавалось соленоидом, размещённым в кубическом технологическом экране, который защищал зону проведения эксперимента от флуктуаций магнитного поля Земли. В рамках эксперимента проведено исследование коэффициента экранирования при амплитудах индукции внешнего магнитного поля в диапазоне от 0 до 320 мкТл. На рисунке 1 представлена система гистерезисных кривых для различных амплитуд изменения индукций магнитного поля в диапазоне от 10 до 40 мкТл.

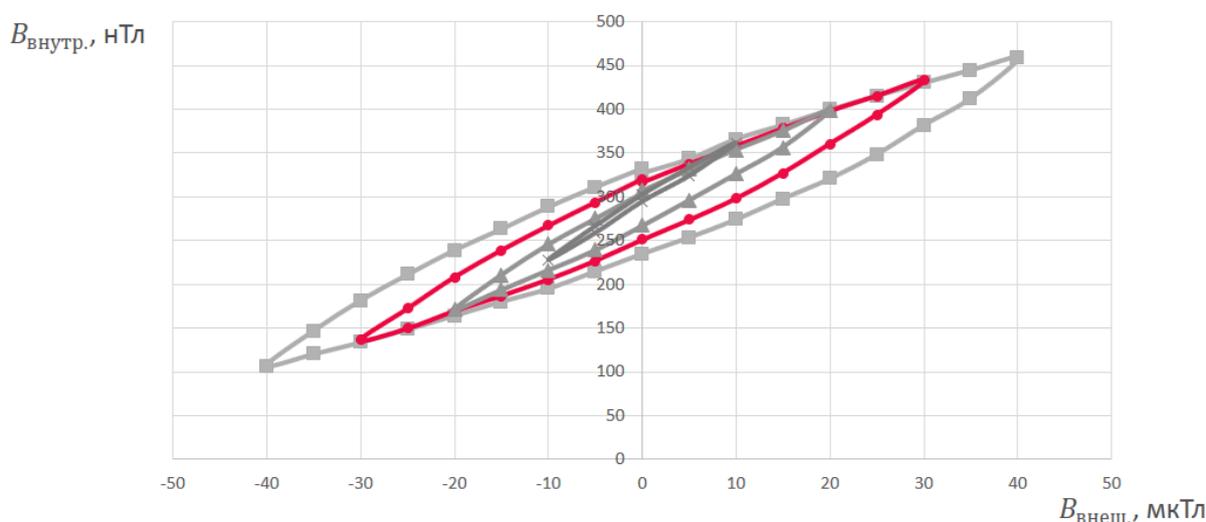


Рис. 1. Система гистерезисных кривых для амплитуд индукций магнитного поля в диапазоне от 10 до 40 мкТл

Можно заметить, что с увеличением амплитуды индукции внешнего магнитного поля $\Delta B_{\text{внеш.}}$ наблюдается рост индукции поля внутри экрана $\Delta B_{\text{внутр.}}$. Угол наклона кривых, характеризующий коэффициент экранирования K , также увеличивается.

Ширина гистерезисных кривых W , рассчитанная по формуле (2), при увеличении амплитуды изменения внешнего магнитного поля $\Delta B_{\text{внеш.}}$ стремится к постоянному значению, равному 50%, что можно увидеть на рисунке 2.

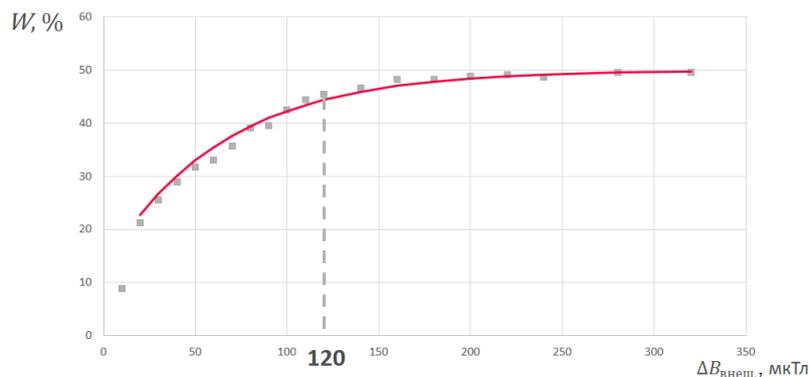


Рис. 2. Зависимость величины гистерезиса от амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля в диапазоне от 12 до 320 мкТл

Эксперимент показал, что увеличение амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля $\Delta B_{\text{внеш.}}$ в диапазоне от 0 до 120 мкТл приводит к быстрому росту ширины гистерезиса W (от 0 до 45 %), а дальнейшее увеличение индукции $\Delta B_{\text{внеш.}}$ до 320 мкТл не ведёт к такому же быстрому росту: ширина гистерезиса W на участке от 120 до 320 мкТл возрастает всего на 3 % - до значения 48 %.

Зависимость коэффициента экранирования K от амплитуды изменения индукции внешнего поля $\Delta B_{\text{внеш.}}$ может быть аппроксимирована двумя линейными участками с различными коэффициентами линейной аппроксимации, что отображено на рисунке 3.

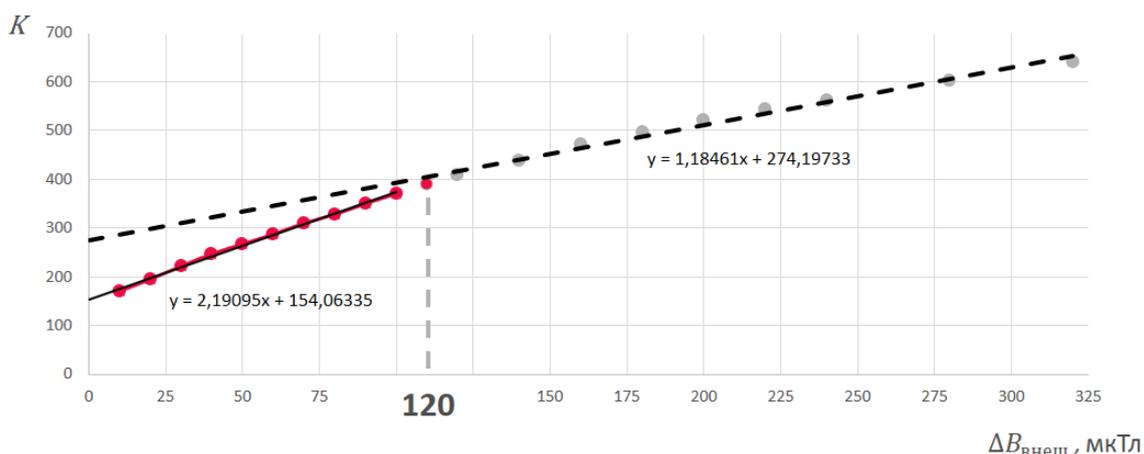


Рис. 3. Зависимость коэффициента экранирования от амплитуды изменения индукции внешнего поля в диапазоне от 12 до 320 мкТл

Можно заметить, что в диапазоне индукций внешних магнитных полей от 0 до 120 мкТл угол наклона, характеризующий коэффициент аппроксимации зависимости коэффициента экранирования от амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля, больше, чем в диапазоне от 120 до 320 мкТл. Учитывая характер скорости роста величины гистерезиса, можно сделать предположение, что различие в

скорости возрастания коэффициента экранирования на рисунке 3 связано с изменением величины гистерезиса.

В работе описана зависимость коэффициента экранирования от амплитуды изменения индукции внешнего магнитного поля экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа. Экспериментально выявлено, что изменение коэффициента экранирования может быть описано двумя характерными линейными участками. На первом участке (с меньшими амплитудами изменения внешнего поля) коэффициент экранирования изменяется быстрее, чем на втором, при этом на первом участке наблюдается значительный рост величины гистерезиса, а на втором величина гистерезиса практически не изменяется и экспоненциально стремится к своему предельному значению 50%. Для исследуемого экрана значение поля, при котором происходит переход от первого участка ко второму составляет 120 мкТл. Ожидается, что для многослойных экранов похожей конструкции, включая экраны ядерного магнитного гироскопа, график изменения коэффициента экранирования будет иметь аналогичный характер, но амплитуда внешнего магнитного поля, при которой изменяется крутизна линейной аппроксимации, может быть другой.

Литература

1. Пешехонов В.Г. Перспективы развития гироскопии //Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28. №. 2 (109). С. 3.
2. Мешковский И.К. и др. Трехосный волоконно-оптический гироскоп. Результаты разработки и предварительных испытаний //Гироскопия и навигация. 2011. №. 3. С. 67-74.
3. Вершовский А.К. и др. Гироскоп на ядерном магнитном резонансе: предельные характеристики //Гироскопия и навигация. 2018. Т. 26. №. 1. С. 55.
4. Реутов Ю.Я., Ригмант М.Б. Классические магнитные экраны. ИФМ УрО РАН. 2006.
5. Емельянцева Г.И., Блажнов Б.А., Степанов А.П. Об оценивании параметров модели погрешностей вращающегося измерительного модуля на вогнутой платформенной инс в условиях объекта //Гироскопия и навигация. 2021. Т. 29. №. 4. С. 115.
6. Кулаченков Н.К., Шевченко А.Н., Безмен Г.В. Исследование магнитных экранов с использованием современных методов проектирования //Навигация и управление движением. 2016. С. 678-682.
7. Климова Е.Н., Шевченко А.Н. Применение наноструктурных материалов в конструкции магнитного экрана волоконно-оптического гироскопа //Программа и труды школы-конференции "Наноструктуры. Свойства и применение". 2022. С. 81-82.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кольчурин М.В.¹ (аспирант)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Платунов А.Е.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: maxim.kolchurin@gmail.com

Аннотация

Использование беспроводных технологий в системах автоматике, умного дома или города сопряжено с множеством сложностей, лишь малая часть из которых успешно решены за счет крайне высоких вложений труда большого числа разработчиков. Однако даже в таком случае устоявшиеся на рынке технологии часто предлагают компромиссные решения, например, ограничивая скорость передаваемых данных или расстояние. Решение нетиповых задач имеет крайне высокую сложность и требует резкого повышения производительности труда их создателей, поиска новых подходов, что крайне затруднительно без методик и инструментов проектирования. В работе рассматриваются проблемы проектирования встраиваемых систем с использованием беспроводных технологий для систем автоматике, умного дома и города.

Ключевые слова

Беспроводные технологии, встраиваемые системы, системы автоматике, умный дом, 802.15.4, ячеистая топология сети.

Беспроводные технологии открывают множество возможностей для вычислительной техники. Начиная от способа сэкономить на прокладке медного или оптического кабеля до организации систем, до этого нереализуемых, таких как системы ориентирования и идентификации в пространстве или ячеистых сенсорных сетей. Множество существующих спецификаций беспроводных сетей находят применение в системах автоматике, умного дома, киберфизических системах, однако зачастую такие решения представлены закрытыми программными и/или аппаратными стеками технологий, направленными на решение узкого перечня уникальных для каждой из систем прикладных задач. Как следствие, создание универсальной платформы, способной эффективно использовать сразу несколько таких решений, является ключевым для расширения возможных применений.

Такие технологии, как Wi-Fi, Bluetooth, GPS, GSM, стали именами нарицательными в вопросах беспроводного интернета, городской навигации, голосовой связи, передачи данных на короткие расстояния. Однако они не способны решить значительную часть задач промышленной автоматике, АСУТП, умного дома и других сфер. Кроме того, данные технологии представляют собой «ловушку» целевой предметной области, где разработчик оказывается заперт в рамках готовых аппаратных и программных решений, без возможности решения новых, для данной технологии, прикладных задач. Разработчики таких технологий делают попытки расширить возможности устоявшихся стандартов, представляя расширения спецификаций. В качестве примера можно привести Bluetooth Low Energy, где изменение PHY и DataLink уровня позволило найти применения для датчиков и актуаторов с низким энергопотреблением [2]. Однако, несмотря на все усилия, задачи автоматике и промышленности сталкиваются с существенными ограничениями при применении таких технологий.

В попытках обойти проблемы и расширить сферы применения создаются новые решения на основе спецификаций 802.15.4, Thread, Matter, Wireless M-BUS, LoRaWAN, Z-Wave, ZigBee, Sigfox и др. На рынке представлены продукты от производителей микроконтроллерного оборудования на основе данных спецификаций, которые в значительной степени улучшают ситуацию. В таблице представлены некоторые из них.

Основные решения на рынке беспроводных технологий для встраиваемых систем

Микросхема	STM32WB55	STM32WL55	CC1352R	EFR32x2x	nRF5340	CC1200
Производитель	ST Microelectronics	ST Microelectronics	Texas Instruments	Silicon Labs	Nordic Semiconductor	Texas Instruments
Центральное ядро	Cortex-M4F 64Mhz	Cortex-M4F 48MHz	Cortex-M4F 48MHz	Cortex-M33 78MHz	Cortex-M33 128MHz	x
Радио сопроцессор	Cortex-M0+	Cortex-M0+	Cortex-M0+	Cortex-M0+	Cortex-M33	x
ОЗУ, КБ	256	64	88	256	512	x
ПЗУ, КБ	1024	256	352	1536	1024	x
Модель взаимодействия	Closed-core	Closed-core	Closed-core	Closed-core	Full-core	SPI-regs
Частота радио, МГц	2400	150-960	143-2500	150-2530	2400	137-950
Протоколы, шт	5	5	10	10	5	4

Однако можно заметить, что представленным решениям присущи общие недостатки, которые могут существенно ограничивать сферы применения, среди которых:

- низкая производительность (большинство производителей представляют решения на ядрах Cortex-M4 или M33 с тактовой частотой не выше 64-78 МГц);
- закрытые реализации сетевых стеков;
- малый объем постоянного и оперативного хранилища.

Другой важной проблемой остается то, что производители закладывают в системы уникальные модели взаимодействия с радио частью. Так, STMicroelectronics в микроконтроллерах семейства STM32WBxx и STM32WLxx предлагает способ асинхронного взаимодействия с сопроцессором через механизмы аппаратных семафоров, а встроенное постоянное (ПЗУ) и оперативное (ОЗУ) хранилище разделено для установки пользовательской программы и сетевого стека, который распространяется в виде зашифрованного бинарного файла и исполняется сопроцессором [11]. Silicon Labs и Texas Instruments в решениях EFR32xx2x и CC1352R соответственно, напротив, предоставляют отдельные ресурсы ПЗУ и ОЗУ для основного ядра и радио сопроцессора, требуя лишь выделения в ОЗУ основного процессора памяти для хранения передаваемых и принимаемых радио пакетов [12, 13].

В качестве альтернативы готовых стеков протоколов рассматривается построение собственных решений на основе универсальных приемопередатчиков, таких как CC1200 от Texas Instruments или SI4463 от Silicon Labs, что может быть более гибким и эффективным решением, позволяя решать более широкий круг задач и давая возможность применения высокопроизводительных центральных вычислительных ядер, в том числе тех на которых возможна установка операционных систем семейства UNIX. Однако данный подход может потребовать значительно более глубокого освоения технологий в части реализации беспроводных стеков, что может быть вызовом для многих компаний и проектов.

Различные модели взаимодействия с вычислительным устройством, которые предлагают спецификации беспроводных сетей, могут затруднить одновременное и/или совместное применение нескольких технологий. В следствии этого разработчик сталкивается с необходимостью учитывать множество требований при поиске оптимального решения [8]. Для решения таких задач разработчиками применяются

различные методы и подходы к проектированию. Так, например, аспектное проектирование предполагает решение указанных проблем через создание единого пространства проектирования систем в терминах вычислительных абстракций [3]. На основе аспектного подхода был сформирован метод микроархитектурных шаблонов проектирования, где на основе сформированного проектного пространства предполагается выделение корневых компонентов системы – «кernels» [4]. Предполагается, что выделение таких ключевых компонентов позволит значительно ускорить процесс проектирования системы, собирая, по сути, из готовых компонентов различного уровня абстракции новое решение [7]. Однако, нерешенным остается вопрос процедуры выделения таких механизмов, способ их организации и применения. Очевидно, что высокое разнообразие применяемых способов описания и языковых средств делает этот процесс крайне затруднительным. В связи с чем, поиск таких механизмов, инструментов и способов описания считается ключевым в вопросе повышения эффективности проектирования [1].

Для того, чтобы обеспечить эффективную работу встраиваемой системы с использованием беспроводных технологий важно учитывать все аспекты и требования проекта [5]. Одним из важнейших элементов обеспечения эффективной работы является реализация физического и канального уровней, которые будут обеспечивать связь между устройствами в конкретных средах, определяя расстояние, а также скорость и надежность передаваемых данных.

На рисунке 1 представлены спецификации стеков протоколов в рамках модели OSI/ISO. Как можно заметить, в случае ZWave (Long Range режим), LoRaWAN и BLE используются собственные закрытые спецификации физического и канальных уровней (а иногда и вышележащих), что принуждает разработчика использовать лицензионные приемопередатчики радиосигнала и радио-микроконтроллеры, и как следствие, это совместно с различными моделями взаимодействия, затрудняет создание универсального решения.

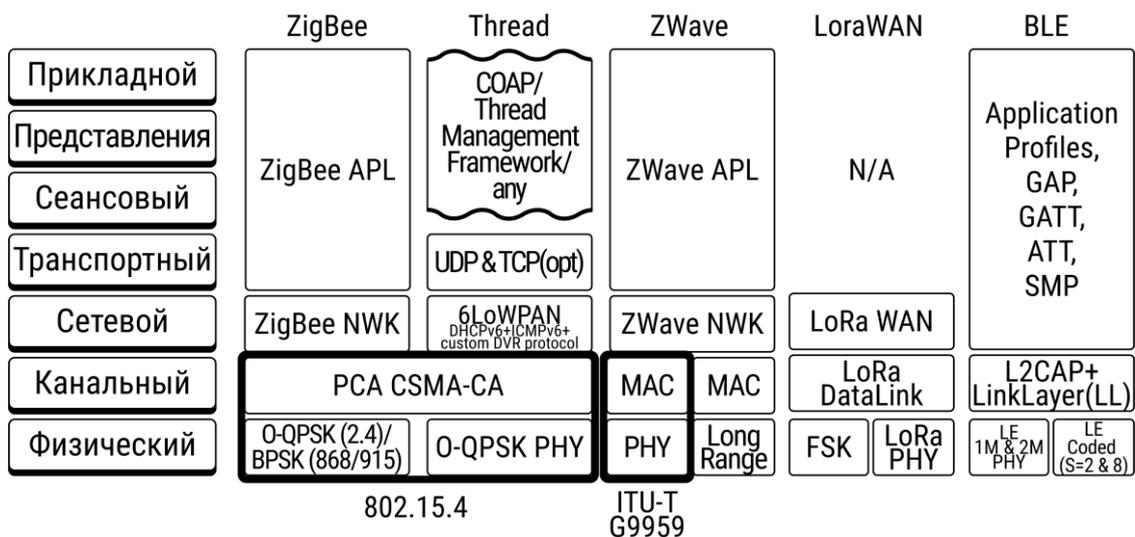


Рис. 1. Представление сетевых стеков в модели OSI/ISO

Однако, кроме закрытых, активно развиваются спецификации открытые, такие как 802.15.4–2020 и ITU-T G9959 [9, 10], предлагая разработчику различные топологии организации сети, реализации физического и канального уровней.

Частой проблемой при организации сети является зависимость от центрального узла, базовой станции или шлюза сети, что может увеличить время простоя системы и снизить качество обслуживания. Один из способов решения таких проблем - применение ячеистой топологии построения сети, которая обеспечивает масштабируемость,

гибкость и устойчивость к отказам. Ячеистая беспроводная сеть является одним из наиболее эффективных решений в создании локальной сенсорной сети. Благодаря своей структуре беспроводная сеть может обеспечить более широкий диапазон охвата и более гибкое управление системой. Кроме того, ячеистая сеть также может быть легко расширена и оптимизирована для различных задач, обеспечивая высокую надежность и качество соединения. Данная топология построения сети является оптимальным решением для повышения надежности и качества функционирования системы умного города или дома, систем автоматики. Основные особенности беспроводной сети, построенной по ячеистой топологии:

1. Организация гибкой и расширяемой сети, которая может адаптироваться к различным условиям и задачам. Каждый из узлов сети имеет возможность для автоматического определения состояния соседних узлов, определение собственной роли в сети. Поэтому сеть при выходе из строя одного из узлов способна перенаправить потоки данных, тем самым продолжив работу.

2. Обеспечение высокой производительности и надежности передачи данных. Возможность передачи данных любому из узлов в зоне сигнала и возможность переопределять маршруты позволяет с максимальной эффективностью использовать пропускную способность сети для быстрого реагирования на команды управления и передачи данных о состоянии.

3. Оптимизация затрат на проведение кабельных линий и другие инженерные работы. При развертывании беспроводной сети организованной по ячеистой топологии отсутствует необходимость в установке базовых станций (но не исключается), прокладке кабельных линий.

Недостатком же такой сети является повышенная сложность механизмов маршрутизации [14], однако сразу несколько документов из серии Request for Comments (RFC) предлагают различные решения [15, 16].

Реализация механизмов по использованию различных приемопередатчиков радиосигнала, в том числе на различных частотных диапазонах, позволит, в зависимости от требований, обеспечивать требуемые показатели по расстоянию и скорости передаваемых данных. Так, например, реализация подмножества спецификации 802.15.4–2020 GFSK PHY на частотах 434 МГц, 868 МГц и 2.4ГГц позволит обеспечить различные характеристики сети, где с повышением несущей частоты возможно передать больший объем данных, однако уменьшается расстояние, на которое сигнал способен распространиться в среде, и наоборот, снижение несущей частоты и битовой скорости позволит увеличить расстояние передачи. Как следствие, возможно использовать наиболее подходящие диапазоны частот на различных участках среды. В плотной городской застройке может быть востребовано большее число устройств, и как следствие, может потребоваться высокая скорость передачи данных, для обеспечения связи между всеми узлами.

Заключение

Использование беспроводных технологий для создания встраиваемых систем открывает множество возможностей, однако остро стоит проблема высокой сложности и адаптивности решений. Так, готовые аппаратные и программные продукты от различных производителей помогают значительно снизить сложность создаваемых решений, но накладывают ограничение в виде уникальных моделей взаимодействия вычислительной и радио частей системы. Создание универсальных решений, которые способны решать широкий перечень задач, использовать различные реализации спецификаций беспроводных сетей всё также крайне сложны и требуют высоких вложений труда. Применение ячеистых сетей, интероперабельность нескольких таких сетей с различными физическими уровнями представляют крайне высокий интерес для

организации сетей с высокой устойчивостью к отказам и различными характеристиками канала.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение описательной базы беспроводных систем, выявление общих механизмов взаимодействия, проектированию универсальных реализаций уровневой модели [6]. Предполагается, что разработка моделей систем на основе метода микроархитектурных шаблонов проектирования может помочь в части определения и анализа различных аспектов работы всей системы, а также в самом процессе проектирования.

Литература

1. Кольчурин М.В., Пинкевич В.Ю., Платунов А.Е. Усиление роли микроархитектурных этапов проектирования встраиваемых систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usilenie-rol-i-mikroarhitekturnyh-etapov-proektirovaniya-vstraiyaemyh-sistem> (дата обращения: 03.04.2023).
2. Platunov A., Kluchev A., Pinkevich V., Kluchev V., Kolchurin M. Training laboratories with online access on the ITMO.cLAB platform//CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2893. URL: https://ceur-ws.org/Vol-2893/paper_12.pdf.
3. Платунов А.Е., Постников Н.П. Единое проектное пространство плюс аспектная технология - перспективная парадигма проектирования встраиваемых систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2003. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/edinoe-proektnoe-prostranstvo-plyus-aspektnaya-tehnologiya-perspektivnaya-paradigma-proektirovaniya-vstraiyaemyh-sistem> (дата обращения: 03.04.2023).
4. Pinkevich V., Platunov A., Gorbachev Y. Design of embedded and cyber-physical systems using a cross-level microarchitectural pattern of the computational process organization // CEUR Workshop Proceedings. 2020. V. 2893. URL: https://ceur-ws.org/Vol-2893/paper_15.pdf. (дата обращения: 03.04.2023).
5. Platunov A., Penskoj A., Kluchev A. The architectural specification of embedded systems // Proc. of the 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). 2014. P. 48–51. <https://doi.org/10.1109/MECO.2014.6862656>.
6. Пинкевич В.Ю., Платунов А.Е. Тестирование и отладка встраиваемых вычислительных систем на основе уровневых моделей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 5. С. 801–808. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2018-18-5-801-808>.
7. Pinkevich V.Y., Platunov A.E., Penskoj A.V. The approach to design of problem-oriented reconfigurable hardware computational units //Proc. of the Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2020. P. 9131512. <https://doi.org/10.1109/WECONF48837.2020.9131512>.
8. Jerraya A. "Hardware-software codesign," in IEEE Design & Test of Computers. vol. 17. no. 1. pp. 92-99. Jan.-March 2000. <https://doi.org/10.1109/MDT.2000.825680>.
9. IEEE Std 802.15.4. 2020 "IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks" <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9144691>.
10. ITU-T G.9959 – 2015 "Short range narrow-band digital radiocommunication transceivers – PHY, MAC, SAR and LLC layer specifications". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201501-I>.
11. RM0434 Reference manual – 2023 "Multiprotocol wireless 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M4 with FPU, Bluetooth® Low-Energy and 802.15.4 radio solution". URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0434-multiprotocol-wireless-32bit-mcu-armbased-cortexm4-with-fpu-bluetooth-lowenergy-and-802154-radio-solution-stmicroelectronics.pdf. (дата обращения: 03.04.2023).

12. EFM32PG22 Gecko MCU Family Data Sheet. URL: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/efm32pg22-datasheet.pdf>. (дата обращения: 03.04.2023).
13. SWRS196I –2018 “CC1352R SimpleLink High-Performance Multi-Band Wireless MCU”. URL: <https://www.ti.com/lit/gpn/cc1352r>. (дата обращения: 03.04.2023).
14. Kim E., Kaspar D., Gomez C., Bormann C. Problem Statement and Requirements for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) Routing // Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments: 6606, 05.2012. URL: <https://doi.org/10.17487/RFC6606>.
15. Thubert P., Ed., Bormann C., Toutain L. IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) Routing Header // Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments: 8138, 04.2017. URL: <https://doi.org/10.17487/RFC8138>.
16. Thubert P., Ed., Zhao L. A Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL) Destination-Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG) Configuration Option for the 6LoWPAN Routing Header // Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments: 9035. URL: <https://doi.org/10.17487/RFC9035>.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Нгуен Н.К.¹ (магистрант), Ван Ц.¹ (магистрант)
 Научный руководитель – к.т.н., доцент Быковский С.В.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: nguyennhuquang1998@gmail.com, wang.qin_001@foxmail.com

Аннотация

В работе разработана система 3D-сканирования помещений на основе лазерной подсветки и стереопары (метод стереорекострукции), которая представляет собой программно-аппаратный комплекс для захвата геометрических характеристик объектов и преобразования этих данных в цифровую 3D-модель. Было разработано программное обеспечение для управления системой и синхронного сбора данных с камер и датчика угла. На основе полученных данных разработаны методы расчета несоответствия между изображениями двух камер и построения 3D-модели. 3D-модель была визуализирована через веб-интерфейс в браузере. Пользователи могут получить доступ к моделям и просматривать их.

Ключевые слова

Система 3D-сканирования, определение глубины, лазерная подсветка, стереорекострукция, несоответствие, облако точек, 3D-графика в WebGL.

3D-сканирование – технология перенесения физических параметров объекта в цифровой формат в виде объемной модели. Технология трехмерного сканирования может использоваться не только в сложных производствах, требующих высокой точности, но и в интересах любителей. В сфере строительства сканирующую систему можно использовать для контроля отличий проекта от готового помещения, или может показывать пользователю архитектуру строительства, не переходя непосредственно к просмотру. Музеи могут запечатлеть хрупкие экспонаты в виде 3D-моделей, а разработчики игр – получить их в своих продуктах. Кроме этого, она может применить в беспилотных транспортных средствах для построения карты передвижений.

Одним из самых популярных и экономичных методов 3D-сканирования помещений является метод стереорекострукции. Принцип функционирования сканера основан на использовании стереоскопической пары, которая позволяет строить трехмерное изображение и определять глубину в каждой из его точек [1]. Принципиальная схема метода представлена на рисунке 1.

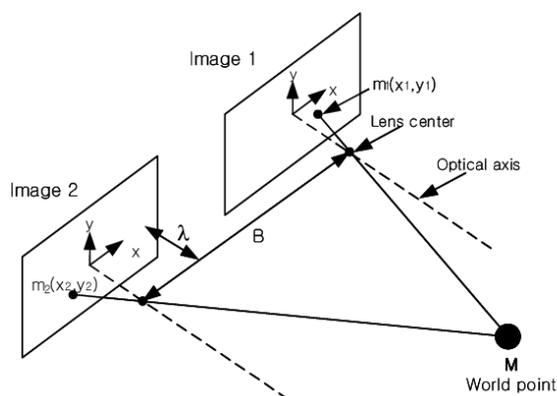


Рис. 1. Принципиальная схема модели

Информация о наблюдаемом пространстве собирается за счет эффекта стереоскопического параллакса, создаваемого некоторым смещением расположения камер относительно друг друга в одной плоскости, имитирующего также бинокулярное

зрение [2]. Эффект параллакса – это изменение видимого положения объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя, а стереоскопический или бинокулярный параллакс – это угол, под которым объект рассматривается двумя глазами или когда он фотографируется стереоскопической камерой.

Основной задачей при использовании стереопар для 3D-сканирования является поиск несоответствия [3] – несоответствия между кадрами, полученными с двух камер. Оно определяется межпиксельным расстоянием на изображениях одного и того же объекта.

Значение несоответствия D рассчитывается по формуле (1):

$$D = |x_1 - x_2|, \quad (1)$$

где x_1, x_2 – положение выбранного пикселя конкретной строки на первом изображении и втором изображениях.

После определения несоответствия глубины каждой пиксели d рассчитывается по формуле (2):

$$d = \frac{f \cdot B}{D + (c_x - c'_x)}, \quad (2)$$

где f – фокусное расстояние камеры, B – расстояние между 2 камерами, c_x и c'_x – координаты x главной точки в первой и второй камерах.

Данные, собранные в процессе работы системы, должны храниться, обрабатываться и представляться в виде карты глубины, то есть одноканального двумерного изображения, содержащего информацию о местоположении объектов относительно сканирующей системы.

Целью работы является разработка гибридной системы 3D-сканирования помещений на основе лазерной подсветки и стереопары [4].

Разрабатываемая система 3D-сканирования состоит из 3 модулей:

- 3D-сканер: синхронный сбор данных с камер и датчика угла;
- сервер: 3D-реконструкция (расчет несоответствия между изображениями двух камер и построения 3D-модели);
- веб-браузер: визуализация 3D-моделей для пользователей.

1. 3D-сканер

Разрабатываемый 3D сканер помещений состоит из верхней и нижней частей, представленные на рисунке 2.

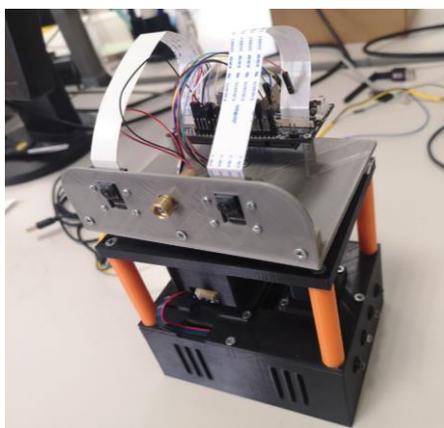


Рис. 2. 3D-сканер

Верхняя часть является поворотной платформой с камерами, лазером и вычислительным модулем на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi Compute Module с подключенным модулем StereoPi [5]. Камеры установлены таким образом, чтобы их объективы были направлены параллельно, а расстояние между ними составляло 65 мм. Разрешение камеры по умолчанию составляет 3280×2464 пикселей. Источник лазерного излучения расположен между двумя камерами, чтобы служить общей точкой света между двумя изображениями для сравнения пикселей.

Нижняя часть состоит из шагового двигателя, датчика угла, системы питания и платы управления вращением на базе микроконтроллера STM32.

С компьютера пользователя отправляются команды на вычислительный модуль StereoPi через беспроводной канал Wi-Fi с использованием протокола SSH. Каждая команда включает в себя:

- угловой шаг сканирования;
- общий угол сканирования;
- направление вращения.

Команды для управления вращающейся платформой отправляются с Stereo Pi на STM32 по протоколу UART, а данные о вращающемся угле передаётся из STM32 в Stereo Pi. Захваченные изображения отправляются на компьютер для создания 3D-модели. Значение датчика угла составляет целые числа от 0 до 1023, что соответствует значению угла от 0 до 360 градусов. Разрешение датчика составляет 0,3515625 градуса. Фотографии будут названы по значению с датчика, чтобы облегчить процесс получения результирующего изображения и угла поворота.

После сканирования помещений полученные фотографии будут отправлены на сервер для 3D-реконструкции. Система также может вернуться в начальное положение.

2. 3D реконструкция

На основе полученных данных на компьютере осуществляется процесс 3D-реконструкции, который состоит из 2 шагов: расчет несоответствий и построение 3D-модели.

Для расчета несоответствий из 2 изображений с 2 камер используется метод RAFT-Stereo на основе нейронной сети (см. на рисунке 3) [6]. Учитывая пару изображений (I_L , I_R), сеть стремится оценить поле несоответствия d , дающее горизонтальное смещение для каждого пикселя в I_L . Этот подход состоит из трех основных компонентов: экстрактора объектов, корреляционной пирамиды и оператора обновления на основе GRU (Gated Recurrent Unit). Оператор обновления итеративно извлекает объекты из пирамиды корреляции и выполняет обновления в поле несоответствия.

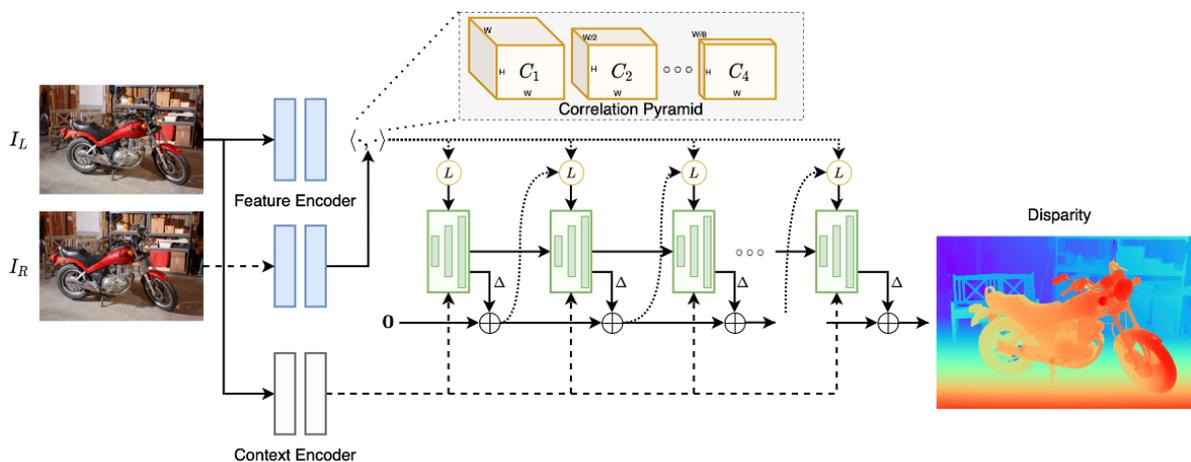


Рис. 3. Поток данных RAFT-Stereo

На рисунке 4 показаны исходные данные – пары изображений, полученных с двух камер в лаборатории. Между ними есть небольшая разница в пикселях по горизонтали.

На рисунке 5 показана карта глубины, сгенерированная системой. Справа находится линейная шкала глубины, рассчитанная в метрах.

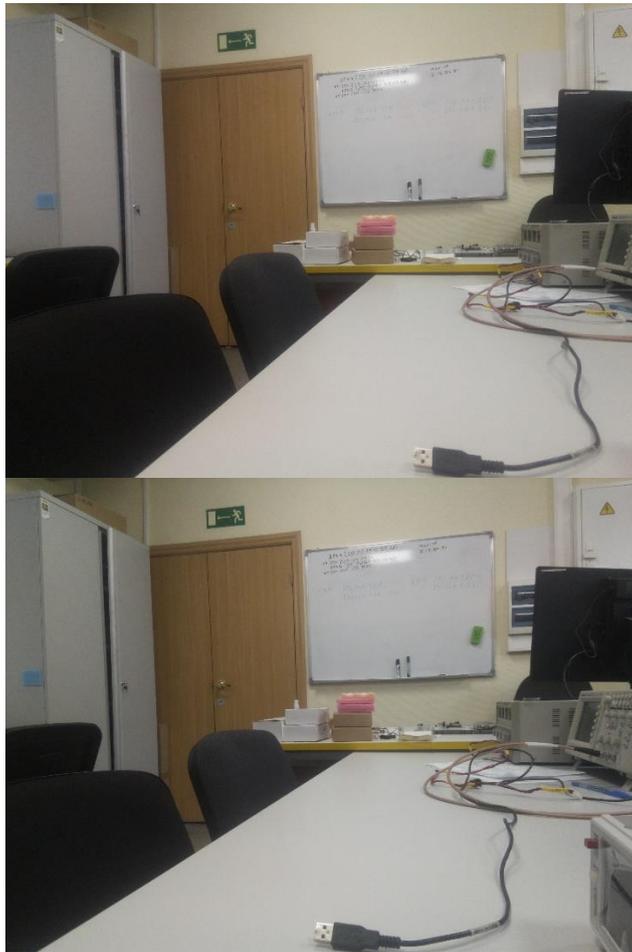


Рис. 4. Изображения с левой и правой камер

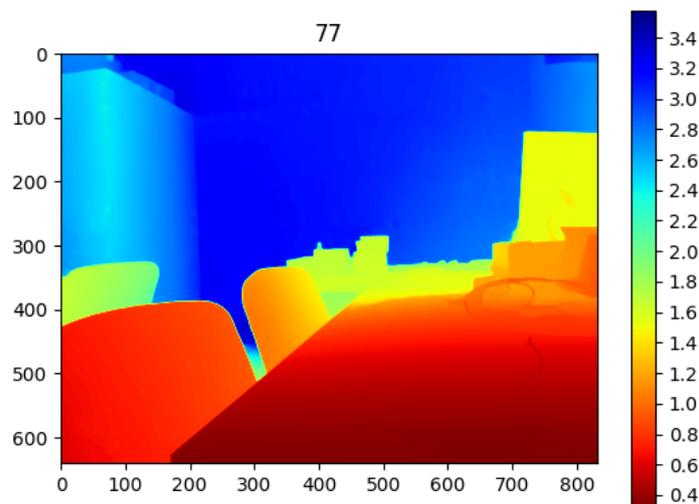


Рис. 5. Карта глубины

Для оценки точности вычисления карты глубины приведены измерения фактического расстояния точек на карте. Результаты приведены в таблице.

Точность определения дистанций

№	Координата (x, y)	Рассчитанная дистанция (м)	Измеренная дистанция (м)	Абсолютная погрешность (м)	Относительная погрешность (%)
1	246, 395	0.92	0.87	0.05	5.75
2	280, 380	1.09	1.02	0.07	6.86
3	697, 307	1.18	1.21	-0.03	2.48
4	671, 300	1.37	1.52	-0.15	9.87
5	376, 340	1.43	1.42	0.01	0.70
6	718, 270	1.53	1.72	-0.19	11.05
7	494, 320	1.62	1.71	-0.09	5.26
8	150, 335	1.97	2.02	-0.05	2.48
9	77, 301	2.49	2.6	-0.11	4.23
10	274, 334	3.25	3.32	-0.07	2.11
Среднее значение					5.08

Из полученных результатов можно следовать, что расчет расстояния достаточно точен со средней погрешностью около 5%. Результат получается более точным в плоскостях, которые полностью отделены друг от друга и расположены параллельно камере. Наоборот, погрешность больше в тех плоскостях, которые являются диагональными по сравнению с камерой или расположены рядом с другими плоскостями того же цвета.

На основе полученного отклонения построена 3D-модель изображения [7]. Использована функция `projectImageTo3D` в библиотеке `OpenCV`, входными параметрами которой является матрица несоответствий пикселей и матрица Q . Матрица Q имеет следующую формулу (3):

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & 0 & -c_y \\ 0 & 0 & 0 & f \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_x} & \frac{c_x - c'_x}{T_x} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где f – фокусное расстояние камеры, T_x – расстояние между 2 камерами, c_x и c_y – координаты главной точки в левой камере, c'_x – x координата главной точки в правой камере.

Результатом этой функции является матрица координат x, y, z точек в пространстве. Добавить цвета, соответствующие координатным точкам, и сохранить модель в виде `.pcd`. 3D модели можно просматривать с помощью программного обеспечения `CloudCompare`. На рисунке 6 показана сгенерированная системой 3D-реконструкция.

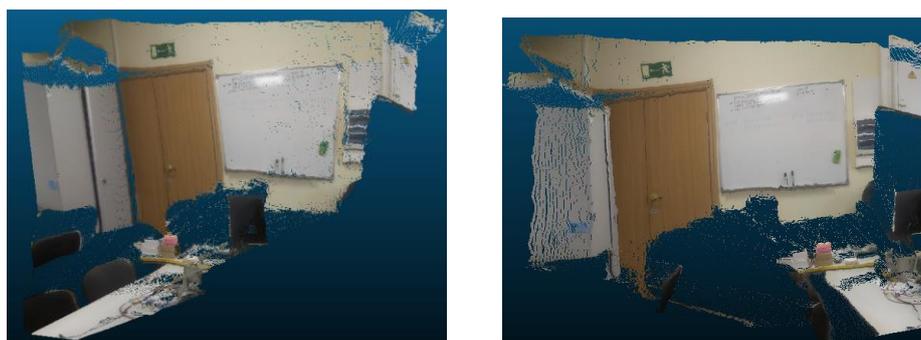


Рис. 6. 3D-модель помещения с разных ракурсов

Чтобы создать полную 3D-модель всей комнаты, нужно совмещать все 3D-модели всех изображений вместе. Сначала нужно повернуть 3D-модель в правильное положение с соответствующим углом поворота, полученным от датчика. В результате 3D-модели почти совпадают по горизонтали и вертикали, а по глубине есть помещение, потому что расчет глубины на разных изображениях часто будет с ошибками. Нужно удалить дублирующиеся пиксели.

Чтобы модели окружающей среды были непрерывными (по глубине), определим положение пересечения двух плоскостей модели двух соседних изображений. На рисунке 7 показано 3D-модели трёх соседних изображений (угловой шаг вращения: 11,25 градусов). Красные линия – пересечения двух плоскостей. Выбрана из каждой 3D-модели часть 3D-модели (зеленые линии), который лежит со стороны линии пересечения, с угловым шагом вращения. В конце получилась полная модель помещений, которая представлена на рисунке 8.

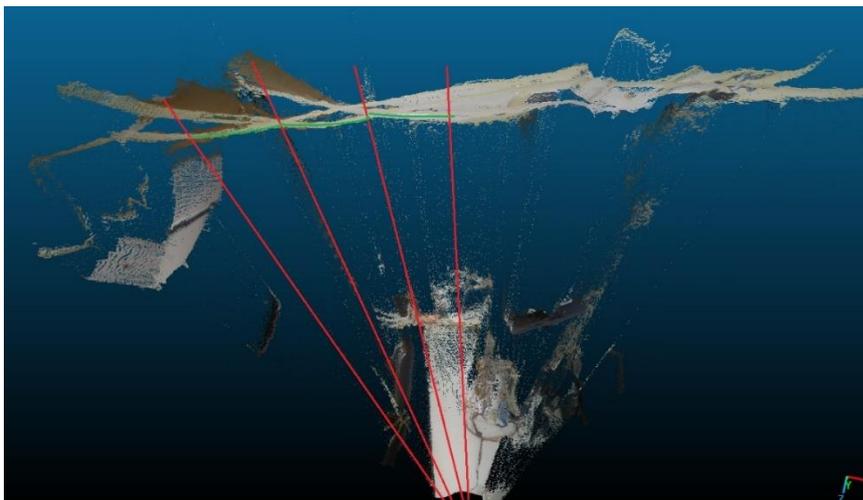


Рис. 7. Анализ 3D-моделей трёх соседних изображений



Рис. 8. Объединенная 3D-модель помещения, снятого с разных ракурсов

3. Веб-сервер

После завершения 3D-реконструкции на сервере, 3D-модель отправляется на фронтенд (веб-браузер пользователя), где она отображается с помощью облака точек. Для эффективного рендеринга облака точек используется библиотека `three.js`, основанная на `webGL` [8]. Реализация происходит следующим образом: сначала данные

облака точек загружаются с помощью PCDLoader, а затем создается 3D-объект на основе полученных координат. Наконец, данные отображаются на веб-странице с помощью камеры(camera), сцены(scene) и рендерера(renderer).

Для создания более надежной и расширяемой структуры проекта была использована библиотека Vue.js. Vue.js – это популярный JavaScript – фреймворк для создания пользовательских интерфейсов. Он использует архитектурный паттерн MVVM (Model-View-ViewModel), что позволяет эффективно увеличить производительность разработки.

Для создания привлекательного пользовательского интерфейса была использована библиотека элементов пользовательского интерфейса Element-UI [9]. Element-UI – это компонентная библиотека, основанная на Vue, включающая в себя такие распространенные компоненты пользовательского интерфейса, как кнопки, таблицы, выбор даты, диалоговые окна и т.д.

На данный момент фронтенд реализует следующие функции:

- регистрация и вход в систему пользователя, а также управление личной информацией;
- выбор любой точки и просмотр ее пространственных координат;
- вычисление расстояния между любыми двумя точками;
- вычисление расстояния от определенной точки до центра;
- сохранение изображений облака точек;
- просмотр истории.

Пользовательский интерфейс представлен на рисунке 9.

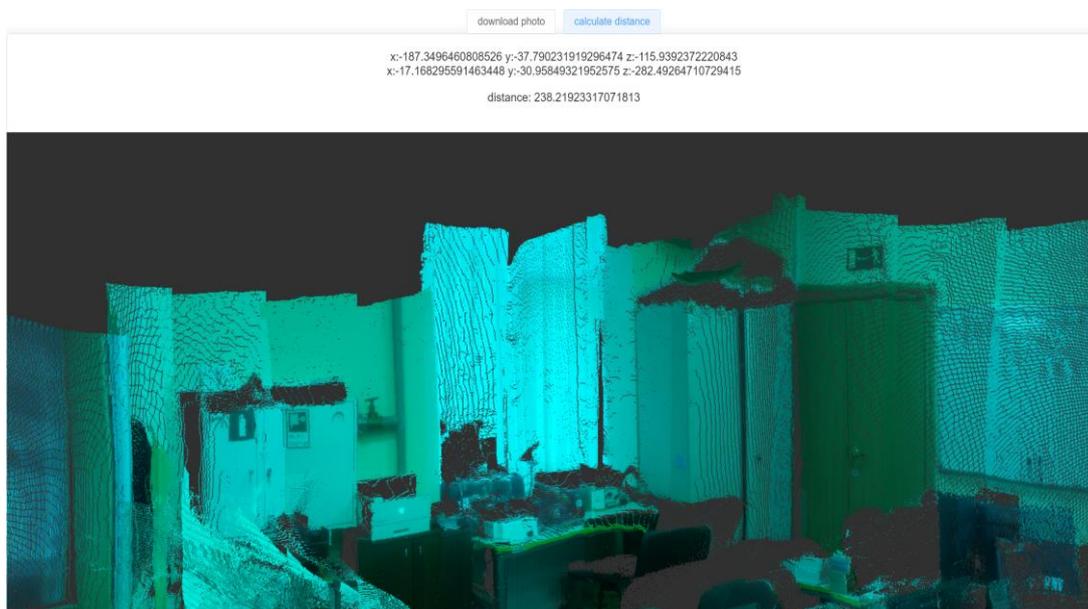


Рис. 9. Пользовательский интерфейс

Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть добавлена функция калибровки изображений. Так как трудно идеально выровнять камеры, поэтому необходима калибровка – приведение их к одной линии. Перепады высот и привинченные объективы приводят к непараллельному обзору камер, который необходимо определить, чтобы компенсировать неточности и затем выровнять изображение в одной плоскости. Кроме этого, нужно исследовать более эффективный алгоритм для совмещения 3D-моделей фотографий с разных углов, чтобы получить точную модель. Так же необходимо ещё разработать модуль для управления устройством через фронтенд, улучшить скорость загрузки данных и оптимизировать производительность.

Литература

1. Hirschmüller H. "Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. vol. 30. no. 2. pp. 328–341. Feb. 2008.
2. Phuong Ngoc Binh Do, Quoc Chi Nguyen. Review of Stereo-Photogrammetry Method for 3-D Reconstruction in Computer Vision // 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). 2019. pp. 138–143.
3. Abu Hassan M.F., Hussain A., Md Saad M.H., Win K. 3d distance measurement accuracy on low-cost stereo camera // ISSN: 1013–5316; CODEN: SINTE 8. Sci.Int.(Lahore). 2017. pp. 599–605.
4. Mirsky O., Bykovskii S., Denisov A., Zhdanov D., Zhdanov A., Potemin I., Wang Y. Adaptive scanning methods for 3D scene reconstruction // Proc. SPIE 12317, Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology IX, 1231719. 2023. pp. 1–14.
5. Stereo Pi [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stereopi.com> (дата обращения: 06.02.2023).
6. Lipson L., Teed Z. and Deng J. "RAFT-Stereo: Multilevel Recurrent Field Transforms for Stereo Matching," 2021 International Conference on 3D Vision (3DV). 2021. pp. 218–227.
7. Функция `reprojectimageto3d` [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group_calib3d.html (дата обращения: 05.04.2023).
8. Библиотека `three.js` [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://threejs.org/docs/index.html> (дата обращения: 15.02.2023).
9. Библиотека `Element-UI`. Режим доступа: <https://element.eleme.io/> (дата обращения: 02.03.2023).

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ПО МАГНИТНЫМ ПОЛЯМ

Синикова Д.Д.¹(школьник), Власова М.А.^{2,3}(студент), Климова Е.Н.^{2,3}(аспирант)
Научный руководитель - к.т.н. Золотаревич В.П.^{2,3}

1 – ГБОУ гимназия № 406

2 – Университет ИТМО

3 – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

e-mail: sinikovadasha2701@gmail.com

Работа выполнена в рамках всероссийской образовательной инициативы по поиску и реализации научно-технологических проектов школьниками под руководством наставников «Сириус.Лето: Начни свой проект».

Аннотация

В работе предложена разработка прототипа приложения для локальной навигации по магнитным полям. Данный метод навигации удобно использовать в многоуровневых помещениях, в которых, как правило, недоступен сигнал спутниковых навигационных систем. Для работы приложения не требуется дополнительное оборудование. В результате был разработан интерфейс приложения, к которому впоследствии будет подключен необходимый функционал.

Ключевые слова

Локальная навигация, разработка приложения, пользовательский интерфейс, магнитные поля, местоположение в здании.

В рамках проекта разработана концепция приложения, позволяющего определить точное местоположение человека и решить задачу навигации в помещении 2 этажа гимназии №406. Предполагается, что приложение также может помочь людям в чрезвычайных ситуациях: оно определяет расположение человека относительно выхода и выводит пользователю направление и количество шагов до него. Данная функция будет полезна в случае пожара, когда нет возможности из-за дыма увидеть выход или план эвакуации.

Существующие решения. Известны решения проблемы позиционирования в пространстве, основанные на разных технологических и физических принципах [1]: магнитные поля; WI-FI технологии; оптические и инфракрасные технологии; iBeacon, основанный на использовании Bluetooth; а также ультразвуковые технологии Ultrasonic location based system. Все перечисленные решения отличаются друг от друга стоимостью технического оснащения, зоной покрытия, точностью определения местоположения, а также наличием и сложностью оборудования для их реализации.

После анализа технологий, доступных для локальной навигации в соответствии с критериями, указанными выше, было определено, что навигация по магнитному полю является единственным методом, который не требует специального оборудования (излучателей сигнала) и почти не требует финансовых затрат. Отсутствие излучающего сигнала оборудования делает этот способ лёгким в обслуживании решением проблемы позиционирования в закрытом пространстве. Для определения местоположения с помощью метода локальной навигации по магнитным полям программному обеспечению необходимо получить значения индукции магнитного поля, поступающие с магнитометра смартфона человека, и, используя корреляционно-экстремальный метод, сравнить их с заранее измеренными значениями индукции магнитного поля помещения, то есть созданной заранее картой магнитных полей.

Разработка интерфейса. В работе предложен интерфейс приложения, реализующего функции позиционирования в пространстве по карте магнитного поля

помещения и расчета расстояния до ближайшего выхода с этажа. Представляемое приложение создаётся для коридора второго этажа гимназии № 406 Пушкинского района города Санкт-Петербурга (рис. 1).

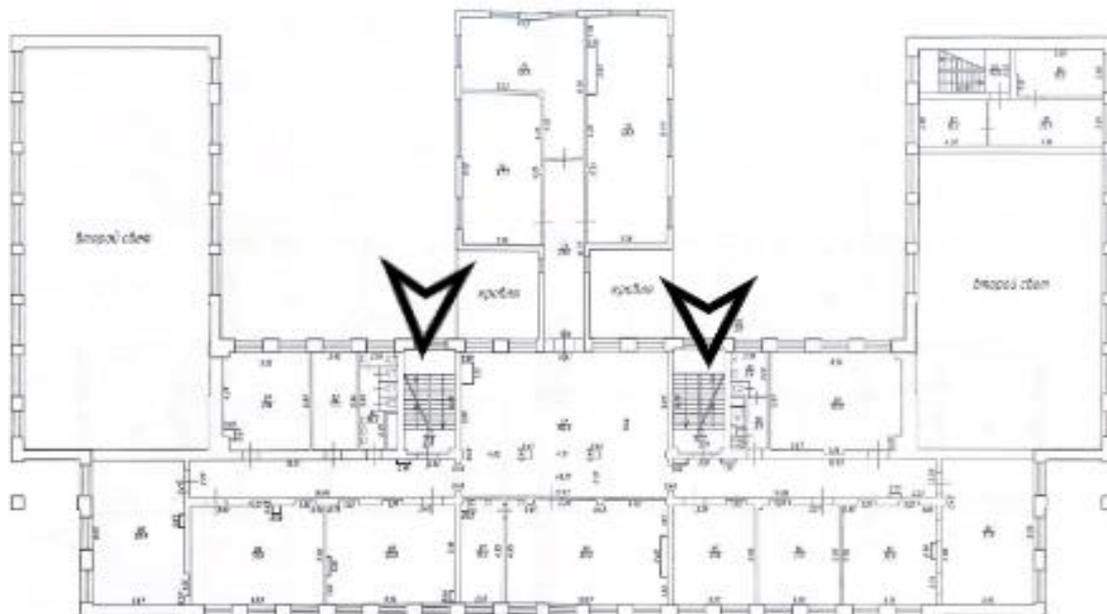


Рис. 1. План помещения

Разработка интерфейса приложения включает в себя следующие этапы:

1. Проектирование, разработка алгоритмов.
2. Моделирование архитектуры.
3. Выбор и установка необходимых библиотек и компонентов.
4. Разработка пользовательского интерфейса.
5. Кодирование логики приложения.

На данный момент проект находится на стадии кодирования логики. Первые четыре этапа уже полностью реализованы.

Для решения задач позиционирования и сопровождения пользователя создан алгоритм навигации, состоящий из 2-х составляющих: корреляционно-экстремального алгоритма и алгоритма расчета длины шага пользователя. Для решения задачи поиска выхода из помещения (применяется в экстренных ситуациях) предполагается создание алгоритма поиска выхода. Для его реализации понадобятся данные о местоположении пользователя в данный момент и координаты обоих выходов.

В качестве архитектуры разработки использовалась схема разделения данных приложения и логики на три основных компонента: *model*, *controller*, *view* [2]. К модулю *Model* относятся измерения магнитной индукции и карта магнитных полей, модуль *Controller* – это логика приложения, включающая в себя алгоритмы навигации и поиска выхода, *View* – графический интерфейс.

Для реализации приложения был выбран язык программирования Python. В качестве среды разработки – Spyder (входит в дистрибутив Anaconda) [3]. Для работы с пользовательским интерфейсом использовался модуль PyQt5 – это набор Python библиотек для создания графического интерфейса на базе платформы Qt5 от компании Digia [4].

Пользовательский интерфейс разрабатываемого приложения состоит из 4-х страниц (окон) (рисунок 2). Первая – титульная страница – содержит название приложения. Для реализации проекта навигации по магнитным полям было создано название «INPO». Расшифровывается как Indoor Positioning – позиционирование внутри

помещения. Вторая страница – диалоговое окно – содержит небольшую анкету, данные которой понадобятся для определения длины шага пользователя (зная длину шага человека, можно рассчитать расстояние до ближайшего выхода). В третьем окне – окне начала позиционирования – осуществляется сопровождение пользователя. Здесь пользователю предлагается пройти несколько метров по коридору (это необходимо для грамотной работы корреляционно-экстремального алгоритма), после чего в нём производится вывод результата определения координат человека, а именно кабинета, рядом с которым он находится. Последняя страница – окно поиска выхода, в котором пользователю предоставляется небольшая инструкция с просьбой повернуться лицом к рекреации (на рисунке 1 – большой прямоугольник в центре плана) для определения направления до ближайшего выхода. Далее будет предложено направление и количество шагов до него (рис. 2).

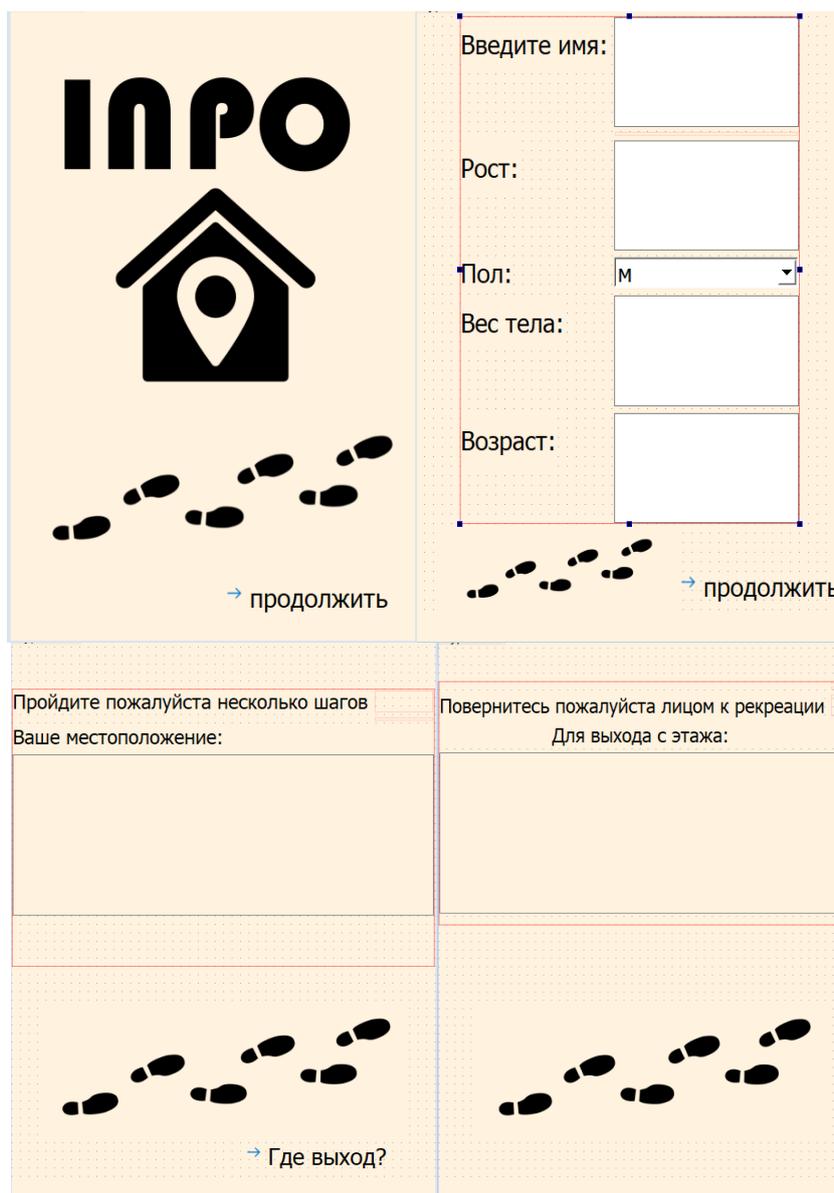


Рис. 2. Пользовательский интерфейс приложения

На текущий момент существует готовый прототип приложения навигации по магнитным полям с возможностью перехода между его страницами, разработан пользовательский интерфейс. В дальнейшем планируется расширение объектов для использования приложения, путём съёма и добавления новых карт магнитных полей,

также к интерфейсу будет подключена логика приложения, включающая все необходимые алгоритмы для корректной работы метода локальной навигации по магнитным полям. В перспективе планируется решение трехмерной задачи локальной навигации, чтобы сделать приложение универсальным для всех людей, исходя из их физических данных (например, роста), а также учитывать все направления движения пользователя.

Литература

1. Существующие технологии позиционирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: Технологии позиционирования RTLS - merusoft. (дата обращения: 12.02.2023).
2. Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: Model-View-Controller – Википедия (wikipedia.org). (дата обращения: 12.02.2023).
3. Официальный сайт Anaconda [Электронный ресурс]. Режим доступа: Anaconda | The World's Most Popular Data Science Platform. (дата обращения: 12.02.2023).
4. Qt Framework и инструменты [Электронный ресурс]. Режим доступа: Qt | Кроссплатформенные средства проектирования и разработки программного обеспечения. (дата обращения: 12.02.2023).

LAYER2 BLOCKCHAIN-BASED INFORMATION AND PAYMENT SYSTEM FOR SMART PARKING

Hajjouz A.¹ (master student)

Scientific supervisor – associate professor (qualification category "associate professor of practice"), Gordinin V.A.¹

1 – ITMO University

e-mail: abdukkaderhajjouz@gmail.com

Abstract

This research proposes a Layer 2 blockchain-based smart parking system, leveraging Ethereum technology to provide a secure, efficient, and decentralized platform for parking management. The system employs smart contracts, computer vision, and a distributed web application, offering a seamless parking experience. A key benefit is the significantly reduced transaction fees, reaching less than \$0.01, resulting in cost savings for both users and administrators, while enhancing security, transparency, data integrity and throughput with reduced latency in the parking process.

Keyword

Smart Cities, Smart Parking, Blockchain, Ethereum, Layer2, Smart Contract, Low cost, AI, Decentralized Applications, Dapp.

Introduction

Urban parking management faces significant challenges, including congestion, scarce parking spaces, inefficient payment methods, and safety concerns. As cities work towards becoming smarter and more connected, there is an urgent need for inventive solutions that can tackle these problems and enhance the parking experience. In our research, we present a blockchain-based smart parking system that utilizes Layer 2 Ethereum technology to deliver a smooth and fully automated parking experience, offering substantial advantages over traditional, IoT, and other blockchain systems. The goal is to establish a secure, efficient, and decentralized platform for managing parking information and transactions.

A Layer 2 blockchain-based smart parking system has the potential to decrease costs associated with traditional parking management and payment methods. By automating many manual tasks and removing the need for middlemen, this system is capable of reducing administrative expenses, lowering transaction fees, and speeding up parking transactions while making them more efficient. Additionally, the system enables secure and transparent data management, which reduces the likelihood of errors, fraud, or conflicts, further contributing to cost reductions and improved overall operational efficiency.

Proposed system description

A. System actors

Two actors can interact with the proposed system within the web application.

- **Owner:** Responsible for stopping and resuming slot reservation requests, in addition to withdrawing funds in the smart contract, adjusting reservation prices, and assigning the observer address.

- **User: Renter:** A person who is looking for an available slot in the car park to rent it. He registers his car plate number in the distributed web application directly, and then he can know the available slots and the status of the system with the possibility of booking and finalizing the reservation and payment, with the possibility of evaluating the service.

One actor can interact with the proposed system directly with the smart contract.

- **Monitor:** The address of the observer is assigned by the owner, and it is integrated with Python program with computer vision technology, which verifies that the users who made the reservation have parked their cars in the places they reserved, otherwise it will communicate

directly with the smart contract and send a transaction that includes the wallet address of the user who made the violation to add costs additional offense.

B. Infrastructure description

In this subsection, all the components which are indispensable to ensure the system functionalities are detailed in order from the lowest layer to the highest one.

- **Blockchain Layer:** Utilizing Ethereum's Layer 2 (Polygon) technology [1], this layer offers a scalable and cost-effective blockchain infrastructure for managing parking reservations, payments, and user evaluations. It also ensures secure and transparent transactions.
- **Smart Contracts Layer:** This layer contains the smart contracts responsible for handling parking reservations, payments, and enforcement of parking rules. It serves as the core business logic, enabling seamless interaction between users, the web application, and the blockchain.
- **Computer Vision Layer:** This layer employs advanced computer vision algorithms, such as YOLO v5 [2], Craft Network [3], and ResNet [4], to accurately detect and recognize license plates. It interacts with cameras placed at the entrance, exit, and parking slots to verify user reservations and identify violations.
- **Distributed Web Application Layer:** The user interface is built as a distributed web application, allowing users to interact with the system, register their car numbers, reserve parking slots, and make payments using a MetaMask wallet. This layer communicates with the smart contracts to facilitate various parking-related actions.
- **Camera and QR Scanning Layer:** This layer incorporates cameras and QR scanners at strategic locations, such as the entrance and exit points, to verify reservations and ensure a smooth parking process. Cameras monitor parking slots for compliance, while QR scanners offer an additional layer of verification, if needed (fig. 1).

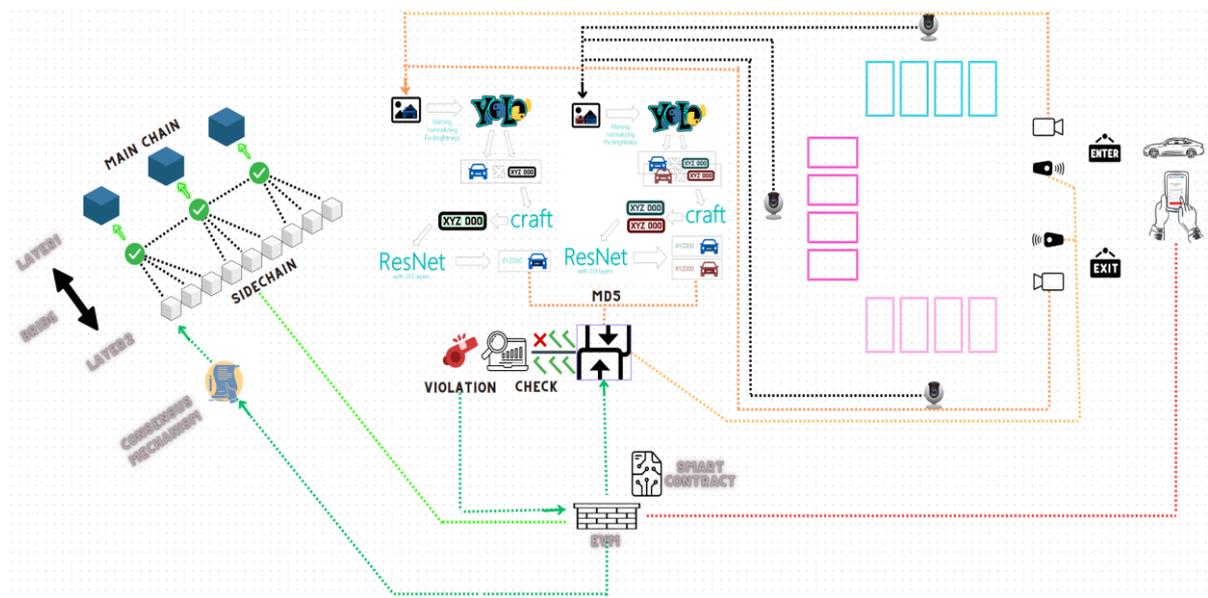


Fig. 1. Components of the System

C. System workflow

To better understand the benefits of the proposed system, we describe all the functionalities which are offered in the system. Figure 2 presents the sequence diagram of the entire system.

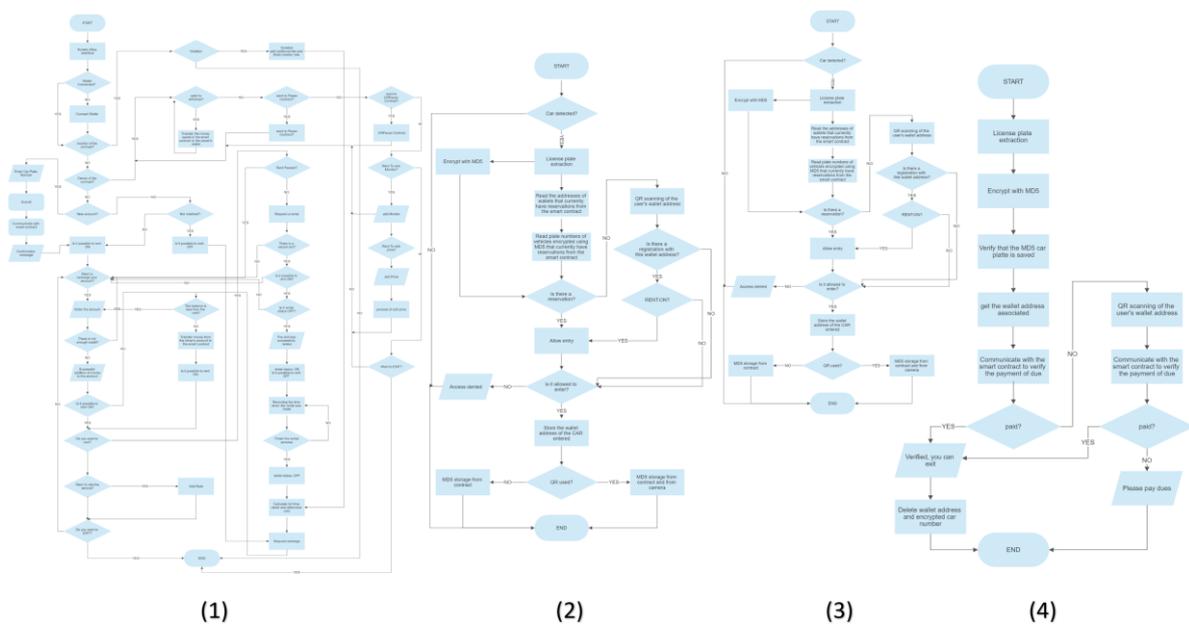


Fig. 2. Flow chart of the smart contract (1) and how the system works at the entrance (2), inside (3) and exit (4) of the smart parking

The blockchain-based smart parking system is an innovative solution that simplifies the parking process for users and administrators alike. By leveraging a decentralized web application (dApp) and smart contracts, this system streamlines the user journey and interaction, ensuring a seamless parking experience while offering developers opportunities to optimize and improve its design and functionality.

User registration begins with linking their wallet address to the decentralized web application. After verifying the address, the user's car license plate number is encrypted using MD5 and stored in the smart contract. Users can then deposit funds into their accounts, reserve parking slots, and rate the service quality through the dApp. To interact with the smart contract, users must access the distributed application link in their browser and connect their wallet address. Once linked, the smart contract automatically identifies the user's role, such as regular user, observer, or admin.

The system employs computer vision technology to identify car license plates and encrypt them using MD5. This information is then matched with the user's wallet address for verification during various stages of the parking process. When a user reserves a parking slot, the smart contract verifies their account balance and ensures they don't have any outstanding unpaid amounts or an active reservation. If all conditions are met, the reservation is approved, and the user can proceed to the parking lot.

Upon entering the parking lot, the user's encrypted license plate number is captured and matched with the smart contract's stored data. If there's a match, the car is allowed to enter. Otherwise, the user must provide their wallet's QR code for further verification. Once inside, the system continues to monitor parking slots using computer vision technology to detect any violations. If a violation is detected, the smart contract adds an additional amount to the user's payable amount as a penalty.

When the user is ready to leave the parking lot, they must finalize their reservation through the dApp. The smart contract calculates the total amount due based on the reservation's duration and deducts it from the user's account balance. If the user doesn't have enough balance to cover the cost, they must deposit additional funds to settle the payment. The exit process involves capturing the user's encrypted license plate number and verifying their payment status. Once payment is confirmed, the car is allowed to leave the parking lot.

Users can also evaluate the service quality at any time through a simple procedure in the distributed web application. This transparent rating system allows them to view the number of raters and the average rating on the statistics page.

Administrators can access their exclusive section in the dApp to monitor profits, manage pricing, and view user feedback. They can also activate or deactivate new slot reservation requests and assign a wallet address for the observer role. The observer is responsible for sending transactions to the smart contract when a user commits a parking violation. This process consumes gas as it is an executable transaction on the Ethereum network's second layer.

In conclusion, the blockchain-based smart parking system offers a seamless parking experience by integrating cutting-edge technology, such as dApp, smart contracts, and computer vision. This innovative solution benefits both users and administrators, providing a transparent, efficient, and secure parking management platform that can be further optimized and enhanced by developers in the future.

System evaluation

A. System testing

The system was tested comprehensively using a two-car scenario, where a reservation was identified for each of them at the entrance, but one of the two cars was parked in a section different from the reserved one, the security was detected and a violation transaction was sent to the smart contract to add additional fees, and the due amounts were paid from Before users to confirm this and exit the parking lot (fig. 3).



Fig. 3. Comprehensive system testing

B. Cost results

To evaluate the cost effectiveness of the functions, we used the Remix IDE to test the implemented smart contracts. The MetaMask browser extension is used, as a crypto wallet, to estimate the cost of each function tested with Remix.

We note that the transaction fee in our proposed system, which is on average less than 0.01 US dollars, is ten times less than the Visa Card at least [5] and twenty times less than the fee in the system that was proposed in the scientific paper published in 2022 in IEEE [6], which is based on the blockchain, and less by about 32 Weak from the PARKGENE project, which operates in many countries (fig. 4) [7].

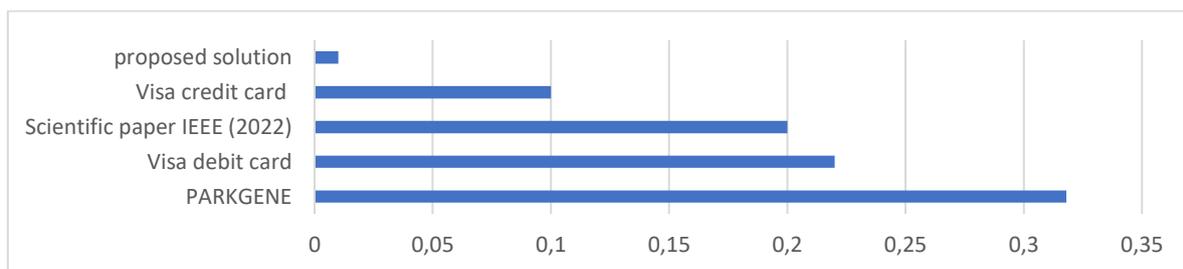


Fig. 4. Comparison of average transaction fees (in dollars) between the proposed system and other systems

C. Throughput and Latency results

The smart contract was tested on both the first layer of Ethereum and the second layer Polygon. The throughput calculation involved dividing the gas limit in the block by the average gas consumed for transactions, while the output was divided by the time interval between each block proposal on Polygon. Latency was considered by considering the time interval between each block proposal.

Our findings revealed that when utilizing the second layer solution on Polygon, the throughput was approximately 15 times greater than when using the first layer of Ethereum. Additionally, the latency was found to be around 20.83 percent of the first layer of Ethereum's latency (fig. 5).



Fig. 5. Comparison of throughput (transactions per second) and latency (seconds) between Ethereum first and second layers of the proposed system

D. Computer Vision Test

The License Plate Detection and Recognition system analyzed 2,686 images Russian car plate, correctly recognizing 2,491 plates with an accuracy of 92.74% and a recall of 98.11%. The F1 score, representing a balance between precision and recall, was 95.35%. The system had a false positive rate of 5.57% and a false negative rate of 1.89%, indicating a higher likelihood of false positives. In character recognition, the Character Error Rate (CER) was 7.26%, suggesting that the system made errors in approximately 7.26% of characters it tried to recognize, based on a total of 22,576 characters in all license plates (fig.6).

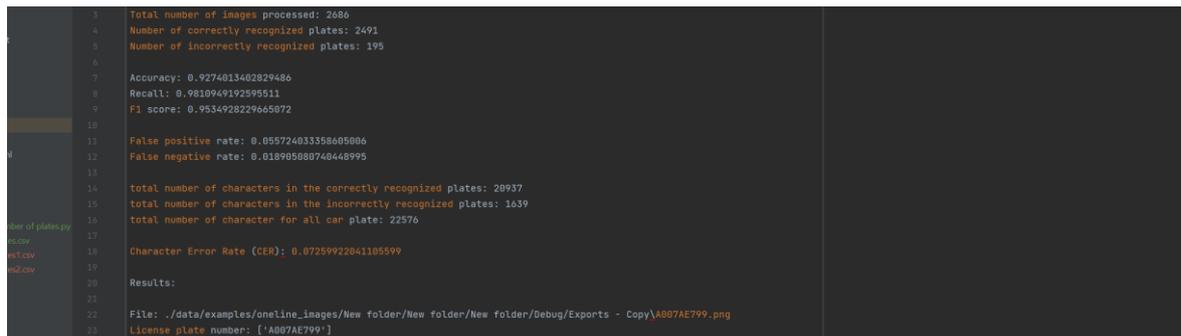


Fig. 6. Computer vision accuracy test results

Conclusion

In conclusion, the research proposes a Layer2 blockchain-based information and payment system for smart parking that uses the latest technologies, such as smart contracts, computer vision, and a decentralized web application where we have presented all components of the system and possible interactions between them. Targeting a major challenge to the development of smart cities, to provide a seamless and fully automated parking experience. The proposed system simplifies user journey and interaction, enhancing security, transparency, and data integrity in managing parking reservations and transactions. In addition, the decentralized

nature of the blockchain reduces individual points of failure and enhances the resilience of the system. Moreover, the use of smart contracts automates and simplifies parking-related transactions, reducing manual intervention and human errors. The comprehensive test conducted showed the effectiveness of the system in detecting reservations, terminating them, identifying parking violations, and adding additional fees. The throughput and latency results showed that using a Layer 2 solution on Polygon resulted in a significant improvement in system performance compared to using Layer 1 on Ethereum. The system provides a great detection accuracy of 92.74%, and there is a possibility to improve it. Overall, the proposed system provides a transparent, efficient, and secure parking management platform that benefits both users and administrators and can be improved in the future.

References

1. Sutopo A.H. (2023). Blockchain Programming Smart Contract on Polygon. Topazart.
2. Jocher G., Stoken A., Borovec J., Chaurasia A. & Changyu L. (2020). ultralytics/yolov5. Github Repository, YOLOv5.
3. Baek Y., Lee B., Han D., Yun S. & Lee H. (2019). Character region awareness for text detection. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 9365-9374).
4. He K., Zhang X., Ren S. & Sun J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. pp. 770-778.
5. Visa. (2022). Visa USA interchange reimbursement fees. Visa Public. Режим доступа: <https://usa.visa.com/content/dam/VCOM/download/merchants/visa-usa-interchange-reimbursement-fees.pdf>. (дата обращения: 12.02.2023).
6. Turki M., Dammak, B. & Mars R. (2022, November). A Private Smart parking solution based on Blockchain and AI. In 2022 15th International Conference on Security of Information and Networks (SIN) (pp. 1-7). IEEE.
7. PARKGENE PTE Ltd. (2018). PARKGENE: Decentralized peer-to-peer parking on the blockchain (White paper). Retrieved from. Режим доступа: https://parkgene.io/wp-content/uploads/2018/01/Whitepaper_FINAL_V.18.1.pdf. (дата обращения: 12.02.2023).

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Санджиева А.В.¹ (студент), Царькова М.А.² (студент)
Научный руководитель – к.э.н., доцент Горшков А.А.²
1 – ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА
2 – ФГБОУ ВО СПбГЭУ
e-mail: sandjjeva.alex@gmail.com, tsarkovamary@gmail.com

Аннотация

В работе проведен анализ существующих проблем начинающих предпринимателей и студентов, выявлены существующие методы решения, их преимущества и недостатки. На основе полученных результатов предложено создание онлайн-платформы агрегатора с применением RPA и AI технологий. Кроме того, был проведён финансово-экономический анализ: анализ конкурентов, TAM, SAM, SOM, построена финансовая модель.

Ключевые слова

Начинающие предприниматели, стартапы, онлайн-платформа, агрегатор, RPA-технологии, AI, PostgreSQL, поисковой сервис, молодёжь, менторы, инвесторы.

В мире стремительно растёт количество стартапов, появляются всё новые и новые единороги. В 2021 году в 13 странах мира (например, Мексика, Сенегал, Вьетнам) впервые официально появились единороги. Однако Россия до сих пор остаётся в списке стран без единого единорога [1]. Лидерами рынка по количеству стартапов в год являются США и Китай. В последнее время Европа начала стремительно догонять своих конкурентов. Инвестиции в европейские стартапы в 2021 году выросли в 2,9 раза, и составили почти 49 млрд евро. Получается, что по темпам роста Европа стала самым быстрорастущим и крупным регионом по венчурным инвестициям в стартапы. К сожалению, и здесь Россия находится далеко не в первых рядах [2].

В целях изменения сложившейся тенденции в 2020 году был издан указ президента о национальных проектах (от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»), в рамках которого Минэкономразвития разработало новую структуру паспорта национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы», которая включает четыре федеральных проекта: поддержка самозанятых, преакселерация, акселерация субъектов МСП, цифровая платформа МСП [3]. В связи с чем нами было разработано ИТ-решение, призванное обеспечить выполнение нац. проектов и облегчить начинающим предпринимателям процесс создания стартапа.

Прежде чем рассматривать непосредственно проект, предлагаю обратиться к проблемам, которые он призван решить. Для чего сейчас будет рассмотрена целевая аудитория (ЦА). В неё вошли:

1. Студенты со всей России, ищущие проект.
2. Стартапы ищущие студентов в команду.
3. Студенты ищущие науч. рук./рецензентов
4. Преподаватели, ищущие студентов для участия в каких-л мероприятиях.
5. Люди, желающие быть менторами/наставниками/науч. рук.
6. Инвесторы, ищущие стартапы для инвестиций.

Однако на начальном этапе мы решили больше сконцентрироваться на начинающих предпринимателях/стартаперах. Как правило это молодёжь в возрасте до 35 лет, проживающая на территории России преимущественно в крупных и средних городах (от 200 тыс.), получающая высшее образование, занимающая активную жизненную позицию. А именно принимающая участие в акселераторах, хакатонах, конференциях и т. п. Создающая свои проекты или желающая участвовать в них.

После проведения небольшого исследования рынка и выявления целевой аудитории, были выделены основные проблемы, с которыми сталкиваются начинающие предприниматели. Ключевыми факторами оказались: разрозненность информации об открытии своего дела и поиск инвесторов, менторов, людей в команду. Так как начинающие предприниматели – лишь часть нашей ЦА, предлагаем также рассмотреть проблемы, существующие и у других целевых групп.

1. Студенты, активная молодежь, заинтересованная в участие в различных мероприятиях, конкурсах, форумах, научно-образовательных конференциях:

– проект помогает решить проблему быстрого поиска информации по различным мероприятиям, конкурсам, форумам, грантовым программам, которые интересны и актуальны для студентов, молодых ученых и исследователей, стартаперов и просто заинтересованных людей, так как сейчас эта информация разбросана по разным сайтам, платформам, её сложно найти, приходится тратить много времени. На платформе всё будет сосредоточено в одном месте;

– разобщённость студентов внутри страны, отсутствие информации о деятельности друг друга, наличии того или иного оборудования в университетах страны (необходимого многим для исследований);

– трудности с поиском менторов, наставников, рецензентов и т. п. у студентов, что легко решается при помощи такой платформы. Более того можно будет связаться с рецензентами из ведущих ВУЗов страны. А не только своего университета;

– поддержание активной молодёжи. Благодаря общению с единомышленниками, наставниками, менторами, большими возможностями, молодёжь будет чувствовать поддержку и быстрее достигать результата.

2. Стартаперы, желающие продвинуть свои идеи и проекты:

– трудности в создании и развитии стартапов. На платформе будут собраны курсы, акселераторы, фонды, инвесторы, наставники и т. д., необходимые для открытия своего дела;

– сложности с поиском команды в стартап. На платформе стартаперы смогут находить себе специалистов с нужными компетенциями. Платформа помогает юным предпринимателям, стартаперам, бизнесменам, студентам.

3. Сотрудники ВУЗов и ССУЗов, выступающие в качестве менторов, модераторов и наставников:

– сложность создания студенческих обществ, мероприятий, коворкингов и т. п. Огромное кол-во бюрократической работы, что решается переходом в онлайн;

– разобщённость научных кадров внутри страны, отсутствие информации о деятельности друг друга, наличии того или иного оборудования в университетах страны (необходимого многим для исследований);

– трудности с получением нужного кол-ва достижений (своих и студентов), благодарностей и т. п., тк не всегда имеется достаточно заинтересованных и активных студентов в своём университете. Здесь же целеустремлённые преподаватели смогут реализовывать свой потенциал в полном объёме благодаря студентам из других регионов страны, получать за это грамоты и надбавки к зп, мотивировать успехом менее активных студентов.

4. Инвесторы, желающие найти новых инициативных сотрудников и помочь юным стартаперам и начинающим предпринимателям:

– сложности с выявлением перспективных стартапов на ранней стадии развития, когда наиболее выгодно в них инвестировать. Платформа даст возможность инвесторам следить за развитием как проектов в целом, так и отдельных студентов в частности.

Рассмотрим, как сейчас решаются вышеуказанные проблемы. Для поиска информации об открытии стартапа, мероприятиях, инвестировании и т. п. применяют такие варианты:

1. Самостоятельный сбор информации.

2. Участие в акселераторах.
3. Найм эксперта со стороны.
4. Вступление в клубы предпринимателей.

Выгодные с точки зрения отсутствия финансовых вложений первые два способа сильно уступают двум последним ввиду отсутствия личного контакта с экспертом. Не всегда акселераторы сразу предоставляют менторскую поддержку, т. е. возможность задавать все, интересующие вопросы, разбирать трудности. Недостатками же последних двух вариантов является их дороговизна. Не у всех на начальном этапе есть свободные средства для найма эксперта или занятий в бизнес-клубе. С учётом того, что нашей целевой аудиторией была выбрана молодёжь в возрасте от 18 до 30 лет, можно не рассматривать последние два пункта.

Для поиска людей в команду существует чуть больше вариантов. Поиск по знакомым, через группы и сообщества, профильные мероприятия и форумы, кадровые агентства и биржи фриланса [4]. Однако у всех них есть два существенных недостатка: длительный поиск и отсутствие гарантий квалификации.

С целью решения этих проблем, нами было задумано разработать 3 продукта. 2 основных – это онлайн-платформа и приложение (созданы прототипы в Figma). И 1 вспомогательный – чат-бот в Телеграм, создан в качестве MVP для тестирования идеи и участия в грантовых конкурсах/акселераторах.

На онлайн-платформе «Территория возможностей» при помощи RPA-бота и поисковика будут собираться и постоянно обновляться все, существующие курсы, форумы, акселераторы и мероприятия для предпринимателей. Это значительно сократит время на поиск подходящего курса/мероприятия, которые также будут фильтроваться по тематике, городам и т. п.

На платформе будет реализовано 3 типа пользователя (помимо Администратора). На аккаунте Студент (Активная молодёжь), участники смогут пользоваться сервисом поиска людей и искать образовательные курсы, мероприятия, стажировки и т. п., собранные RPA и поисковым ботами со всех существующих сайтов. После записи на мероприятие или курс они будут добавляться в календарь событий, откуда будут приходить уведомления, чтоб человек не забывал о встрече, домашнем задании и т. п.

Аккаунт Стартапера кардинально не будет отличаться от аккаунта студента. Однако в нём будет возможность также найти инвестора, а мероприятия, акселераторы и курсы будут сосредоточены исключительно на предпринимательской деятельности.

На аккаунте Преподаватель помимо вышеперечисленных возможностей преподаватели и другие желающие смогут выступать наставниками и экспертами, организовывать мероприятия, размещать объявления на них, приглашать и добавлять студентов, а также искать инвестиции для их организации.

Для решения вопроса поиска людей планируется создать отдельный малофункциональный мессенджер внутри платформы. Это своеобразная «телефонная книжка», где указана информация о: специалистах со всей России, ищущих проект, стартапах ищущих специалистов в команду, людях, желающих выступить менторами/наставниками, инвесторах, ищущих стартапы для инвестиций.

Участники регистрируются, вносят информацию о себе (похоже на краткое резюме): образование, проектный опыт, опыт работы, чего ждут от платформы и т. п.

Затем им предлагается при помощи специальных фильтров-тегов найти нужного специалиста, например, человека в команду стартапа. Из выпавшего списка имён, после изучения карточек участников, они выбирают одного или несколько потенциальных сокомандников.

Далее Вы списываетесь с ними внутри анонимного чата на ресурсе для уточнения всех деталей и выбора конкретного кандидата. Когда оба приходят к договорённости (Вы готовы взять специалиста в команду, а он готов пойти к Вам). Вы запрашиваете у него контакты и проводите оплату 10 руб. (7 руб. идут платформе, а 3 специалисту, которого

наняли). По такому же принципу будет происходить поиск проектов/наставников/инвесторов.

Помимо единой базы специалистов, преимуществами подобного поиска являются: анонимность, отсутствие спама (как, например, в массовых каналах телеграмм), гарантия истинности информации (т. к. планируется запрашивать подтверждение внесённых данных, например, через портал Госуслуги).

Теперь предлагаем рассмотреть технологии, использованные в проекте. Для начала работы над проектом была использована интегрированная среда разработки Android Studio. Эта среда позволяет разрабатывать приложения для ОС Android, используя язык программирования Java. Java был выбран как основной язык программирования, так как он является одним из самых распространенных языков в мире и имеет широкую поддержку.

Для хранения данных была выбрана СУБД PostgreSQL. PostgreSQL является одной из самых мощных и надежных СУБД в мире, и он имеет широкую поддержку в сообществе разработчиков. Для работы с PostgreSQL был выбран фреймворк JPA (Java Persistence API), который позволяет разрабатывать приложения, использующие СУБД, на языке Java.

В качестве дополнительного инструмента для проверки идеи был создан чат-бот в Telegram. Чат-бот был разработан на языке программирования Python, используя фреймворк cherrypy и web hook. Чат-бот позволяет пользователям зарегистрироваться и использовать функции поиска, которые будут доступны в будущем мобильном приложении.

Чтобы хранить данные чат-бота, был использован VPS-сервер с ОС Ubuntu. VPS-сервер позволяет размещать приложения в облаке, что обеспечивает высокую доступность и надежность приложения.

С целью повышения эффективности и удобства использования сервиса, мы будем применять RPA+AI – технологии автоматизации бизнес-процессов и искусственного интеллекта.

Robotic process automation (RPA) – это технология, которая позволяет автоматизировать бизнес-процессы с помощью программных роботов. Она позволяет ускорить выполнение рутинных задач, уменьшить количество ошибок и повысить эффективность работы.

Artificial intelligence (AI) – это технология, которая позволяет компьютерам обучаться и принимать решения на основе большого объема данных. RPA позволяет автоматизировать повторяющиеся задачи.

AI позволяет создавать интеллектуальные системы, которые могут принимать решения на основе анализа данных и выдавать RPA задачи для умной автоматизации поиска. AI также будет использован для предложения наиболее подходящих вариантов. Например, приложение может проанализировать данные о пользователе и предложить ему наиболее подходящих студентов, стартаперов или менторов на основе его интересов, опыта работы и других параметров.

Теперь предлагаем рассмотреть самые важные финансово-экономические показатели. Начнём с анализа конкурентов. Так как проект очень масштабный, то анализировать пришлось очень много игроков от платформ для обучения до бизнес-клубов. В сфере стартапов главными, пожалуй, оказались крупнейшие бизнес-клубы, такие как:

- бизнес-клуб «Атланты»;
- club 500;
- terra;
- names.

Ниже представлены ключевые преимущества нашей платформы, позволяющие нам выделиться среди конкурентов и занять свою нишу:

- вся информация в одном ресурсе;
- долгосрочная экспертная и/или менторская поддержка;
- возможность найти специалиста в команду;
- возможность связаться с инвесторами.

Кроме того, нами был проведён анализ рынка TAM, SAM, SOM. Общий, доступный и достижимый объёмы рынка. Вся информация взята из исследования Data Insight за 2021 год [5].

TAM – 4,5 млн общее количество провайдеров в сегменте микробизнеса.

SAM – 12% выручки по категории Деловые услуги от общего кол-ва услуг.

SOM – 39 млн. Территория возможностей на 2025 г.

Ниже, в таблице, можно увидеть нашу финансовую модель, по подсчётам в которой срок окупаемости проекта составит 4 месяца.

Таблица

Финансовая модель

	2023	2024	2025
Объём продаж, ед. услуг			
Консультации	1000	5000	10 000
Сопровождение	10	20	100
Кол-во клиентов, подписка	1500	5000	10 000
Средний чек, руб.	3000	3000	3000
Консультации	40 000	40 000	40 000
Подписка	500	500	500
Выручка, тыс. руб.	4150	16 800	39 000
Расходы, тыс. руб.	5000	10 000	15 000
Операционная прибыль, тыс. руб.	-850	6 800	24 000

На начальном этапе платформа будет работать только для стартаперов и по подписке. Стоимость её – 500 руб, что является средним по рынку. В подписку будет включён весь функционал платформы, однако после исчерпания 3-х бесплатных консультаций/или желая услышать мнение более дорогого эксперта, за консультацию и/или сопровождение придётся доплатить оговоренную с наставником сумму.

Дальнейшие планы – это привлечение инвестиций, расширение возможностей и перевод платформы на бесплатный и премиум тарифы. К премиум-функциям будут относиться, например:

- продвижение своего резюме (чтобы больше людей увидело его);
- получение пакета с бóльшим кол-вом кликов (в стандартной версии кол-во людей, которым можно написать за день лимитировано = 5 чел.).

Таким образом, проект будет прибыльным, с высокой скоростью окупаемости и масштабным социальным эффектом. Например, он будет способствовать:

- росту числа МСП среди стартапов до 70%;
- увеличению дохода и среднего заработка до 85%;
- росту уровня самореализации и удовлетворения до 90%.

Подытоживая, нами был проведён анализ рынка услуг для начинающих предпринимателей, выявлены основные проблемы (при помощи соц. опроса), разработано современное и эффективное решение, предприняты шаги по его внедрению (лендинг проекта, прототип платформы в Figma, чат-бот с базой данных, прототип приложения, экономические и бизнес-расчёты). Проект разрабатывался в рамках конкурса «Твой ход», после участия в котором мы также прошли обучение в

акселераторе РУДН (-0 +500), где получили грант на материальную и информационную помощь.

Литература

1. Стартапы [Электронный ресурс] // <https://www.tadviser.ru>. Режим доступа: URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%BF%D1%8B>, свободный (дата обращения: 29.01.2023).
2. Рост количества стартапов в Европе в 2021 году [Электронный ресурс] // <https://internationalwealth.info> Режим доступа: URL: <https://internationalwealth.info/startups-abroad/rost-kolichestva-startapov-v-evrope/>. свободный (дата обращения: 29.01.2023).
3. Министерство экономического развития Российской Федерации [Электронный ресурс] // <https://www.economy.gov.ru> Режим доступа: URL: [.https://www.economy.gov.ru/material/directions/nacionalnyu_proekt_maloe_i_srednee_predprinimatelstvo_i_podderzhka_individualnoy_predprinimatelskoj_iniciativy/](https://www.economy.gov.ru/material/directions/nacionalnyu_proekt_maloe_i_srednee_predprinimatelstvo_i_podderzhka_individualnoy_predprinimatelskoj_iniciativy/), свободный (дата обращения: 01.02.2023).
4. 11 способов найти команду для стартапа [Электронный ресурс] // <https://admitad.pro>. Режим доступа: URL: <https://admitad.pro/ru/blog/11-sposobov-najti-komandu-dlya-startara>, свободный (дата обращения: 07.02.2023).
5. Исследование рынка Деловых услуг на конец 2021 года. [Электронный ресурс] // <https://datainsight.ru/>. Режим доступа: URL: https://datainsight.ru/Service_order_2021, свободный (дата обращения: 07.02.2023).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**ПОИСК АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ
АППРОКСИМАЦИИ ОБОБЩЕННЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ АНДЕРСОНА-ДАРЛИНГА ДЛЯ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

Береговенко И.И.¹

Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент А.И. Трифанов¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: 283091@niuitmo.ru

Аннотация

В рамках работы рассматривается проблема задания асимптотической оценки сложности аппроксимации частного случая обобщенных многопараметрических процессов Андерсона-Дарлингга, являющихся одними из важных представителей гауссовских процессов. Оценка базируется на идее рассмотрения сложности аппроксимации, как функции, напрямую зависящей от собственных чисел интегрального ковариационного оператора с ядром в виде ковариационной функции вышеописанного процесса.

Ключевые слова

Процесс Андерсона-Дарлингга, информационная сложность, сложность аппроксимации в среднем.

Задачи, обладающие высокой размерностью, встречаются во многих областях науки, начиная с экономики и заканчивая статистической физикой. К ним также относится проблема подсчета интегралов высокой размерности, что появляются при моделировании стохастических процессов. Заметим, что с ростом параметрической размерности последних вычислительная сложность моделирования процессов растет настолько быстро, что их построение, например, в компьютере, требует от нас значительных вычислительных мощностей. Ввиду этого при моделировании случайных процессов обращаются к различным аппроксимациям, что с одной стороны уже требуют в значительной степени меньших вычислительных затрат в отличии от прямого метода моделирования, но с другой стороны все еще могут требовать значительных мощностей для вычисления отдельных функционалов, необходимых для построения модели случайного процесса. В этой связи появляется заинтересованность в задании оценки сложности аппроксимации при фиксированных параметрах порога ошибки ε и параметрической размерности процесса равной d .

Цель этой работы заключается в поиске асимптотической оценки сложности аппроксимации $n(d; \varepsilon)$ для частного случая многопараметрических обобщенных процессов Андерсона-Дарлингга $X_d(t)$, когда параметры процесса μ_j стремятся к нулю. Заметим, что последовательность из d параметров μ_j в действительности задает многопараметрический случайный процесс размерности d .

Вышеописанные процессы являются разновидностью гауссовских процессов. Отличительной особенностью последних является то, что последние можно задать через вектор математических ожиданий и матрицу ковариации. В свою очередь, так как для удобства в этой работе мы рассматриваем центрированный процесс, в действительности вышеописанный процесс можно смоделировать через матрицу ковариаций, задающуюся через функцию ковариации процесса Андерсона-Дарлингга:

$$K^d(t, s) = \prod_{i=1}^d \left(\frac{\min(t_i, s_i) - t_i s_i}{\sqrt{t_i(1-t_i)} \sqrt{s_i(1-s_i)}} \right)^{\mu_i}, \quad (1)$$

где $t, s \in [0; 1]^d$.

В свою очередь проблема при прямом методе моделирования напрямую связана с матрицей ковариации размер, которой напрямую зависит от параметрической размерности случайного процесса, а также частоты дискретизации. В свою очередь это влечет за собой не только трудности с хранением данной матрицы, но и с ее обработкой. Ввиду данных обстоятельств используют аппроксимацию, что в данной работе является разложением Карунена-Лоэва:

$$\widetilde{X}_d(t) = \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i^d} \cdot \psi_i^d(t) \cdot Y_i,$$

где λ_i^d - собственные числа интегрального ковариационного оператора с ядром ковариационной функции (1); $\psi_i^d(t)$ - собственные ортонормированные функции интегрального ковариационного оператора с ядром ковариационной функции (1); Y_i - случайная величина, распределенная по стандартному нормальному закону распределения; $t \in [0; 1]^d$.

Интегральный ковариационный оператор с ядром ковариационной функции (1) задается следующим образом:

$$\mathcal{K}^d f(t) = \int_{[0;1]^d} K^d(t,s) f(s) ds, \quad (2)$$

где $t \in [0; 1]^d$.

Более формально зададим понятие сложность аппроксимации:

$$n(d; \varepsilon) = \min \left\{ n \in \mathbb{N} : \mathbb{E} \|X_d(t) - \widetilde{X}_d(t)\|^2 \leq \varepsilon^2 \mathbb{E} \|X_d(t)\|^2 \right\}, \quad (3)$$

где $\|\cdot\|$ - норма пространства $L_2([0; 1]^d)$.

Ввиду того обстоятельства, что сложность аппроксимации была задана формулой (3), мы можем воспользоваться результатами работы А. Хартова, посвященной асимптотическому анализу сложности аппроксимации в среднем для случайных величин, определенных в Гилбертовом пространстве [1]. Исходя из последней следует, что сложность аппроксимации можно оценить, как:

$$\ln n(d; \varepsilon) = a_d + q(\varepsilon) b_d + o(b_d),$$

где a_d - последовательность; b_d - положительная последовательность; $q(\varepsilon)$ - квантильная функция предельного распределения.

В свою очередь $q(\varepsilon)$, являясь функцией обратной функции распределения $G_d(x)$, задается, как:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} G_d^{-1}(x)(1 - \varepsilon^2) = q(\varepsilon).$$

Функция же распределения $G_d(x)$ для случайной величины U_j имеет вид:

$$G_d(x) = \mathbb{P} \left(\frac{\sum_{j=1}^d U_j - a_d}{b_d} \right).$$

Заметим, что случайные независимые величины U_j задаются следующим законом:

$$\mathbb{P}(U_j = \ln|\lambda_{j,k}|) = \lambda_{j,k},$$

где $\lambda_{j,k}$ – собственные числа интегрального ковариационного оператора с ядром ковариационной функции (1).

Данный подход используют с той целью, чтобы свести задачу поиска сложности аппроксимации к предельным теоремам сумм независимых случайных величин. В работе собственные числа ковариационного оператора (2) будем рассматривать в порядке не возрастания.

Теперь воспользуемся наработками статьи Пайка, посвященной изучению многомерного расширения случайного процесса Андерсона-Дарлингга [2]. В последней говорится, что собственные числа интегрального ковариационного оператора (2) с ядром (1) задаются по формуле:

$$\lambda_{j,k} = \frac{\mu_j}{(\mu_{j+k-1})(\mu_{j+k})},$$

где $k \in \mathbb{N}$.

Таким образом, обладая законом распределения вероятностей для U_j , задача поиска сложности аппроксимации сводится к изучению поведения функции распределения $G_d(x)$, из которой можно определить оценки на последовательности a_d и b_d .

Поэтому проверим возможность применения ЦПТ Ляпунова. Тогда после ее применения получим, что:

$$G_d(x) \rightarrow \Phi(x), \tag{4}$$

где $\Phi(x)$ - функция распределения стандартного нормального распределения.

При выполнении условия (4) обнаружим, что последовательности a_d и b_d задаются, как:

$$a_d = \sum_{i=1}^d E_{\mu_j}, \quad b_d = \sqrt{\sum_{i=1}^d D_{\mu_j}}.$$

Тогда для оценки сложности аппроксимации нам необходимо сначала проверить выполнения критерия Ляпунова, а затем задать оценки на математическое ожидание и дисперсии для фиксированного параметра μ_j , что позволит задать оценку на последовательности a_d и b_d задаются.

Критерий Ляпунова задается следующим образом:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^d E|U_j - U_j|^3}{(\sum_{i=1}^d D_{\mu_j})^{3/2}} = 0.$$

Однако для удобства представим критерий, как:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^d E|U_j - U_j|^3)^2}{(\sum_{i=1}^d D_{\mu_j})^3}} = 0.$$

Так как сложность аппроксимации в действительности зависит от последовательности собственных чисел интегрального оператора (2) рассматривают последовательности упорядоченные по не возрастанию. Таким образом, начиная с некоторого момента собственные числа перестают оказывать значимое влияние на оценку.

Из закона распределения случайной величины U_j следует, что математическое ожидание и дисперсия задаются следующим образом:

$$E_{\mu_j} \approx \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+} \frac{\mu_j}{(\mu_j+k-1)(\mu_j+k)} \ln \frac{(\mu_j+k-1)(\mu_j+k)}{\mu_j},$$

$$D_{\mu_j} \approx \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+} \frac{\mu_j}{(\mu_j+k-1)(\mu_j+k)} \left(\ln \left(\frac{(\mu_j+k-1)(\mu_j+k)}{\mu_j} \right) \right)^2 - (E_{\mu_j})^2.$$

В свою очередь для удобства будем считать, что k^+ в действительности стремится к бесконечности. Зная это, зададим оценку на математическое ожидание, которая примет значение:

$$E_{\mu_j} = \ln(\mu_j + 1) + 2.$$

Тогда в силу тривиальных преобразований обнаружим, дисперсия для фиксированного μ_j задается, как:

$$D_{\mu_j} = A_2^1 - A_2^2 + A_2^3 - A_2^4, \quad (5)$$

где слагаемые в (5) задаются, как:

$$A_2^1 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+-1} \left(\frac{\mu_j}{\mu_j+k} \ln \frac{\mu_j+k+1}{\mu_j+k-1} \left(\ln \frac{(\mu_j+k)^2((\mu_j+k)^2-1)}{\mu_j^2(\mu_j+1)^2} \right) \right), \quad (6)$$

$$A_2^2 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \frac{\mu_j(2\mu_j+k^+)}{(\mu_j+k^+)^2} \ln^2 \left(\frac{(\mu_j+k^+)(\mu_j+k^+-1)}{\mu_j} \right), \quad (7)$$

$$A_2^3 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \frac{2\mu_j}{\mu_j+k^+} \ln \frac{(\mu_j+k^+-1)(\mu_j+k^+)}{\mu_j} \left(\ln(\mu_j + 1) + \sum_{k=1}^{k^+-1} \frac{\mu_j}{\mu_j+k} \ln \frac{\mu_j+k+1}{\mu_j+k-1} \right), \quad (8)$$

$$A_2^4 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^{k^+-1} \frac{\mu_j}{\mu_j+k} \ln \frac{\mu_j+k+1}{\mu_j+k-1} \right)^2. \quad (9)$$

При этом обратим внимание не то, что слагаемые (7) и (8) в пределе стремятся к нулю. Для того, чтобы оценить оставшиеся слагаемые (6) и (9), воспользуемся свойством, что:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \lambda_{j,k} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu_j}{(\mu_j+k)(\mu_j+k-1)} = 1.$$

Тогда оценка дисперсии примет вид:

$$D_{\mu_j} = 8\mu_j C_1 - 8 \ln(\mu_j) - 4,$$

где C_1 – константа, заданная, как $\lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+-1} \frac{\ln(k)}{k^2} \leq C_1$.

Тогда, рассмотрев третий момент, обнаружим, что в результате преобразований оценка последнего соответствует:

$$E|U_j - U_j|^3 = A_3^1 - A_3^2 + A_3^3,$$

где слагаемые задаются, как:

$$A_3^1 = |\ln(\mu_j + 1) - EU_j|^3,$$

$$A_3^2 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+-1} \frac{2\mu_j}{(\mu_j+k)(\mu_j+k-1)} (2B_3^1 + B_3^2),$$

$$A_3^3 = \lim_{k^+ \rightarrow \infty} \frac{\mu_j}{\mu_j+k^+} \left| \ln \frac{(\mu_j+k^+-1)(\mu_j+k^+)}{\mu_j} - EU_j \right|^3,$$

где второе слагаемое задается через следующие слагаемые:

$$B_3^1 = \left| \ln \frac{(\mu_j+k)(\mu_j+k+1)}{\mu_j} - EU_j \right|^2, B_3^2 = \left| \ln \frac{(\mu_j+k-1)(\mu_j+k)}{\mu_j} - EU_j \right|^2.$$

Обнаружим, что в действительности слагаемое A_3^2 можно оценить сверху. В тоже время слагаемое A_3^3 в пределе стремится к нулю. Тогда в действительности оценка третьего момента примет вид:

$$E|U_j - U_j|^3 = |-2|^3 + 6 \left(\ln \mu_j + E_{\mu_j} \right)^2 - 24\mu_j \cdot \ln \mu_j \cdot C_1 + 24\mu_j (C_2 - E_{\mu_j} C_1),$$

где C_2 – константа, заданная, как $\lim_{k^+ \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{k^+-1} \frac{(\ln(k))^2}{k^2} \leq C_2$.

Так как мы рассматриваем предел, нам достаточно рассмотреть лишь то слагаемое, что больше остальных влияет на сумму третьих моментов, когда параметры процесса μ_j стремятся к нулю. Таковым окажется второе слагаемое. Тогда получим предел:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{36 \left(\sum_{i=1}^d (\ln \mu_j + E_{\mu_j})^2 \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^d (8\mu_j C_1 - 8 \ln \mu_j - 4) \right)^3}}.$$

Заметим, что наибольшим образом на каждую из в пределе влияют слагаемые с $\ln \mu_j$. Далее воспользовавшись тем, что в нашем случае μ_j , чтобы свести числитель и знаменатель к параметру d , можно представить, как:

$$\mu_j \approx \frac{c}{j^\alpha \ln^\beta j},$$

где $\alpha, \beta, c > 0$.

После замены обнаружим, что функция $\ln \left(\frac{c}{j^\alpha \ln^\beta j} \right)$ является правильно меняющейся функцией [3], в следствии чего предел примет вид:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{36 \cdot \left| \ln \left(\frac{c}{j^\alpha \ln^\beta j} \right) \right|^2}{512 \cdot d}} = 0.$$

Таким образом в следствии выполнения критерия Ляпунова мы можем воспользоваться центральной предельной теоремой (4), которая позволяет нам рассматривать функцию распределения $G_d(x)$, как функцию, стремящуюся к стандартному нормальному распределению.

Тогда можем задать оценки на последовательности a_d и b_d , как:

$$a_d = \sum_{j=1}^d (\ln(\mu_j + 1) + 2), b_d = \sqrt{\sum_{j=1}^d (8\mu_j C_1 - 8 \ln(\mu_j) - 4)}.$$

Таким образом в результате проведенной работы получилось задать оценку на сложность аппроксимации многомерного обобщенного процесса Андерсона-Дарлинга, параметры которого стремятся к нулю. По итогу была получена, оценка задающаяся, как:

$$\ln n(d; \varepsilon) = a_d + q(\varepsilon)b_d + o(b_d),$$

где $a_d = \sum_{j=1}^d (\ln(\mu_j + 1) + 2)$; $b_d = \sqrt{\sum_{j=1}^d (8\mu_j C_1 - 8 \ln(\mu_j) - 4)}$; $q(\varepsilon) = \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2)$.

Полученный результат, хоть и является новым ввиду того факта, что ранее данный случай аппроксимации не рассматривался, все еще требует анализа эффективности, оценка которой будет проводится в будущем различными эмпирическими методами.

Литература

1. Khartov A.A. Asymptotic analysis of average case approximation complexity of Hilbert space valued random elements // *Journal of Complexity*. 2003. №31. С. 835–866.
2. Рукке J.-R. Multivariate extensions of the Anderson–Darling process // *Stat.&Probab. // Letters*. 2003. №63. С. 387–399.
3. Сенета Е. Правильно меняющиеся функции // Издательство “Наука”. 1985. С. 54-59.

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОЛЗУЧЕСТИ ТОЛСТОСТЕННОЙ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ АНИЗОТРОПИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФОЙХТА

Красильникова А.А.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Арланова Е.Ю.¹

¹ – ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет

e-mail: krasilnikova.aa@samgtu.ru

Аннотация

Поставлена вязкоупругая задача для толстостенной трубы из анизотропного материала с приложенными внутренним и внешним давлениями. Найдены определяющие соотношения для напряжений и деформаций на основе вязкоупругой модели Фойхта в дифференциальной и интегральной формах. Получено аналитическое решение поставленной задачи. Показано сведение полученной модели вязкоупругого тела из ортотропного материала к моделям толстостенной трубы из изотропного материала.

Ключевые слова

Вязкоупругость, модель Фойхта, ползучесть, анизотропия, ортотропия, толстостенная труба.

Толстостенные конструкции являются одним из эффективных средств, отвечающих технологическим условиям работы в условиях интенсивного силового и теплового нагружения. Изучению поведения толстостенных труб посвящено большое количество работ [1-7], но в подавляющем большинстве из них материал конструкций является упругим, не обладает реологическими свойствами и/или является изотропным. Явление ползучести свойственно некоторым металлам, явно проявляется в бетоне, грунте, дереве и особенно в полимерах. Учет фактора ползучести необходим для корректного расчета работы конструкций, поэтому изучение вязкого поведения толстостенных конструкций, в том числе труб, изготовленных из анизотропных материалов, является актуальной задачей.

Перейдем к постановке задачи. Пусть имеется толстостенная труба из ортотропного материала с внутренним и внешним радиусами r_0 и R , на которую действуют постоянные симметрически распределенные относительно оси трубы внутренние и внешние давления q_0 и Q (см. рисунок).

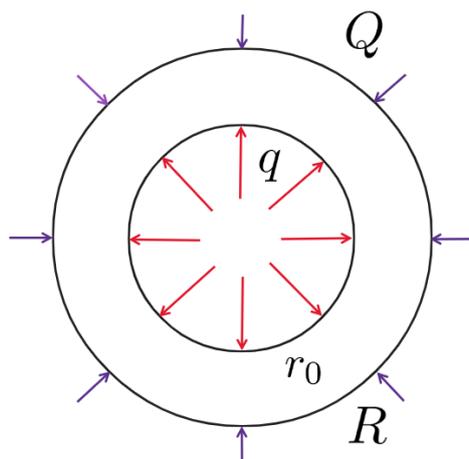


Рисунок. Сечение толстостенного цилиндра с постоянными внутренним и внешним давлениями

Тогда уравнение равновесия для толстостенной трубы будет иметь вид

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (1)$$

где $\sigma_r = \sigma_r(r, t)$ и $\sigma_\theta = \sigma_\theta(r, t)$ – радиальное и окружное напряжения.

Уравнение совместности деформаций имеет вид

$$\varepsilon_r - \varepsilon_\theta - r \frac{\partial \varepsilon_\theta}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

где $\varepsilon_r = \varepsilon_r(r, t)$ и $\varepsilon_\theta = \varepsilon_\theta(r, t)$ – радиальная и окружная деформации.

Уравнения состояния записываются в виде

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{rr} - \mu_{r\theta} \varepsilon_{\theta\theta}, \quad \varepsilon_\theta = -\mu_{\theta r} \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta}, \quad (3)$$

где $\mu_{r\theta}$ и $\mu_{\theta r}$ — коэффициенты Пуассона, зависящие от действующего напряжения и направления деформации. При этом деформации ε_{rr} и $\varepsilon_{\theta\theta}$ вводятся на основе вязкоупругой модели Фойхта [8] как

$$\varepsilon_{rr} = \{\tilde{E}_r\}^{-1} \sigma_r, \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \{\tilde{E}_\theta\}^{-1} \sigma_\theta, \quad (4)$$

где \tilde{E}_r и \tilde{E}_θ — дифференциальные операторы для модели Фойхта:

$$\tilde{E}_r = \frac{1}{\eta_r} + \frac{1}{E_r} \cdot \frac{\partial}{\partial t}, \quad \tilde{E}_\theta = \frac{1}{\eta_\theta} + \frac{1}{E_\theta} \cdot \frac{\partial}{\partial t}, \quad (5)$$

Здесь E_r и E_θ — модули упругости, зависящие от действующего напряжения, η_r и η_θ — вязкие коэффициенты, также зависящие от действующего напряжения.

Из симметричности тензоров напряжений и деформаций [9] следует, что

$$\mu_{r\theta} \{\tilde{E}_\theta\}^{-1} = \mu_{\theta r} \{\tilde{E}_r\}^{-1}.$$

Тогда для операторов и коэффициентов построенной модели будут справедливы следующие соотношения:

$$\frac{\mu_{r\theta}}{\mu_{\theta r}} = \{\tilde{E}_r\}^{-1} \{\tilde{E}_\theta\} = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{\eta_\theta}{\eta_r} = k^2, \quad (6)$$

где k^2 — коэффициент пропорциональности.

Исходя из вида нагружения, выпишем граничные условия для напряжений:

$$\sigma_r(r_0, t) = -q_0 \text{ и } \sigma_r(R, t) = -Q \text{ при } t \in (0, \infty). \quad (7)$$

Перейдем к решению поставленной задачи. Функции напряжений, удовлетворяющие уравнению равновесия (1), можно выразить через функцию напряженности $\gamma(r, t)$:

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \gamma, \quad \sigma_\theta = \frac{\partial \gamma}{\partial r}. \quad (8)$$

Подставим уравнения состояния (3), определяющие соотношения (4), функции напряжений (8) в уравнение совместности деформаций (2) и воспользуемся соотношениями (6), получим следующее уравнение через функцию напряженности:

$$\{\tilde{E}_\theta\}^{-1} \left(\frac{\partial^2 \gamma}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial r} - \frac{k^2}{r^2} \gamma \right) = 0. \quad (9)$$

Попробуем решить данную задачу без поиска обратного оператора $\{\tilde{E}_\theta\}^{-1}$. Предположим, что после действия обратного оператора на функцию, зависящую от $\gamma(r, t)$, получим уравнение

$$\frac{\partial^2 \gamma}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial r} - \frac{k^2}{r^2} \gamma = f(r, t), \quad (10)$$

где $f(r, t)$ — некоторая функция.

Тогда решение уравнения (10) можно получить как сумму решений соответствующего однородного уравнения

$$\frac{\partial^2 \gamma}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial r} - \frac{k^2}{r^2} \gamma = 0, \quad (11)$$

которое возникает при решении соответствующей упругой задачи [10], и частного решения.

Решение однородного уравнения имеет вид $\gamma_0(r, t) = c_1(t) r^k + c_2(t) r^{-k}$, частное решение представим через некоторую функцию $\hat{\gamma}(r, t)$.

Тогда функция напряженности имеет вид

$$\gamma(r, t) = c_1(t) r^k + c_2(t) r^{-k} + \hat{\gamma}(r, t).$$

Следовательно, радиальное напряжение можно представить как

$$\sigma_r(r, t) = c_1(t) r^{k-1} + c_2(t) r^{-k-1} + \frac{\hat{\gamma}(r, t)}{r}. \quad (12)$$

Выражение для напряжения содержит три неизвестных функции, а граничных условия два (см. формулу (7)). Воспользуемся тем фактом, что решение задачи для модели Фойхта при $t \rightarrow \infty$ сводится к решению упругой задачи [10]

$$\sigma_r(r) = c_1^* r^{k-1} + c_2^* r^{-k-1},$$

где

$$c_1^* = \frac{q_0 r_0^{k+1} - QR^{k+1}}{R^{2k} - r_0^{2k}}, \quad c_2^* = \frac{r_0^{k+1} R^{k+1} (Qr_0^{k-1} - q_0 R^{k-1})}{R^{2k} - r_0^{2k}}. \quad (13)$$

Тогда получим следующую систему:

$$\begin{cases} c_1(t) r_0^{k-1} + c_2(t) r_0^{-k-1} + \frac{\hat{\gamma}(r_0, t)}{r_0} = -q_0, \\ c_1(t) R^{k-1} + c_2(t) R^{-k-1} + \frac{\hat{\gamma}(R, t)}{R} = -Q, \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \left(c_1(t) r^{k-1} + c_2(t) r^{-k-1} + \frac{\hat{\gamma}(r, t)}{r} \right) = c_1^* r^{k-1} + c_2^* r^{-k-1}, \end{cases}$$

откуда $\hat{\gamma}(r, t) = 0$. Таким образом, функции для напряжений получаются такими же, как и для упругой задачи:

$$\begin{aligned} \sigma_r(r, t) = \sigma_r(r) &= c_1^* r^{k-1} + c_2^* r^{-k-1}, \\ \sigma_\theta(r, t) = \sigma_\theta(r) &= c_1^* k r^{k-1} - c_2^* k r^{-k-1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Теперь перейдем к определению деформаций. Подставляя (4) в (3), получим уравнение для радиальной деформации через обратные операторы:

$$\varepsilon_r = \{\tilde{E}_r\}^{-1} \sigma_r - \mu_{r\theta} \{\tilde{E}_\theta\}^{-1} \sigma_\theta. \quad (15)$$

Используя соотношения операторов и коэффициентов (6) и действуя на уравнение (15) дифференциальным оператором \tilde{E}_θ , получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$E_r \varepsilon_r + \eta_r \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial t} = k^2 \sigma_r - \mu_{r\theta} \sigma_\theta.$$

С учетом нулевых начальных условий для модели Фойхта

$$\varepsilon_r(r, 0+) = 0, \quad \varepsilon_\theta(r, 0+) = 0, \quad (16)$$

получим следующее решение:

$$\varepsilon_r = \left(\frac{1}{E_r} \sigma_r - \frac{\mu_{r\theta}}{E_\theta} \sigma_\theta \right) (1 - e^{-\beta t}), \quad \text{где } \beta = \frac{E_r}{\eta_r} = \frac{E_\theta}{\eta_\theta}.$$

Аналогично получаем выражение для окружных деформаций.

Тогда определяющие соотношения для деформаций через напряжения выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r(r, t) &= \left(\frac{1}{E_r} \sigma_r(r) - \frac{\mu_{r\theta}}{E_\theta} \sigma_\theta(r) \right) (1 - e^{-\beta t}), \\ \varepsilon_\theta(r, t) &= \left(-\frac{\mu_{\theta r}}{E_r} \sigma_r(r) + \frac{1}{E_\theta} \sigma_\theta(r) \right) (1 - e^{-\beta t}).\end{aligned}\tag{17}$$

Если расписать напряжения, то радиальная и окружная деформации будут иметь вид

$$\begin{aligned}\varepsilon_r(r, t) &= \left(\frac{1 - \sqrt{\mu_{r\theta} \mu_{\theta r}}}{E_r} c_1^* r^{k-1} + \frac{1 + \sqrt{\mu_{r\theta} \mu_{\theta r}}}{E_r} c_2^* r^{-k-1} \right) (1 - e^{-\beta t}), \\ \varepsilon_\theta(r, t) &= \left(\frac{1 - \sqrt{\mu_{r\theta} \mu_{\theta r}}}{E_\theta} c_1^* k r^{k-1} - \frac{1 + \sqrt{\mu_{r\theta} \mu_{\theta r}}}{E_\theta} c_2^* k r^{-k-1} \right) (1 - e^{-\beta t}).\end{aligned}\tag{18}$$

Покажем, что данное решение сводится к известным решениям задач для изотропного материала.

Если $k = 1$, то

$$\mu_{r\theta} = \mu_{\theta r} = \mu, \quad E_r = E_\theta = E, \quad \eta_r = \eta_\theta = \eta,$$

и полученное решение сводится к решению задачи ползучести для толстостенной трубы из изотропного материала на основе модели Фойхта [11]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r(r, t) &= \left[\frac{1 - \mu}{E} c_1^* + \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{c_2^*}{r^2} \right] (1 - e^{-\beta t}), \\ \varepsilon_\theta(r, t) &= \left[\frac{1 - \mu}{E} c_1^* - \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{c_2^*}{r^2} \right] (1 - e^{-\beta t}).\end{aligned}$$

Если $\eta \rightarrow \infty$, то $\beta \rightarrow 0$, и решение сводится к хорошо известному решению упругой задачи для толстостенной трубы [10]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r(r) &= \frac{1 - \mu}{E} c_1^* + \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{c_2^*}{r^2}, \\ \varepsilon_\theta(r) &= \frac{1 - \mu}{E} c_1^* - \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{c_2^*}{r^2}.\end{aligned}$$

Теперь рассмотрим эту же задачу в интегральной форме, но сначала определим вид обратных операторов $\{\tilde{E}_r\}^{-1}$ и $\{\tilde{E}_\theta\}^{-1}$. Рассмотрим одноосную задачу ползучести для модели Фойхта. Определяющее соотношение между деформацией и напряжением имеет вид

$$E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} = \sigma.$$

Разделим его на η и проинтегрируем с учетом начального условия для модели Фойхта $\varepsilon(0+) = 0$:

$$\varepsilon + \beta \int_0^t \varepsilon d\tau = \frac{1}{\eta} \int_0^t \sigma d\tau. \quad (19)$$

Получили интегральное уравнение Вольтерры второго рода относительно функции деформаций. Методами операционного исчисления можно получить решение данного уравнения [12, 13]:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{\eta} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \sigma(\tau) d\tau. \quad (20)$$

Следовательно, обратные операторы раскрываются как интегральные операторы вида

$$\{\tilde{E}_r\}^{-1}f = \frac{1}{\eta_r} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} f(\tau) d\tau, \quad \{\tilde{E}_\theta\}^{-1}f = \frac{1}{\eta_\theta} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} f(\tau) d\tau. \quad (21)$$

Определяющие соотношения для рассматриваемой задачи запишутся в виде

$$\varepsilon_{rr} = \frac{1}{\eta_r} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \sigma_r(\tau) d\tau, \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{\eta_\theta} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \sigma_{\theta r}(\tau) d\tau. \quad (22)$$

При раскрытии обратного оператора в уравнении (9) получается интегральное уравнение Вольтерры первого рода, которое имеет нулевое решение. Вследствие этого получаем функции для напряжений вида (14).

При подстановке определяющих соотношений (22) в уравнения состояния (3) остается лишь вычислить интегралы. Так как напряжения $\sigma_r(r)$ и $\sigma_\theta(r)$ не зависят от переменной времени t , с этим не возникает никаких проблем, и функции напряжений принимают вид (17) и (18).

Таким образом, получено аналитическое решение поставленной задачи ползучести для толстостенной трубы из ортотропного материала на основе определяющих соотношений в дифференциальной и интегральной формах. При использовании интегральных соотношений не возникает необходимость обращаться к начальным условиям, что упрощает процесс вычисления.

Литература

1. Смирнов А.Ф. и др. Сопротивление материалов. Изд. 2-е, переработанное. М.: Высшая школа. 1969. 595 с.
2. Бугаков И.И. Ползучесть полимерных материалов. М.: Наука. 1973. 288 с.
3. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твёрдых тел. М.: Наука 1977. 384 с.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука. 1988. 712 с.
5. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М.: Наука. 1995. 568 с.
6. Радченко В.П. Введение в механику деформируемых систем. Самара, Самарский гос. техн. ун-т. 2009. 196 с.
7. Бажанов В.Л. Механика деформируемого твердого тела. М.: Юрайт. 2019. 178 с.
8. Скворцов Ю.В., Перов С.Н. Основы теории пластичности и ползучести. Самара, АНО ВО Университет «МИР». 2019. С. 193–197.

9. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. Изд. 2-е, с изменениями. М.: Наука. 1977. С. 211–250.
10. Жемочкин Б.Н. Теория упругости. М.: Госстройиздат. 1957. С. 138–149.
11. Зайцева Т.В. Моделирование ползучести толстостенной трубы в рамках наследственной механики с ядром Абеля // Дни науки – 2022. 77-я научно-техническая конференция обучающихся СамГТУ [Электронный ресурс]: сб. тезисов докл. Режим доступа: http://okni.samgtu.ru/sites/okni.samgtu.ru/files/red._sbornik_dni_nauki_2022_disk_itog_rio_na_sayt.pdf (дата обращения: 09.01.2023).
12. Volterra V. *Sulle equazioni integro-differenziali della teoria dell'elastica*: V. Volterra–Renda. R. Accad. Die Lincei. 1909. P. 295–301.
13. Васильева А.Б., Тихонов Н.А. Интегральные уравнения. М.: Физматлит. 2002. 160 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИТ-ЛАНДШАФТА

Лумбина К.В.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОЦМ Авербух А.Б.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: karina.lumbina@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные элементы ИТ-архитектуры и их свойства, а также актуальность управления ИТ-ландшафтом. Выдвинута гипотеза об адаптации технологической платформы PLM для управления ИТ-ландшафтом, основываясь на сходстве ИТ-ландшафта и производственного процесса.

Ключевые слова

ИТ-ландшафт, ИТ-архитектура, система управления жизненным циклом изделия, моделирование, управление данными, элементы ИТ-архитектуры.

ИТ-архитектура (Enterprise Technical Architecture сокр. ЕТА) – совокупность программно-аппаратных средств, методов и стандартов, обеспечивающих эффективное функционирование приложений.

ИТ-ландшафт – это совокупность элементов архитектуры и их отношения в структуре предприятия [1].

Моделирование ИТ-ландшафта является важным инструментом для планирования, управления и оптимизации работы информационных систем в компаниях. Актуальность данного подхода обусловлена рядом причин.

Во-первых, современные ИТ-ландшафты становятся все более сложными и разнообразными. Компании используют множество различных технологий и решений, что приводит к появлению сложных связей между ними. Моделирование позволяет лучше понимать эти связи и оптимизировать работу ИТ-систем в целом.

Во-вторых, моделирование ИТ-ландшафта позволяет предсказывать результаты изменений в системе. Например, если компания планирует внедрить новое программное обеспечение или обновить старое, моделирование позволяет оценить, как это повлияет на работу других систем в компании. Таким образом, можно уменьшить риски и принять взвешенные решения.

В-третьих, моделирование ИТ-ландшафта позволяет улучшить коммуникацию между ИТ-отделом и бизнесом. За счет наглядного отображения всех систем и их взаимосвязей, моделирование упрощает общение между различными участниками проекта и помогает им лучше понимать взаимодействие между ИТ-системами и бизнес-процессами.

В-четвертых, моделирование ИТ-ландшафта может помочь улучшить безопасность данных. Анализ ИТ-ландшафта может выявить уязвимости в системе и помочь разработать планы по устранению этих уязвимостей.

Наконец, моделирование ИТ-ландшафта позволяет оптимизировать затраты на ИТ (информационные технологии). Анализ ИТ-ландшафта может помочь идентифицировать неиспользуемые или избыточные системы, которые могут быть устранены, что в свою очередь может снизить затраты на поддержание их работоспособности [2].

Элементы ИТ-архитектуры

Элементы ИТ-архитектуры – это компоненты, из которых состоит информационная система. Они могут быть различными по характеру и

функциональности, но в целом они связаны между собой для достижения целей бизнеса. Некоторые из основных элементов ИТ-архитектуры включают в себя:

1. Базы данных – элемент, который хранит данные, используемые системой.
2. Серверы – элемент, который обрабатывает запросы и предоставляет ресурсы для работы приложений. Серверы могут быть физическими или виртуальными.
3. Приложения – элемент, который обрабатывает данные и предоставляет пользовательский интерфейс для взаимодействия с системой. Приложения могут быть разработаны внутри компании или приобретены у поставщика.
4. Сеть – элемент, который обеспечивает связь между компьютерами и другими устройствами. Это может включать в себя локальные сети, глобальные сети, интернет и VPN-соединения.
5. Хранилище данных – элемент, который используется для долгосрочного хранения данных, которые не могут храниться в базе данных. Оно может включать в себя файловые системы, облачное хранилище или системы хранения на кассетах.
6. Устройства – элементы, которые используются для доступа к системе, такие как компьютеры, планшеты, телефоны и другие устройства.
7. Средства безопасности – элементы, которые используются для защиты системы от несанкционированного доступа, взлома и других угроз безопасности. Средства безопасности могут включать в себя брандмауэры, антивирусы, IDS/IPS системы, шифрование и т.д.

В зависимости от конкретных потребностей бизнеса, ИТ-архитектура может включать в себя другие элементы, такие как интеграционные службы, управление и автоматизацию бизнес-процессов и т.д. [3].

При моделировании и управлении необходимо учитывать:

1. Иерархическую структуру с изменением числа уровней.
2. Раздельную версию для связанных деревьев и их элементов и узлов.
3. Многократное применение элементов в разных узлах.
4. Документацию, изменяющуюся независимо от состава элементов.

Все вышеперечисленное значительно усложняет задачу управления ИТ-ландшафтом.

Для решения данной проблемы необходимо спроектировать систему, которая сможет в динамике отслеживать изменения в ИТ-ландшафте и показывать суть принимаемого решения.

Создание отдельного продукта для управления архитектурой является дорогостоящим проектом. Элементы и свойства ИТ-ландшафта имеют много общего с элементами (деталью) и свойствами (сборками) в производственном процессе. Это позволяет использовать методы и инструменты, разработанные для управления производственным процессом, для управления ИТ-ландшафтом.

PDM-PLM системы

PDM (Product Data Management) – это система управления данными о продукте, которая позволяет хранить, управлять и обмениваться информацией о продукте между различными отделами и участниками процесса проектирования, разработки и производства.

PLM (Product Lifecycle Management) – это более широкий подход к управлению продуктом, который включает в себя управление данными о продукте во всем его жизненном цикле, начиная от концепции и проектирования, заканчивая производством, эксплуатацией и утилизацией. Однако, она может быть настроена и использована в качестве основы для системы моделирования ландшафта моделирования и управления ИТ-ландшафтом [4].

Технологическая платформа PLM может быть адаптирована для предоставления ряда функциональных возможностей для управления ИТ-ландшафтом:

1. Централизованное управление данными.

Это упрощает доступ к данным, обеспечивает единую версию информации и улучшает возможности для анализа данных.

2. Мониторинг и анализ.

Инструменты и механизмы для выявления проблем и поиска пути их решения.

3. Управление изменениями.

Контроль версий, согласование изменений и возможность отката изменений в случае необходимости.

4. Управление ресурсами.

Управление конфигурациями, доступом и инфраструктурой.

Моделирование ИТ-ландшафта в PLM-системе позволяет визуализировать архитектуру системы, что может сделать процесс внесения изменений более прозрачным и понятным для всех участников проекта.

Кроме того, использование PLM-системы для моделирования ИТ-ландшафта может помочь снизить риски и ошибки в процессе разработки продукта. Это позволяет проектировать систему и ее компоненты заранее, что позволяет устранить проблемы до их появления в реальном времени.

Подводя итог вышесказанного, можно сделать вывод о том, что системы управления жизненным циклом изделий (PLM) может служить основой для управления ИТ-ландшафтом. В будущем планируется провести тщательный анализ ИТ-ландшафта компании и определение его особенностей для того, чтобы адаптировать систему PLM под конкретные потребности компании.

Литература

1. Трутнев Д.Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 66 с.
2. Галимянов А.Ф., Галимянов Ф.А. Архитектура информационных систем / Галимянов А.Ф., Галимянов Ф.А. Казань: Казан. ун-т. 2019. 117 с.
3. Элементы архитектуры предприятия. Бизнес-архитектура и архитектура информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/995/152/lecture/4230?page=6>. (дата обращения: 12.02.2023).
4. ЛОЦМАН: PLM: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ascon.ru/products/889/review/> (дата обращения: 15.04.2022).

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕНТРОВ

Матвеева А.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Трусова А.Ю.¹

¹ – Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева

e-mail: rakyshka.matveeva@gmail.com

Аннотация

В работе проведен графический анализ исходных временных рядов показателей экологии, проанализирована динамика заболеваемости в РФ, а также применен метод сглаживания скользящей средней. Вычислен коэффициент корреляции для показателей экологии и построена модель авторегрессии, на основе полученных результатов проведен анализ изменения показателей экологии под воздействием собственного уровня в предшествующий момент времени. На основе исходных и сглаженных временных рядов была выявлена подходящая линия тренда и вычислены прогнозные значения показателей. При проведении регрессионного анализа выявлена связь между экологическими показателями и показателями заболеваемости.

Ключевые слова

Временной ряд, показатели экологии, графический анализ, простейший прогноз, метод сглаживания скользящей средней, модель авторегрессии, регрессионная модель.

Экологическая проблема стала видимой относительно недавно. С появлением пластиковых пакетов, нефтепродукции, разных уходовых средств возросло количество загрязнений планеты. От загрязнения страдает не только природная территория, но и люди, проживающие на ней. Существовавшие раньше болезни подвергаются мутации из-за климатической нестабильности, которая также является признаком плохой экологии. В работе выявляется взаимосвязь факторов между собой [1].

Первоначально рассматривается динамика заболеваемости населения. Для детального изучения исходных данных построен график, по которому отслеживается зависимость показателя заболеваемости населения страны от времени.

Изменения данных в течение 20 лет представлены на рисунке 1.

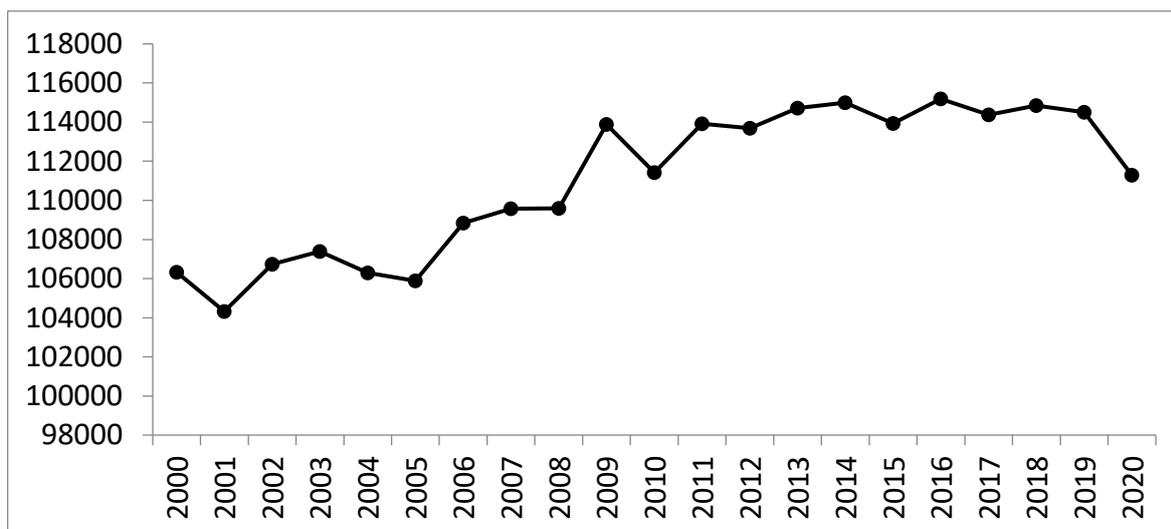


Рис. 1. Заболеваемость населения по основным классам болезней

Ухудшение экологии оказывает пагубное влияние на динамику заболеваемости населения, результатом чего становится увеличение риска заражения населения. График демонстрирует тенденцию роста количества заболевших к 2020 году.

Ухудшение экологической ситуации – одна из основных причин роста заболеваемости населения. Для дальнейшего анализа показателей и выявления влияния экологии на заболеваемость в данной работе рассматриваются показатели формирования отходов по видам экономической деятельности, являющиеся одними из факторов экологического загрязнения.

Графический анализ проводился на данных временных рядов показателей формирования отходов по экономических видам деятельности, взятых с сайта Росстат [2].

Данные отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по стране представлены на рисунке 2.

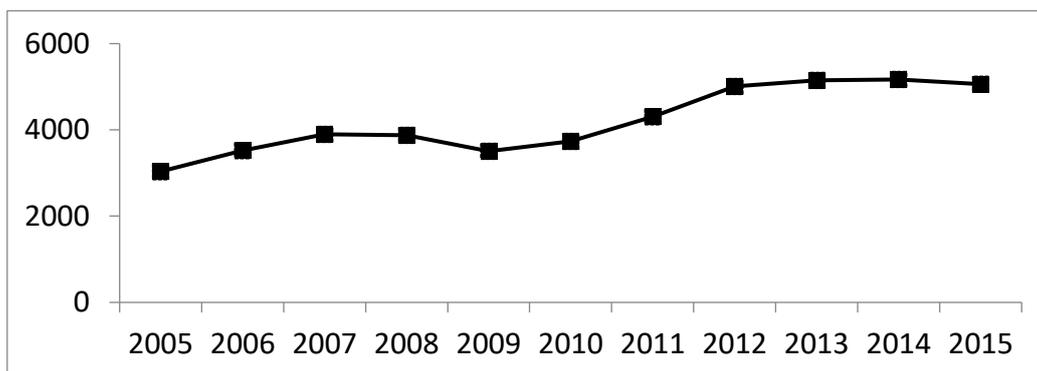


Рис. 2. Значения показателей формирования отходов

Анализ графика выявил тенденцию роста показателей экологии.

С помощью динамических показателей проведена сравнительная оценка разных уровней временных рядов. В работе рассмотрены базисный и цепной темпы роста, которые показывают, на сколько изменились данные по сравнению с базисным и с предшествующим годом соответственно.

Динамика рассматриваемых показателей изображена на рисунке 3.

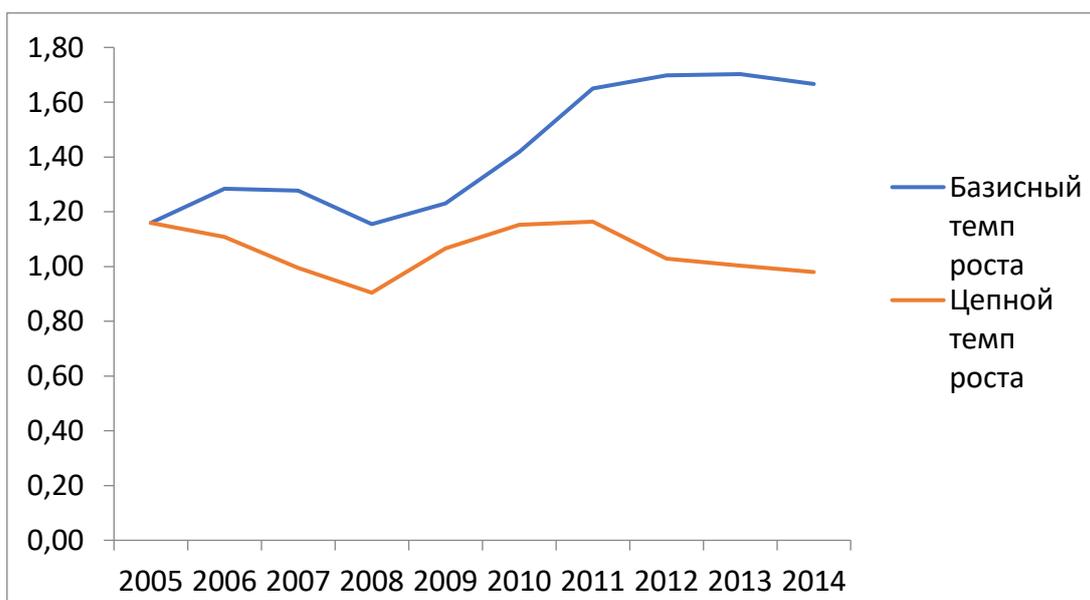


Рис. 3. Показатели темпа роста

По показателю базисного темпа роста, где за базисное значение принят 2005 год, наблюдается возрастание значений показателя с годами. Параллельно рассматривая цепной темп роста, показывающий изменение значений в динамике по сравнению с каждым предшествующим годом, наблюдается скачкообразное возрастание значений показателя в процентном эквиваленте.

Прием сглаживания скользящей средней заключается в замене фактических уровней динамических рядов рассчитанными – ряды, в меньшей степени подверженные колебаниям. Скользящие средние позволяют сгладить как случайные, так и периодические колебания, выявить имеющуюся тенденцию. При сглаживании в данном исследовании задействованы стандартные интервалы сглаживания равные 3 и 5.

Вычислены прогнозные значения показателей формирования отходов с 2016 по 2023 год по исходным и сглаженным данным [3].

Результаты расчетов прогнозных значений отражены в таблице 1.

Таблица 1

Прогнозные значения показателей

Год	Исходный массив	Сглаженные данные с интервалом 3	Сглаженные данные с интервалом 5
2016	5489,8	4641,6	5291,2
2017	5703,8	3247	5010,4
2018	5917,7	5508,3	5792,6
2019	6131,7	5145,6	5769,2
2020	6345,8	6264,6	6367,2
2021	6559,8	6414,9	6561,3
2022	6773,8	6846,4	6884,9
2023	6987,8	7177,3	7165,4

По данным, представленным в таблице, произведена оценка прогнозируемых показателей и выявлен рост значений со временем.

Заключительный этап исследования включает в себя построение регрессионной модели. Выявляется влияние показателей экологии на показатели заболеваемости населения по основным классам болезней по Российской Федерации для дальнейшего анализа.

Результаты построения модели представлены в таблице 2.

Таблица 2

Регрессионная модель

Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Стандартная ошибка	Уровень значимости	Доверительный интервал
$Y_t = 98839,3 + 3,096 \cdot X_t$	0,639	1890,2	0,003	$1,344 < X_t < 4,846$

Построенная модель является значимой, так как уровень значимости меньше 0,05, поэтому результаты исследования могут рассматриваться как адекватные. Экологические показатели значительно влияют на показатели заболеваемости в стране, так как показатели заболеваемости на 64% объясняются количеством показателей формирования отходов, что показывает коэффициент детерминации. Уравнение регрессии демонстрирует, что с годами связь укрепляется, так как значения коэффициентов положительные. Следовательно, присутствует тенденция роста влияния экологии на заболеваемость в стране.

Исследование показало тенденцию роста показателей формирования производственных и потребительских отходов с каждым годом в Российской Федерации. Также было выявлено, что повышение количества формирования отходов напрямую влияют на заболеваемость в стране. Исследование является предпосылкой к снижению заболеваемости по средствам поиска решений по устранению проблемы экологического загрязнения страны.

Литература

1. Ибраева Л.К. Влияние экологических факторов окружающей среды на развитие заболеваний у населения (обзор литературы) // Медицина труда и промышленная экология. 2014. №8. С. 38-42.
2. Канторович Г.Г. Лекции: Анализ временных рядов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ej.hse.ru/2002-6-1/26549758.html> (дата обращения: 15.01.2023).
3. Любич В.В. Развитие системы методов статистического анализа временных рядов: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. эконом. наук. Орен. 2011. 22 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ ВУЗА

Некрасов А.Е.¹ (студент)

Научный руководитель – к.э.н. Крамаренко И.В.²

1 – ФГБОУ ВО «Государственный Университет Управления»

e-mail: nekrasov.study@gmail.com

Аннотация

В исследовании приводится описание этапов разработки и практического применения генетического алгоритма для составления оптимального расписания высшего учебного заведения.

Структуру статьи можно разделить на несколько составляющих. В начале работы дается обоснование актуальности исследования, далее описывается математическая постановка задачи нахождения оптимального варианта расписания. Большая часть статьи посвящена описанию отдельных элементов разрабатываемого программного кода. Помимо описания генетического алгоритма в работе представлена реализация схемы взаимодействия с API и реализация пользовательского приложения для получения расписания. В заключении приводится вариант получаемого расписания занятий на примере фрагмента расписания одного из направлений подготовки Государственного университета управления.

Ключевые слова

Дискретное программирование, комбинаторные задачи, генетические алгоритмы, теория расписаний, многокритериальная оптимизация.

Решение задачи с использованием методов линейного программирования представлена в [1], решение с использованием агентного моделирования описано в [2], в большом числе источников [3, 4, 6] представлено решение на основе метаэвристических алгоритмов. Задача составления оптимального расписания в ВУЗе имеет ряд отличительных особенностей по сравнению со школьным расписанием. Во-первых, огромное число ограничений, поскольку в ВУЗе большое количество образовательных программ, дисциплин, групп студентов, аудиторий и др. К особенностям также можно отнести частую изменчивость, так как расписание формируется на один учебный семестр. В силу многокритериальности задачи, требуется найти допустимое оптимальное расписание. Под допустимостью в исследовании понимается физическая осуществимость. Построение допустимого расписания сводится к построению специальных функций штрафа. Под оптимальностью понимается минимизация суммарных функций заданных критериев [3]. К частным критериям оптимальности можно отнести «количество пустых занятий у преподавателя», «количество занятых дней в неделю», «максимальное количество пар в день». Данная задача является NP-полной и решается с использованием эвристических алгоритмов (например, как в программе с открытым исходным кодом FET, использующем алгоритм рекурсивных перестановок [4]); метаэвристических алгоритмов (например, алгоритм имитации отжига, поиск с запретами или «табу-поиск», муравьиный алгоритм или генетический алгоритм) [5].

Представим формализованную постановку решаемой задачи. Расписание состоит из учебных дней, каждый из которых содержит занятия, в которых участвуют преподаватель и одна или несколько групп. Каждое занятие должно проходить в определенной аудитории – в лекционной, компьютерном классе или обычной – в зависимости от типа занятия. Также расписание должно удовлетворять предпочтениям преподавателей и групп. В работе рассматривается упрощенная модель расписания, содержащее только один тип учебной недели (без деления на четную/нечетную), не

учитывает тип аудитории, в котором должно проходить занятие и не позволяет проводить одному преподавателю занятия у нескольких групп одновременно.

Пусть T – множество доступных для проведения занятия ячеек, G – множество учебных групп, у которых должны быть проведены занятия согласно учебному плану, S – множество учебных дисциплин, P – множество преподавателей, некоторые из которых могут проводить занятия по разным предметам. Учебным планом U будем называть “подмультимножество” (подмножество мультимножества, то есть множества с повторяющимися элементами) из декартова произведения $G \times S \times P$, в котором каждый элемент соответствует определённому предмету, который должен быть проведён у выбранной группы конкретным преподавателем в указанную неделю. Будем называть элемент из U занятием (A , activity). Число одинаковых занятий в учебном плане отражает, сколько раз это занятие должно пройти у группы за неделю.

Тогда расписание – это инъективное отображение $\tau: U \rightarrow T$, ставящее в соответствие каждому занятию определённый временной слот, и удовлетворяющее двум ограничениям (будем называть эти ограничения “жесткими”).

Ограничение 1. Каждый преподаватель может проводить только одно занятие одновременно (1).

Ограничение 2. Каждая группа может присутствовать только на одном занятии одновременно (2).

$$\nexists u_1, u_2 \in U: \tau(u_1) = \tau(u_2) \text{ и } p_1 = p_2, \text{ где } p_i \in P \quad (1)$$

$$\nexists u_1, u_2 \in U: \tau(u_1) = \tau(u_2) \text{ и } g_1 = g_2, \text{ где } g_i \in G \quad (2)$$

Обозначим за C_q число конфликтов по соответствующему жесткому ограничению (3), где символ q может означать либо преподавателя (p), либо группу (g).

$$C_q = |\{u_1, u_2 \in U: \tau(u_1) = \tau(u_2), q_1 = q_2\}| \quad (3)$$

Остальные ограничения, отражающие пожелания преподавателей и групп, будем называть “мягкими”. Пусть f – функция, дающая численную оценку того, насколько хорошо эти ограничения удовлетворены (например, для нежелания преподавателей вести занятия в определенное время, такой функцией может выступать число нарушений этого условия в итоговом расписании).

Тогда задача построения оптимального расписания может быть записана в виде целевой функции и ограничений (4).

$$\begin{aligned} f(\tau) &\rightarrow \min \\ C_p(\tau) &= 0 \\ C_g(\tau) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Поставленную задачу можно решить с использованием генетического алгоритма, если перевести данные из естественных терминов домена выбранной задачи в термины генетических алгоритмов. Генетический алгоритм применим к популяции, которая, в свою очередь состоит из особей – в нашем случае в качестве особи выступает конкретное расписание, а в качестве популяции – множество таких расписаний. В свою очередь, особь состоит из хромосом – наборов генов.

При решении задачи нами был выбран следующий подход: представить каждую особь в виде одной хромосомы из $|U|$ (мощность учебного плана) целочисленных генов, каждый из которых может принимать значение от 1 до $|T|$, и соответствует конкретному временному слоту в пронумерованном множестве T . Такое представление позволяет

эффективно выполнять генетические операции и селекцию особей при работе алгоритма, но требует дополнительных преобразований при расчете целевой функции.

Один из самых популярных способов генерации начальной популяции – создание случайного набора особей фиксированной величины. При таком подходе нет необходимости добиваться хорошего значения целевой функции на первом шаге, что часто может быть затруднительно.

Селекция – это выбор наиболее приспособленных особей (имеющих наилучшую целевую функцию) по определенным правилам (например, основываясь на вероятностном подходе).

Существует несколько методов селекции особей:

- турнирная;
- рулеточная;
- ранговая;
- элитарная.

Нельзя однозначно отдать предпочтение какому-то определенному виду селекторов для всех задач. Поэтому в дальнейшем мы рассмотрим следствия применения некоторых из них.

Опишем отдельные элементы разрабатываемого программного кода. На вход генетическому алгоритму передается учебный план U , описанный в формате JSON, который в дальнейшем преобразуется в граф отношений, а также список ограничений, накладываемых на расписания. В ходе исследования была написана программа на языке Java, обрабатывающая данные о требуемом расписании, применяющая генетический алгоритм и представляющая результат работы в удобном для последующего использования формате.

В качестве входных данных программа принимает информацию об учебном плане для выбранного института. Для удобства обработки было принято решение хранить эти данные в формате JSON в структуре, представленной на рисунке 1.

```
{
  "<Институт>": {
    "<Группа>": {
      "Предметы": [
        {
          "Название": "<...>",
          "Преподаватель": "<...>",
          "Количество": <...>
        },
        ...
      ]
    }
  }
}
```

Рис. 1. Структура вложенности исходных данных

Так как предметная область задачи предполагает оперировать с большим числом разнородных и взаимосвязанных объектов (например, расписание, являющееся подмножеством декартова произведения групп, преподавателей и занятий), было решено следовать принципам объектно-ориентированного программирования, что при дальнейшем сопровождении разработанной программы позволит расширять функционал с приложением меньших усилий (рис. 2).

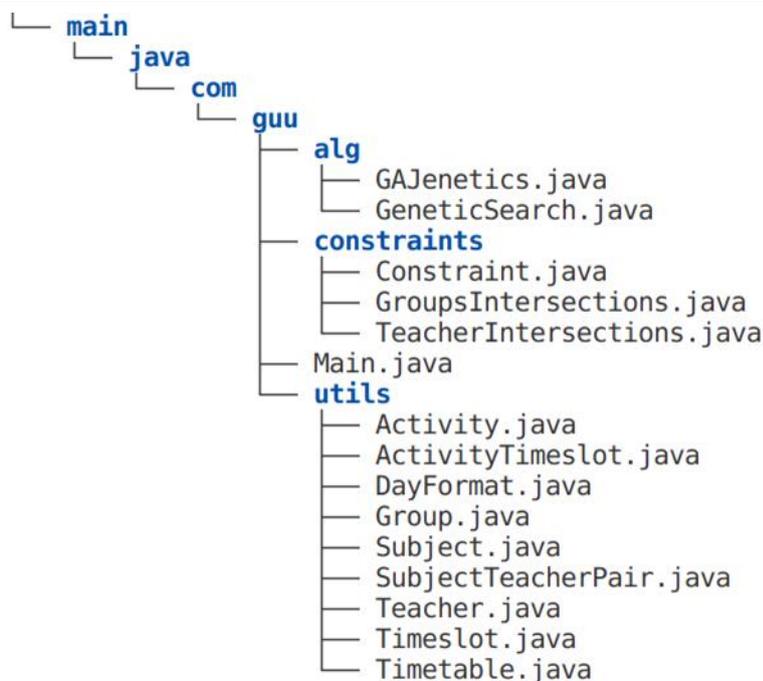


Рис. 2. Иерархическая структура реализации решения задачи

В директории /alg, изолированные от остального кода, хранятся реализации генетических алгоритмов. Как можно видеть, были разработаны две разные версии: с применением фреймворка Jgenetics и без него.

В директории /constraints хранятся классы ограничений, реализующие единый интерфейс “Constraint”.

Директория /utils содержит в себе представление предметной области в виде объектов (дата-классы). Здесь Activity – это занятия, а классы ActivityTimeslot и SubjectTeacherPair используются для удобства разработки. Также предусмотрена возможность смены режима дня (первая/вторая смена) с использованием класса DayFormat.

Функция полезности будет представлять взвешенную сумму числа конфликтов в расписании и функций, учитывающих конкретные пожелания. При таком подходе на каждом шаге генетического алгоритма возможна генерация некорректных особей (расписаний), что в целом негативно сказывается на сходимости, однако, если требовать на каждом эволюционном шаге корректности особи, стоимость таких операций, как кроссовер и мутация значительно повысится.

Так как для реализации генетического алгоритма был выбран объектно-ориентированный язык программирования Java, для реализации серверной части приложения было решено использовать широко поддерживаемый и доступный фреймворк Spring. Использовалась часть данного фреймворка, Spring Boot, предоставляющая облегченный интерфейс для разработчика. Основные особенности Spring Boot – управление зависимостями, автоматическая конфигурация и встроенные контейнеры сервлетов.

На этапе текущей разработки было выделено три основных модуля.

1. Модуль genetic – содержит основную библиотеку работы с генетическим алгоритмом и классами расписания в домене генетического алгоритма.

2. Модуль parser – вспомогательный модуль, используемый для преобразования данных из одного формата в другой. Например, сюда выносятся так называемые POJO-объекты (Plain Old Java Object, т.е. объекты, не унаследованные ни от каких классов и не реализующие специфичных интерфейсов, предназначенные только для хранения бизнес

модели (в нашем случае – данных в терминах предметной области). Также здесь выполняются преобразования из JSON в POJO, из JSON в CSV и обратно.

3. Модуль web – модуль веб-приложения, реализованный с использованием фреймворков Spring Boot и VueJS для реактивной обработки данных со стороны фронтенда. Сюда помещается MVC схема, реализуются все методы api. На данный момент код фронтенда написан на языке JavaScript с использованием фреймворка VueJS.

Также, с использованием фреймворка для построения веб-приложений Spring в связке с фреймворком для создания пользовательских приложений VueJS была составлена и реализована схема API, позволяющая взаимодействовать с основным алгоритмом, а также разработан пользовательский графический интерфейс, облегчающий работу с этим API.

В предлагаемом решении сервер состоит из трёх основных частей: точка входа, т.е. класс с методом main, в котором вызывается метод SpringApplication.run(), инициализирующий фреймворк Spring и сканирует компоненты приложения.

Методы API реализуются в контроллерах — части паттерна MVC, отвечающей за интерпретацию действий пользователя и информирование модели о необходимости изменений.

Для реализации пользовательского приложения было решено создать веб-приложение. Предполагается, что до начала учебного года администратор (например, методическое управление ВУЗа, ответственное за составление расписания), преобразует учебный план к требуемому формату, вручную или через веб-интерфейс составив файл формата JSON, затем сделает запрос к серверу для генерации расписания (например, путем нажатия на соответствующую кнопку) и, наконец, получит возможность это расписание просмотреть на случай необходимости повторной генерации или загрузить на компьютер в формате таблицы CSV.

Таким образом, для автоматического составления расписания потребуются одиннадцать функциональных элементов. Опишем их.

1. Домашняя страница – основное место отображения интерфейсов.
2. Генерация расписания – может быть представлено кнопкой, по которой на основе введенных данных вызывается метод генерации расписания.
3. Добавление института – элемент формы, в учебный план добавляется институт.
4. Добавление группы – элемент формы, в учебный план добавляется группа.
5. Добавление преподавателя – элемент формы, в учебный план добавляется преподаватель.
6. Добавление элемента учебного плана – форма позволяющая добавить связь между группой, институтом, преподавателем и количеством требуемых занятий.
7. Получение текущего учебного плана – запрос, возвращающий текущий учебный план.
8. Очистить данные – запрос, позволяющий сбросить на сервере все введенные данные.
9. Добавить учебный план целиком – форма, позволяющая загрузить документ учебного плана в формате JSON.
10. Просмотр сгенерированного расписания – возвращает страницу с результатом работы генетического алгоритма.
11. Экспорт расписания в файл – может быть представлено кнопкой на странице просмотра сгенерированного расписания, позволяющей сохранить расписание в формате CSV или PDF.

Запрос на генерацию расписания пользователю выполняется долго (около 5-7 секунд), даже на небольших данных для расписания одного института одного года обучения. Если все это время страница будет оставаться не отзывчивой, то, во-первых, в современных браузерах это может интерпретироваться как ошибка, что ведет к закрытию страницы, во-вторых, это негативно сказывается на пользовательском опыте.

Поэтому при реализации фронт-части приложения было решено использовать реактивный фреймворк VueJS. Он позволяет определять пользовательские компоненты, в которые можно выносить логику, и работа которых происходит асинхронно, то есть без «подвисания» страницы.

Написание приложения с использованием VueJS состоит из трёх основных частей.

1. Инициализация приложения, при которой регистрируются пользовательские компоненты, которые можно использовать в html-шаблонах, указываются руты и т.д.

2. Написание компонентов. В компонентах можно определять их properties, которые передаются при реализации, задавать шаблоны, отвечающие за их отображение, а также добавлять хуки жизненного цикла компонента, в которых определяется поведение компонента на разных стадиях его рендера.

3. Использование компонента в html-шаблоне.

Данные, приходящие с сервера по запросу /generate, возвращаются в формате JSON. Логика их преобразования в табличные данные также находится на фронт-части приложения.

В результате можно получить пример учебного расписания, представленного на рисунке 3.

Таким образом, в рамках проведенного исследования была разработана математическая модель составления расписания, разработана собственная версия генетического алгоритма, проведено сравнение работы собственного алгоритма с результатами использования библиотеки Jenetics. Анализ качественных и количественных характеристик работы собственного алгоритма, продемонстрировал высокие характеристики качества. Оценивались такие характеристики как время работы алгоритма, достигнутое значение целевой функции, в зависимости от выбранных стратегий мутации и селекции.

Бизнес-информатика-1

Пара\День	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
1	ТАИС – (Орешина)	Англ – (Англ)	-	-	ТАИС – (Орешина)	-
2	-	-	-	-	Экономика фирмы – (Данилина)	-
3	ТАИС – (Орешина)	Финансовая математика – (Мишин)	-	-	-	-
4	Экономика фирмы – (Данилина)	-	Финансовая математика – (Мишин)	-	Экономика фирмы – (Данилина)	-
5	Sap – (Белуцова)	-	-	Англ – (Англ)	Sap – (Белуцова)	-
6	-	-	-	-	Sap – (Белуцова)	-

Рис. 3. Фрагмент вывода расписания в результате работы генетического алгоритма

Литература

1. Шишканова Т.А. Алгоритм оптимизации учебного расписания в вузе / Шишканова Т.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 1. С. 416-422.

2. Бабкина Т.С. Задача составления расписаний: решение на основе многоагентного подхода / Бабкина Т.С. // Бизнес-информатика. 2008. № 1(3). С. 23-28.
3. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний, задачи и алгоритмы // Учебник. 2011. С. 52–81.
4. Lalescu L. // The description of the FET timetable generation algorithm [Электронный ресурс]. URL: <https://lalescu.ro/liviu/fet/doc/en/generation-algorithm-description.html>. (Дата обращения: 27.06.2022).
5. Щербина О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) // Таврический вестник информатики и математики. 2014. №1 (24). С. 56–72.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КЛАСТЕРА

Неупокоева Е.О.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н. Быстров В.В.¹

1 – Институт информатики и математического моделирования
им. В.А. Путилова Федерального Исследовательского Центра
«Кольский Научный Центр Российской академии наук»
e-mail: neupokoeva@iimm.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №22022800551-0 «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных».

Аннотация

В статье рассматривается проблема организации информационно-аналитической поддержки управления кадровой логистикой на основе имитационного моделирования. Предлагается архитектурное описание разрабатываемого модуля прогнозирования кадрового обеспечения регионального производственного кластера. Приводится описание отдельных модельных компонентов модуля, реализованных в среде разработки Anylogic. Описывается формат представления исходных данных, собранных из открытых источников информации.

Ключевые слова

имитационное моделирование, Anylogic, прогнозирование, рынок труда, региональный производственный кластер.

Программные средства поддержки управления кадровым обеспечением регионального производственного кластера в наше время являются необходимым вспомогательным механизмом для принятия решений региональными властями и представителями бизнес-сообщества. В данном докладе представлены промежуточные результаты исследования по разработке имитационного модуля [1], одной из основных функций которого является формирование на основе статистических данных развития регионального рынка труда для удовлетворения кадровых потребностей горно-химического кластера. В частности, одним из результатов функционирования модуля прогнозирования является автоматизированная выработка рекомендации по определению необходимого количества бюджетных и целевых мест в учебных заведениях профессионального образования региона с целью избежать дисбаланса спроса и предложения на региональном рынке труда.

В качестве инструментального средства для разработки модуля прогнозирования выступает программная среда Anylogic University 8.7 [2]. Используются три основных подхода к имитационному моделированию: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный подходы.

В архитектуре модели [3] определены следующие агенты:

- Space – сцена для взаимодействия других агентов;
- Population – агент «Население»; содержит в себе системно-динамическую модель, отражающую темпы прироста и убыли населения в результате миграционных и демографических процессов региона;
- SectorsEcon – агент, отражающий экономические процессы, протекающие в отдельном секторе региональной экономики. На данной стадии исследования находится в разработке.

- MiningChemicalCluster – горно-химический кластер региона. В рамках данного агента предлагается акцентировать внимание на внутренних и внешних кадровых процессах предприятий отдельного кластера, таких как:

- 1) Поиск работы безработными;
- 2) Прием на работу;
- 3) Увольнение в связи с выходом на пенсию;
- 4) Увольнение по прочим причинам;
- 5) Повышение в должности;
- 6) Переход на другое предприятие;
- 7) Повышение квалификации.

- Enterprise – агент «Предприятие», отображающий одну организацию регионального производственного кластера.

- Staffing – агент «Должность». Содержит параметрическое описание должности и используется для формирования популяции «staffings», представляющей штатное расписание предприятия.

- Person – агент «человек», отражает личностные и профессиональные качества работника/ претендента и используется для формирования двух популяций:

- Worker – совокупность действующих работников горно-химической промышленности;
- UnemployedsMCC – множество безработных, которые способны работать в горно-химическом кластере по специальности.

- University – агент «Высшее образование», представленный в виде одной образовательной программы по УГС (укрупненной группы специальностей). Содержит в себе системно-динамическую модель, отображающую ситуацию с получением высшего образования по данной образовательной программе в регионе.

- College – агент, представляющий одну образовательную программу по УГС среднего специального образования в регионе. Включает системно-динамическую модель, воспроизводящую процесс получения среднего профессионального образования по данной образовательной программе. На данном этапе исследования находится в разработке.

Все агенты (рис. 1) характеризуются уникальными параметрами, присущими каждой сущности. Например, агент Person характеризуется следующими параметрами: ID, пол, возраст, заработная плата, опыт работы, уровень образования, специализация, место работы, возраст выхода на пенсию, уровень удовлетворенности работой.

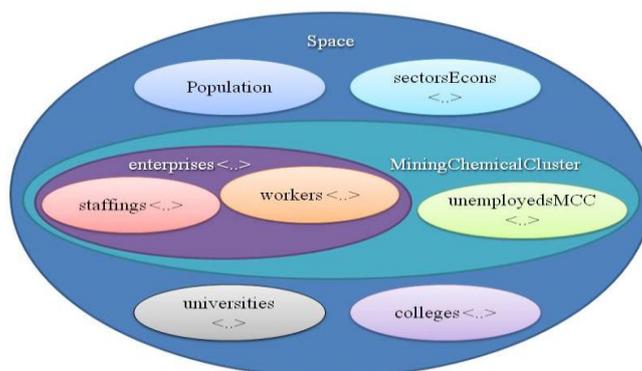


Рис. 1. Архитектура многоагентной модели

В процессе исследования изучены процессы движения трудовых ресурсов в горно-химическом кластере. На их основе разработана имитационная модель, имитирующая следующие процессы:

Внешняя миграция кадров:

- устройство безработных на предприятия;
- переход из категории трудоустроенных в категорию безработных.

Внутренняя миграция кадров:

- вертикальная миграция;
- горизонтальная миграция.

Под вертикальной миграцией понимается переход работника на новую должность внутри одной компании. Под горизонтальной миграцией понимается переход сотрудника на другое место работы в другой организации.

Для установления закономерностей в демографических, образовательных и кадрово-логистических процессах региона был проведен сбор из открытых источников статистических данных [4, 5] и выполнена их структуризация в виде электронных таблиц Excel (рис. 2) с учетом их дальнейшего автоматизированного использования в разрабатываемом модуле.

код направления подготовки	название направления подготовки	2016			2017			2018			2019			2020			2021			
		учится сейчас	поступившие	успешно выпустившиеся																
01.03.02	Прикладная математика и информатика																			
01.03.04	Прикладная математика																			
01.04.02	Прикладная математика и информатика																			
02.03.01	Математика и компьютерные науки																			
02.03.03	Математическое																			
04.03.01	Химия																			
04.04.01	Химия																			
05.03.01	Геология				12	0	0	12	12	0	31	13	0	39	10	0	35	9	3	
05.03.02	География																			
05.03.06	Экология и природопользование																			
05.04.01	Геология									10	0	0								
05.04.06	Экология и природопользование																			
06.03.01	Биология				17	0	8	17	0	8	7	0	2	4	0	1	15	15	2	
06.04.01	Биология				5	0	0	5	10	0	10	0	0	0	0	7	0	0	0	

Рис. 2. Форма представления исходных данных

Для имитации процессов получения образования в высшем учебном заведении в агенте University используется системно-динамическая подмодель. Имитируется поступление студентов на специальность по УГС, задержка на необходимое количество лет (разное для выбранной степени образования) и успешное получение диплома либо же отчисление по любым причинам (рис. 3).

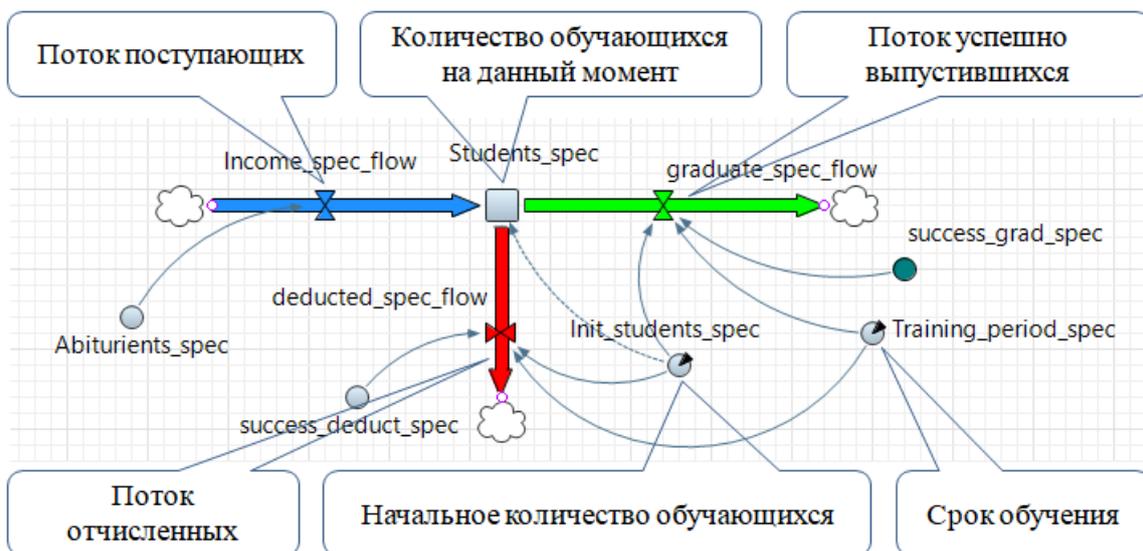


Рис. 3. Структура системно-динамической подмодели агента University

Сформированный прогноз кадровой потребности по определенной специальности для регионального производственного кластера будет положен в основу алгоритма автоматизированной генерации рекомендаций для резервирования количества бюджетных мест для обучения в региональных высших и средних профессиональных учебных заведениях. В работе имитационных моделей учитываются процессы миграции трудоспособного населения, а так же успешность окончания выпускниками учебных заведений по необходимым для предприятий регионального кластера специальностям.

Выводы. На данном этапе исследования проведены работы по построению архитектуры модуля, программной разработке отдельных его компонентов, сбору и структуризации/систематизации статистических данных из открытых источников. Реализованы и протестированы отдельные имитационные подмодели, составляющие основу разрабатываемого модуля прогнозирования.

Литература

1. Development of a Simulation Model of Personnel Logistics of a Mining and Chemical Cluster / Khaliullina D.N., Malygina S.N., Neupokoeva E.O., Bystrov V.V. // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 232 LNNS. P. 650-667. DOI 10.1007/978-3-030-90318-3_52.
2. Официальный сайт Anylogic. URL: <https://www.anylogic.com>. (дата обращения: 12.02.2023).
3. Малыгина С.Н. Логистика кадрового обеспечения региона: формализация и структура полимодельного комплекса / Малыгина С.Н., Быстров В.В., Халиуллина Д.Н. // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9. № 10-9. С. 36-47. DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2018.10.36-47.
4. Официальный сайт территориального органа федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Режим доступа: <http://murmanskstat.old.gks.ru/>. (дата обращения: 10.02.2023).
5. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>. (дата обращения: 10.02.2023).

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ PROCESS MINING

Сандракова Ю.В.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Авербух А.Б.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: jsandrakova@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР «Применение машинного обучения при реализации систем Process Mining».

Аннотация

Рассмотрена функциональность систем process mining, показана связь данной системы и машинного обучения, а также какие алгоритмы машинного обучения могут быть применены для реализации систем.

Ключевые слова

Process mining, machine learning, event log, алгоритмы машинного обучения, шаблон журнала событий, анализ бизнес-процессов.

В крупных компаниях управление бизнес-процессами играет важную роль. Даже их незначительное улучшение способно существенно увеличить прибыль или сократить издержки компании. Для того, чтобы повысить операционную эффективность существующих бизнес-процессов используется технология Process Mining. Она объединяет идеи моделирования и анализа процессов, с одной стороны, и интеллектуального анализа данных и машинного обучения, с другой.

Классический анализ бизнес-процессов, основанный на составлении схемы процесса на основе опросов и наблюдений, имеет целый ряд недостатков таких как: неточности передачи действительности сотрудниками анализируемой компании, недостаточность погружения консультанта или аналитика в процесс, ограниченность информационного пространства. Все эти и многие другие теряют свою актуальность, если для анализа процессов использовать подход Process Mining, основанный на экстракции схемы процесса из логов первичных автоматизированных систем. Однако, данный подход требует от аналитика высокого уровня компетенций в работе с данными и машинном обучении [1-4].

Область исследования Process Mining достаточно новая, особенно для Российского рынка, поэтому стоит предположить, что внедрение данной системы в крупные компании является актуальной историей. Стоит проверить гипотезу, что применение машинного обучения в системах Process Mining поможет компаниям решать не типичные и не тривиальные проблемы, выявлять узкие места и предлагать способы решения, а также возможности повышения эффективности деятельности организации.

Современные системы Process Mining'a

Современные системы Process Mining включают в себя широкий спектр инструментов и технологий, которые позволяют собирать, обрабатывать и анализировать данные для улучшения бизнес-процессов и повышения эффективности организации.

Одним из ключевых компонентов современных систем Process Mining являются инструменты для автоматического сбора и агрегации данных. Эти инструменты обычно используются для сбора информации из разных источников, включая базы данных, веб-сайты, социальные сети, электронную почту и др.

Другим важным компонентом является инфраструктура, которая позволяет сохранять и обрабатывать большие объемы данных в режиме реального времени.

Современные системы процессной аналитики также включают машинное обучение и искусственный интеллект, которые позволяют автоматизировать процессы анализа данных и оптимизировать бизнес-процессы. Данные системы и будут подробно рассмотрены в статье.

Связь Process mining с машинным обучением

Суть Process Mining заключается в глубоком анализе, мониторинге и усовершенствовании реальных процессов с помощью извлечения новых знаний из журналов событий, которые доступны в современных (информационных) системах. Если рассматривать поэтапно, то в данном случае нужно идти не от моделирования к реализации, а через исследование реального процесса для понимания, как он на самом деле работает. При этом речь идет не только о построении (автоматическом) модели процесса в виде красивой диаграммы, но и об определении его количественных характеристик. Process Mining отображает и визуализирует фактическое выполнение процессов от начала до конца, в режиме реального времени, на основе данных из информационных систем. Process Mining применяется для оценки многоэтапных процессов со сложной иерархией принятия решений, с большим количеством типичных, повторяющихся операций. Process Mining стоит применить в случае, если процессы не формализованы, либо в случаях, когда есть основания предполагать, что реальные процессы протекают со значительными отклонениями от стандартов и правил организации.

Машинное обучение (machine learning, ML) помогает компаниям эффективнее использовать process mining при оптимизации бизнес-процессов. Process Mining обеспечивает прозрачность существующих бизнес-процессов, выявляет отклонения в процессах, «узкие места» и находит возможности для использования RPA. RPA (роботизированная автоматизация процессов) – это технология, основанная на использовании множества цифровых роботов (ботов), которые решают рутинные бизнес-задачи и имитируют часть действий пользователя. В дополнение к этим преимуществам алгоритмы машинного обучения предоставляют много новой информации, используя те же данные, что и Process Mining.

Машинное обучение является важным инструментом для обработки и анализа больших объемов данных, что делает его актуальным при реализации систем Process Mining'a. Это позволяет автоматизировать процессы анализа данных и выявления закономерностей, что приводит к более точным результатам. Более того, машинное обучение может использоваться для определения тенденций и предсказания будущих событий, что позволяет предвидеть возможные риски и возможности, а также реагировать на них соответствующим образом.

Выработка шаблона журнала событий в process mining

В основе функционирования систем Process Mining лежит использовании данных журналов событий (eventlogs). Информационные системы автоматически регистрируют все процессы (activities), выполненные в ходе одной цепочки событий. Как дополнение к виду деятельности журналы событий содержат временные метки (times tamps), уникальный идентификационный номер (case ID) и прочие атрибуты события, например: пользователи процесса, текст переписки, решение по сделке и т.д. Эта информация может помочь визуализировать и проанализировать модель реального, а не предполагаемого процесса. Лог-файлы обеспечивают достоверную и детализированную информацию о ходе исполнения бизнес-процесса и при этом делают бизнес-процесс более прозрачным. К тому же Process Mining не ограничивается восстановлением моделей бизнес-процессов из журналов событий. Сопоставляя данные журналов и схемы

процессов, process mining выявляет отклонения и узкие места в цепочке процессов, изучает длительность выполнения каждой ее стадии, может обнаружить лишние или недостающие этапы, а также определить потенциальные способы оптимизации и, следовательно, повышения эффективности.

В целом, правильный выбор практик проектирования журнала событий может значительно повысить производительность и эффективность системы. Операторы могут быстро и эффективно мониторить и отлаживать бизнес-процессы, что помогает повысить качество продукции и повысить уровень удовлетворенности клиентов.

Применение машинного обучения при реализации систем Process Mining'a

Машинное обучение может быть использовано в следующих случаях реализации систем Process Mining:

1. Автоматическое выделение шаблонов процессов.

Автоматическое выделение шаблонов процессов при применении машинного обучения в Process Mining реализуется с помощью алгоритмов кластеризации данных. Для этого процессы моделируются в виде последовательности событий (Event logs), которые хранятся в специальных базах данных. Затем данные обрабатываются с помощью алгоритмов машинного обучения, которые выделяют схожие последовательности событий и группируют их в кластеры. Кластеры представляют собой шаблоны процессов, которые можно использовать для оптимизации работы предприятия. Шаблоны процессов могут быть использованы для составления соответствующих инструкций и рекомендаций для оптимизации процессов и улучшения качества продукции.

2. Прогнозирование времени выполнения задач.

Машинное обучение может быть очень полезным для прогнозирования времени выполнения задач в Process Mining. Машинное обучение может помочь предсказать, сколько времени займет выполнение каждой задачи в рамках процесса. Это может быть полезно, например, для оптимизации производственных цепочек, устранения задержек и снижения издержек на ресурсы.

Для этого необходимо собрать данные о выполнении задач в прошлом, такие как время начала и окончания, количество ресурсов, затраченных на каждую задачу, характеристики, связанные с задачей и т.п. Эти данные могут быть использованы для создания модели машинного обучения, которая будет предсказывать время выполнения каждой задачи в будущем.

В Process Mining применяются различные алгоритмы машинного обучения для прогнозирования времени выполнения задач, например: линейная регрессия, решающие деревья, случайный лес и т.д.

Выбор конкретного алгоритма зависит от характеристик данных и конкретной задачи;

3. Определение причин неэффективности процессов.

В Process Mining используются различные алгоритмы машинного обучения для определения причин неэффективности процессов. Некоторые из них: алгоритмы кластеризации, нейронные сети, методы анализа временных рядов и др.

Машинное обучение может быть применено в Process Mining для определения причин неэффективности процессов. К примеру, можно использовать алгоритмы классификации для выявления факторов, влияющих на качество продукции или скорость выполнения процессов. Для этого может быть необходимо провести анализ больших объемов данных, собранных из систем мониторинга и контроля качества, а также из записей операторов и других источников. Модели машинного обучения могут быть обучены на этих данных и использованы для определения ключевых факторов, влияющих на эффективность процессов.

Таким образом, Process Mining – это, прежде всего, визуализация и анализ бизнес-процессов. На основе логов, хранящихся в информационных системах, можно восстановить фактическую (визуальную) схему исполнения процесса в том виде, как он проходит на самом деле. Машинное обучение, в свою очередь, позволяет определить коренные причины и тем самым понять, почему процесс протекает именно таким образом. Поэтому можно считать весьма вероятной эффективную реализацию систем Process Mining, использующих машинное обучение.

Литература

1. Хилти Д., Моррис Д., Шарсиг М., Кирхмер М., Франц П., Саксена Р., Бенедикт Т. Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 4.0. М.: Альпина Паблишер. 2022. 533 с.
2. IEEE Task Force on Process Mining (Целевая группа по интеллектуальному анализу процессов) // URL: <https://www.tf-pm.org>. (дата обращения: 03.02.2023).
3. Манифест Process Mining // URL: <https://www.tf-pm.org/upload/1590128200840.pdf>. (дата обращения: 03.02.2023).
4. Process Mining по шагам: как настроить и запустить процессную аналитику в компании // URL: <https://habr.com/ru/post/677922/>. (дата обращения: 03.02.2023).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОЛИОЗА

Свиридов Д.А.¹ (студент)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Попов И.Ю.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: SviridovDanil56@yandex.ru

Аннотация

В данной работе мы создаем математическую модель позвоночника, нацеленную на прогнозирование возможных путей развития сколиоза. При этом основное внимание уделяется изменению параметров межпозвонковых дисков и его влиянию на характеристики позвоночного столба. В результате первого этапа работы была построена компьютерная модель биомеханической системы позвоночника.

Ключевые слова

Биомеханика, математическая модель позвоночника, прогнозирование сколиоза, характеристики межпозвоночных дисков, компьютерная модель позвоночника, пульпозное ядро, фиброзные кольца.

Человека может окружать ряд болезней еще с его рождения, одной из таких болезней является сколиоз. Сколиоз – это трехплоскостная деформация позвоночника человека.

На текущий момент не существует эффективного способа лечения болезней, связанных с искривлением позвоночника, что делает её одной из наиболее актуальных, потому вопросы биомеханики позвоночника выходят на первый план в научных исследованиях последних лет. Однако, все полученные теоретические сведения требуют практического подтверждения, но это уже крайне трудоемкий и долгий процесс, требующий участия человека, что может подвергнуть его риску.

Чтобы тестировать все теоретические знания и диагностировать людей разумно использовать математическую модель позвоночника. Она может наиболее точно и быстро спрогнозировать поведение позвоночника. Модель также позволит прогнозировать его поведение при изменении определенных характеристик. Такими характеристиками обладает межпозвоночные диски.

Межпозвоночные диски

Межпозвоночные диски – это фиброзно-хрящевые образования, которые выступают в роли механизма, с помощью которого соединяются соседние позвонки. Компоненты межпозвоночных дисков обладают различными свойствами в зависимости от положения внутри позвоночника. Объем, гидрофильность, толщина и количество пластинок в фиброзном кольце – все это определяется нагрузкой, которую испытывают межпозвоночные диски. Всего позвоночник человека имеет 23 диска, так как они отсутствуют между 1 и 2 шейным, а также крестцовыми позвонками.

При моделировании межпозвоночных дисков разумно разделять его структуру на две части, пульпозное ядро и фиброзное кольцо. Такое разделение помогает наиболее точно моделировать поведение позвоночника при изменении характеристик данных объектов [1].

Пульпозное ядро

Однако, позвоночник изучен еще не досконально, потому до сих пор неясно, чем является пульпозное ядро, жидкостью или твердым телом. При растяжении ткань настолько нелинейна, что ее часто сравнивают с «жидкостью с ограничениями», которая

может уравновесить напряжение только на небольших расстояниях, что может быть связано с их волокнистой текстурой.

Потому для её моделирования была выбрана модель деформируемого упругого тела – система сфер, связанных между собой с помощью пружины. Данный метод является одним из наиболее часто используемых при разработке реалистичных моделей человеческого организма, в том числе и для симуляции мягких тканей. Одним из наиболее интересных преимуществ этого метода является то, что эта структура состоит из множества частей, каждая из которых легко контролируется и настраивается, что позволяет с помощью одной модели получить несколько результатов: эксперименты с твердым и жидким телами. Также возможно тестирование различных форм и свойств, который можно с легкостью задать с помощью биохимических характеристик материала [2].

Обозначим частицу как P_j , где $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, каждая из которых соединена пружинами со своими соседними частицами. Запишем относительное положение частицы P_l по отношению к частице P_k в виде сферических координат $(d_{P_k P_l}, \phi_{P_k P_l}, \theta_{P_k P_l})$, где $d_{P_k P_l}$ описывает расстояние между частицами P_k и P_l , $\phi_{P_k P_l}$ – горизонтальный азимут, $\theta_{P_k P_l}$ азимут. Описанные обозначения представлены на рисунке 1.

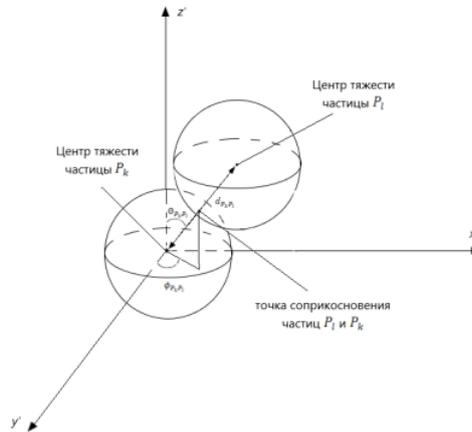


Рис. 1. Положение центра масс частицы P_l по отношению к соседней частице P_k

$$x'_{P_k P_l} = d_{P_k P_l} \sin(\theta_{P_k P_l}) \cos(\phi_{P_k P_l}), y'_{P_k P_l} = d_{P_k P_l} \sin(\theta_{P_k P_l}) \sin(\phi_{P_k P_l}), z'_{P_k P_l} = d_{P_k P_l} \cos(\theta_{P_k P_l}).$$

или в декартовой системе координат:

$$r'_{P_k P_l} = x'_{P_k P_l} \hat{i} + y'_{P_k P_l} \hat{j} + z'_{P_k P_l} \hat{k}.$$

где $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ – единичные векторы соответствующей декартовой системы координат.

Таким образом, для фиксированной системы координат можно записать положение каждой частицы, используя векторы r_{P_i} и $r'_{P_i P_{i+1}}$.

$$r_{P_i} = r_{P_1} + \sum_{l=1}^{i-1} r'_{P_l P_{l+1}}.$$

Эволюция системы регулируется с помощью второго закона Ньютона:

$$F_{P_i} = m_{P_i} a_{P_i},$$

где m_{P_i} масса частицы P_i , a_{P_i} ускорение, вызванное силой F_{P_i} . Эта сила в дальнейшем будет разделена на внешнюю и внутреннюю. Внутренняя сила $F_{P_i}^{int}$ является результатом напряженности пружин, связывающих частицы:

$$F_{P_i}^{int} = \sum_{j \neq i} k_{ij}^C \frac{|r_{P_i P_j}| - l_{P_i P_j}}{|r_{P_i P_j}|} |r_{P_i P_j}|,$$

где k_{ij}^C и $l_{P_i P_j}$ – жесткость и длина покоя пружины, соединяющей частицы P_i и P_j , соответственно.

В данной математической модели использовались гравитация, соударение и затухание как основные внешние силы. Гравитационная сила действует на частицу P_i по следующей формуле:

$$G_{P_i} = m_{P_i} g,$$

где g – ускорение свободного падения.

Вектор сил соударения предоставлен в виде вектора:

$$F = \{F_1^t, F_1^n, F_2^t, F_2^n, \dots, F_k^t, F_k^n\}^T$$

где F_j^t и F_j^n — нормальная и тангенциальная силы соударения соответственно.

Также можно получить вектор импульса в точках соударения через интегрирование:

$$\tau = \{\tau_1^t, \tau_1^n, \dots, \tau_k^t, \tau_k^n\}^T = \left\{ \int_0^t F_1^t dt, \int_0^t F_1^n dt, \dots, \int_0^t F_k^t dt, \int_0^t F_k^n dt \right\}^T,$$

где $\tau_j = \tau_j^t \hat{t}_j + \tau_j^n \hat{n}_j$, \hat{n}_j – единичный вектор нормали к плоскости, а \hat{t}_j – единичный вектор в общей касательной плоскости.

Для данной математической модели рассматриваются частицы с фиксированными радиусом r_0 и массой m_0 , соединенные лишь с соседними частицами. Геометрическое значение углов проиллюстрировано на рисунке 2.

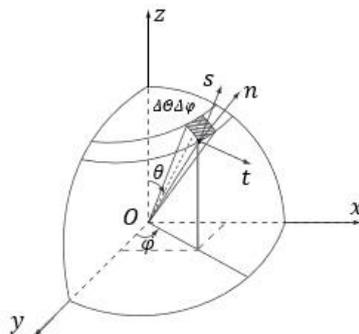


Рис. 2. Описание углов при контакте двух сфер
Для всей системы можно описать тензор среднего напряжения:

$$\sigma_{ij} = \frac{M}{2V} \sum_{\phi} \sum_{\theta} b_i^c(\phi, \theta) f_{ij}^c(\phi, \theta) f(\phi, \theta) \sin \phi \Delta \phi \Delta \theta$$

где M и V – масса и объем всей системы, $b_i^c(\phi, \theta)$ – абсолютное значение вектора, соединяющего две частицы, $f_{ij}^c(\phi, \theta)$ — сила натяжения двух частиц под углами ϕ и θ .

Используя закон Гука, сила натяжения можно определить как:

$$f_{ij}^c(\phi, \theta) = k_{ij}^{c\Delta_j}$$

где

$$k_{ij}^c = k_{n_i n_j} + k_{s_i s_j} + k_{t_i t_j}, n = (\cos(\phi)\sin(\theta), \sin(\phi)\sin(\theta), \cos(\theta)),$$

$$s = (-\sin(\phi), \cos(\phi), 0), t = (\cos(\phi)\cos(\theta), \sin(\phi)\cos(\theta), -\sin(\theta)).$$

Соотношение деформации-смещения в точке контакта и отношение между тензором деформации и тензором натяжения можно описать как:

$$\Delta_{ml}^c = \varepsilon_{ml} b_l^c, \sigma_{ij} = A_{ijml} \varepsilon_{ml}$$

где ε_{ml} – тензор деформации системы.

Определим дополнительно $f(\phi, \theta) = \frac{1}{4\pi}$ и $b_i^c = 2r_0 n_i$. Заменяя суммирование на интегрирование, получаем тензор эффективной упругости пружин:

$$A_{ijml} = \frac{r_0^2 M}{2\pi V} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (k_{n_i n_j m_l} + k_{s_i s_j m_l} + k_{t_i t_j m_l}) \sin(\phi) d\phi d\theta$$

Воспользовавшись определенными для изотропного материала отношениями между состояниями напряжения и деформации из механики сплошных сред, можно получить коэффициенты жесткости пружин и записать их в виде:

$$k_n = \frac{3}{2} \frac{EV}{Mr_0^2(1-2\nu)}, k_s = \frac{3}{2} \frac{EV(4\nu-1)}{Mr_0^2(2\nu^2+\nu-1)}, k_t = \frac{3}{2} \frac{EV(4\nu-1)}{Mr_0^2(2\nu^2+\nu-1)}$$

где E – модуль упругости Юнга, ν коэффициент Пуассона.

Фиброзные кольца

Математической моделью фибринозного кольца разумно использовать композитные материалы, из-за схожести их свойств и характеристик с исследуемым нами материалом.

Структура фибринозных колец представляет собой набор волокнистых слоев, где ориентация волокон также влияет на конечные характеристики материала, а кольца обладают различными упругими характеристиками. Но так на данном этапе работы, такая структура будет сильно усложнять и замедлять работу, а потому мы будем рассматривать слой как изотропную модель, у которой, упругие свойства одинаковы во всех направлениях [3].

Для простоты дальнейших вычислений будем принимать x, y, z как x_1, x_2, x_3 в

декартовой системе координат. Покажем для деформируемого тела напряжения, действующие по граням бесконечно малого параллелепипеда. Определим тензор деформации следующим образом:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta u_i}{\delta x_j} + \frac{\delta u_j}{\delta x_i} \right),$$

где $i, j = (1, 2, 3)$ и u_1, u_2, u_3 проекции полного перемещения на оси x_1, x_2, x_3 соответственно.

Рассмотрим модель с изотропным телом, у которого упругие свойства одинаковы по всем направлениям [4]. Тогда закон Гука будет записан в следующем виде:

$$\varepsilon_{11} = \frac{1}{E} [\sigma_{11} - \mu(\sigma_{22} + \sigma_{33})], \varepsilon_{22} = \frac{1}{E} [\sigma_{22} - \mu(\sigma_{33} + \sigma_{11})], \varepsilon_{33} = \frac{1}{E} [\sigma_{33} - \mu(\sigma_{11} + \sigma_{22})],$$

$$\gamma_{12} = \frac{\sigma_{12}}{G}, \gamma_{23} = \frac{\sigma_{23}}{G}, \gamma_{31} = \frac{\sigma_{31}}{G},$$

где E – модуль упругости материала Юнга, μ – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, который вычисляется по формуле:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}.$$

Перепишем закон Гука в матричном виде:

$$\varepsilon = \Phi \sigma,$$

Где

$$\Phi = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & 1 & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & -\mu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\mu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\mu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix},$$

$$\sigma = (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{23}, \sigma_{31})^T, \varepsilon = (\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}, \gamma_{12}, \gamma_{23}, \gamma_{31})^T, \gamma_{ij} = \varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ji} = 2\varepsilon_{ij}.$$

Разрешая эту систему уравнений относительно напряжений, можно получить закон Гука в следующем виде:

$$\sigma = K \varepsilon,$$

где K – матрица жесткости материала, имеющая следующий вид:

$$K = \Phi^{-1} = \frac{E}{(1+\mu)(1-\mu)} \begin{bmatrix} 1-\mu & \mu & \mu & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 1-\mu & \mu & 0 & 0 & 0 \\ \mu & \mu & 1-\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2} \end{bmatrix}$$

Для анизотропного тела матрица Φ не будет содержать нулей в общем случае. Из-за симметричности матрица 21 независимый коэффициент. В развернутом виде закон Гука записывается следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \Phi_{14} & \Phi_{15} & \Phi_{16} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \Phi_{24} & \Phi_{25} & \Phi_{26} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \Phi_{34} & \Phi_{35} & \Phi_{36} \\ \Phi_{41} & \Phi_{42} & \Phi_{43} & \Phi_{44} & \Phi_{45} & \Phi_{46} \\ \Phi_{51} & \Phi_{52} & \Phi_{53} & \Phi_{54} & \Phi_{55} & \Phi_{56} \\ \Phi_{61} & \Phi_{62} & \Phi_{63} & \Phi_{64} & \Phi_{65} & \Phi_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \end{bmatrix}$$

В данной модели достаточно использовать свойства ортотропного материала, что заметно упростит запись, уменьшая число независимых коэффициентов. В этом случае закон Гука будет выглядеть следующим образом:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Phi_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Phi_{66} \end{bmatrix}$$

или с выраженными коэффициентами:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_{21}}{E_2} & -\frac{\mu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\mu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{13}}{E_1} & -\frac{\mu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} \end{bmatrix}$$

или в случае поперечно изотропного тела:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_1}{E_1} & -\frac{\mu_2}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_1}{E_1} & \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_2}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_2}{E_1} & -\frac{\mu_2}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_2} \end{bmatrix}$$

где E_i – модули упругости, G_{ij} и G_i – модули сдвига, μ_{ij} и μ_i – коэффициенты Пуассона.

Визуализация модели

Используя методы расчётов, описанные в работе выше, мы можем определить положение сфер пульпозного ядра. Пользуясь этим, было принято решение симулировать модель позвоночника в программе Blender. Blender — профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, анимации, симуляции, рендеринга. Кости в нашей модели были созданы объекты Mesh. Их также называют сетками, полисетками. Это трёхмерные геометрические примитивы, изменяя которые с помощью базовых трансформаций и других модификаторов, создают более сложные фигуры. Сферы пульпозного ядра были созданы с использованием этой же технологии. Результаты визуализации позвонков представлены на рисунке 3.

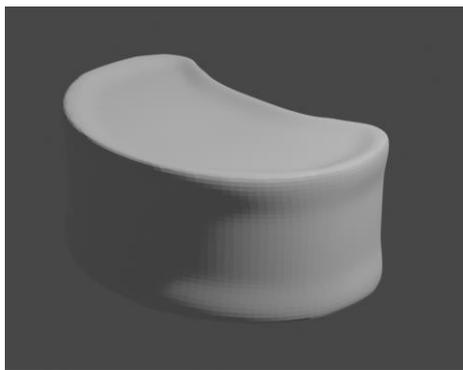


Рис. 3. Визуализация позвонка

Пружины, соединяющие сферы были созданы за счет использования объекта Кривая. Кривая — это особый тип объекта Blender. Она выражается математическими функциями (интерполяцией), а не линейной интерполяцией между сериями точек. Также модификатор кривая, обеспечивает простой, но эффективный способ деформирования полисетки вдоль объекта Кривой. Далее за счет использования модификатора “Логический” пружины и сферы были соединены между собой в единый объект. Результаты визуализации межпозвоночных дисков представлены на рисунке 4.

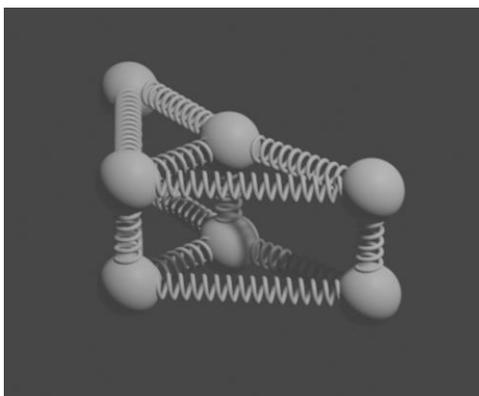


Рис. 4. Визуализация позвонка

Следующей задачей было соединение межпозвоночных дисков с позвонками с сохранением их характеристик. Для этого был выбран инструмент Armature(скелет). Модификатор Скелет используется для построения скелетных систем для анимации и позы персонажей и все остальное, что должно иметь позы. Путем добавления скелетной системы к объекту этот объект может быть деформирован так, что геометрия не должна быть анимирована вручную. С помощью данного модификатора были соединены между собой все сферы внутри пульпозных ядер, а также центральные сферы были соединены с позвонками. Данная технология и позволяет нам менять характеристики одного межпозвоночного диска, не меняя при этом характеристики других участков позвоночника. Окончательные результаты работы представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Визуализация позвоночника

Перспективы улучшения

Безусловно, созданная модель требует модификаций и доработок в сторону более точного прогнозирования поведения позвоночника. В дальнейшем можно усовершенствовать систему моделирования фиброзных колец, а также взаимодействие объектов внутри 3d модели. Но на данном этапе сделать это не так просто, так как для моделирования реальных случаев у нас есть не так много данных, все характеристики, которые мы можем получить от человека, это его МРТ.

Литература

1. Дудин М.Г., Михайловский М.В., Садовой М.А., Пинчук Д.Ю., Фомичев Н.Г., Идиопатический сколиоз: кто виноват и что делать? // Хирургия позвоночника. 2014. № 2. С. 8-20.
2. Newell N., Little J.P., Christou A., Adams M.A., Masouros S.D., Biomechanics of the human intervertebral disc: A review of testing techniques and results. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2017. С. 420-434.
3. Райхинштейн В.Е. Измерение механических свойств межпозвонковых дисков под влиянием длительных статических компрессионных нагрузок. / Райхинштейн В.Е., Цивьян Я.Л., Овсейчик Я.Л. // Механика композит. материалов. 1979. № 6. С. 1076-1081.
4. Орлов С.В., Седов Р.Л., Бобарыкин Н.Д., Аполлинариев В.И. Математическое моделирование неустойчивости позвоночника и методов стабилизации // Российский журнал биомеханики. 2010. Т. 14. № 3 (49). С. 36–46.

ИМИТАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЁТА НА СУДНО В УСЛОВИЯХ КАЧКИ

Трубников А.В.¹ (студент)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Трифанов А.И.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: trueinmath@gmail.com

Аннотация

В работе приведен анализ процесса захода на посадку летательного аппарата самолетного типа на корабль в простых метеоусловиях. Рассмотрены условия и факторы влияющие на выполнение посадки летательного аппарата на корабль. Определены объекты моделирования и метод исследования. Представлена формализованная постановка задачи.

Ключевые слова

Заход на посадку, имитационное моделирование, математическое моделирование, гибридные системы, автоматическая система посадки.

Посадка является завершающим этапом полета воздушного судна, определяющим диапазон применения летательного аппарата по метеорологическим условиям:

- высота нижней кромки облаков;
- полетная видимость.

Посадка самолетов на авианесущий корабль является одним из наиболее сложных этапов, в силу условий, в которых она выполняется.

Основными особенностями при посадке на корабль являются:

- корабль, как носитель ВПП является подвижным;
- морское волнение, вызывающее качку корабля;
- зоны турбулентного воздушного потока над палубой корабля и за его кормой,

которые влияют на безопасность и точность приземления (сильные порывы ветра, вертикальные и горизонтальные, сказываются на изменение угла захода на посадку, и скорости самолета, что приводит к его просадке или подкидыванию в непосредственной близости от корабля);

- более узкая и короткая зона посадки, что влечет более жесткие требования к точности касания самолета в заданную область палубы, в отличии от сухопутных аэродромов.

Факторы, влияющие на качество процесса захода на посадку:

- наличие ошибок, возникающих при обмене информацией;
- точность приземления в указанную область.

Всего существует три режима захода на посадку:

- 1) ручной;
- 2) автоматизированный;
- 3) автоматический.

В ручном режиме данные от систем, обеспечивающих заход на посадку, не передаются на самолет. Пилот управляет самолетом вручную при заходе на посадку, выполняя команды, поступающие с корабля по радиосвязи.

В автоматизированном режиме ошибки глиссады и азимута передаются на борт самолёта и отображаются на дисплее. Пилот управляет самолётом вручную руководствуясь индикаторами крена и тангажа, чтобы оставаться на правильной траектории глиссады при заходе на посадку.

В автоматическом режиме сигналы команд и ошибок передаются на борт самолёта из систем, обеспечивающих заход на посадку. Затем автоматика самолёта корректирует управление, чтобы оставаться на правильной траектории глиссады вплоть до посадки.

На данный момент посадка на корабль происходит в ручном режиме и, как правило, в простых метеоусловиях, преимущественно в светлое время суток, при умеренном волнении моря. Посадка в простых метеоусловиях осуществляется по оптическим системам, которые формируют для летчика цветовой сектор, позволяющие ему определить положение ВС относительно заданной траектории захода на посадку и выработать управляющее воздействие, для устранения отклонения. Ручной режим требует высокой квалификации летчика, а значит, уменьшает число летчиков, допущенных к полетам. Для того чтобы увеличить число летчиков, допущенных к полетам, увеличить безопасность посадки и облегчить процесс захода на посадку необходимо создать систему автоматической посадки.

При создании автоматической системы посадки можно минимизировать задержки, связанные с передачей информации и исключить возможные ошибки при ее передаче и/или восприятии человеком. Для повышения боевой эффективности самолета, обеспечения посадки в любое время суток, в сложных метеоусловиях и в условиях средней, и более, качки, тема автоматической системы посадки является актуальной.

На текущий момент анализ зарубежных источников на тему автоматической посадки показал, что в них в основном описывают проблему траекторной задачи, проблему компенсации качки, повышение точности определения положения летательного аппарата в пространстве, все это делается в рамках лишь посадочного локатора и не охватывает полную систему комплексов участвующих в процессе посадки, например аэрофинишер для осуществления посадки летательного аппарата самолетного типа, системы автоматической швартовки для летательных аппаратов вертолетного типа. За основу для модели летательного аппарата взят HAVR F-18, для модели посадочного радиолокационного комплекса AN/SPN-42 [1, 2].

Поскольку тема автоматической системы посадки является актуальной, не менее актуальной является тема ее моделирования. В силу того, что представление автоматической системы посадки в единой аналитической формуле является крайне сложным процессом, поскольку она состоит из некоторого множества объектов, включая самолет, гораздо удобнее создать ее имитационно-математическую модель, где задачу уже можно представить в виде набора процессов действующих на одном промежутке времени [3].

Особенностью имитационных моделей является то, что они не способны формировать решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве средства для анализа протекания процесса (поведения системы) в условиях, которые определяются экспериментатором. Основными достоинствами метода имитационного моделирования являются: возможность использования аппарата различных математических дисциплин (теории вероятностей, математической статистики, теории управления, теории игр, теории сложных систем и т. д.); возможность учета большого количества факторов и зависимостей; достаточную гибкость имитационной модели при варьировании характеристик моделируемого процесса.

Таким образом, необходимо разработать имитационную математическую модель системы автоматической посадки на судно в условиях качки позволяющей устанавливать зависимость эффективности посадки летательного аппарата от:

- корабля, его средств обеспечения автоматической посадки;
- самолета, его средств обеспечения автоматической посадки;
- внешней среды (окружение).

В качестве исходных данных для модели корабля будут взяты параметры авианосца «Викрамадитья» из состава Военно-Морских Сил Индии.

В качестве исходных данных для модели летательного аппарата будут взяты параметры самолета «МиГ-29К» из состава авиационной группы авианосца «Викрамадитья» Военно-Морских Сил Индии.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- провести декомпозицию автоматической системы посадки на подсистемы;
- составить математические модели подсистем;
- реализовать полученные математические модели в программном виде;
- разработать модель окружения;
- проверить адекватность разработанной модели реальному процессу.

Основные объекты моделирования представлены в таблице.

Таблица

Основные объекты моделирования

Корабельные системы	Бортовые системы (летательного аппарата)
Механизированные средства обеспечения посадки	Система автоматического управления
Радиотехнические средства	Бортовое радиоэлектронное оборудование

Формализованная постановка задачи выглядит следующим образом. Задана система исходных данных:

- неизменные параметры:
 - $E = (e_1, \dots, e_n)$ – вектор параметров, характеризующих внешнее окружение.
- изменяемые параметры:
 - $L = (l_1, \dots, l_n)$ – вектор параметров, характеризующий способы посадки;
 - $A = (a_1, \dots, a_n)$ – вектор параметров, характеризующий самолет и его составляющие в части системы автоматической посадки;
 - $C = (c_1, \dots, c_n)$ – вектор параметров, характеризующий корабль и его составляющих в части системы автоматической посадки.

Необходимо:

1. Разработать модель окружения с вышеуказанными параметрами, которая по результатам работы предоставит вектор с вероятностями посадки в автоматическом режиме не ниже заданной $P_{ап} = \{P_{ап1}, \dots, P_{апj} | P_{апj} \geq 0.9\}$, таким образом: $P_{апj} = \max_{j=1, M} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_n(X_j | E)$, где: j – номер варианта изменяемых параметров; M – количество вариантов изменяемых параметров; N – количество испытаний модели; H_n – n -я реализация процесса автоматической посадки; E – вектор неизменных параметров; X_j – j -й вариант вектора изменяемых параметров; $P_{апj}$ – итоговая вероятность посадки в автоматическом режиме j -го номера варианта изменяемых параметров.

2. Поскольку поведение общей модели, обусловленное совместным функционированием непрерывных и дискретных объектов, например система автоматического управления самолета, где самолет выступает в качестве непрерывного объекта управления, а сама система автоматического управления рассматривается как дискретное устройство управления (котроллер) [4]. Тогда необходимо разработать модель процесса захода на посадку в автоматическом режиме, как модель гибридной системы:

$$H = \{s, S_0, pred(t, s(\tau)), init(s(\tau)), stop(t, s(\tau))\},$$

где: s – вектор переменных состояния; S_0 – множество начальных условий, включающее все начальные условия, порождаемые функцией инициализации, в процессе

функционирования системы; $pred(t, s(\tau))$ – функция, выделяющая особые состояния или события, приводящие к смене поведения; $init(s(\tau))$ – функция инициализации; $stop(t, s(\tau))$ – функция завершения / остановки; τ – гибридное время.

Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть направлены на расширение описательной базы моделей с целью их более точного и гибкого проектирования с последующей реализацией объектов системы и их компоновкой в единую систему. Особенное внимание должно быть уделено проектированию моделей корабля, системы автоматического управления самолета, радиотехнических средств, обеспечивающих заход на посадку, и механизированных средств, обеспечивающих посадку.

Литература

1. Haibin D., Lin C., Zhigang Z. Automatic Landing for Carrier-Based Aircraft Under the Conditions of Deck Motion and Carrier Airwake Disturbances // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2022. № 6. P. 5276–5291.
2. Ziyang Z., Chaojun Y., Shuoying J., Ju J. Adaptive Super-Twisting Control for Automatic Carrier Landing of Aircraft // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2020. № 2. P. 984–997.
3. Law A.M. Simulation modeling and analysis – Tucson: McGraw-Hill Education. 2014. p. 800.
4. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург. 2006. 224 с.

ГИБРИТИЗАЦИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ И АГЕНТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ СОСУДА ПОСТРЕДСТВОМ ТРИЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Фотин А.Д.¹, Зун П.С.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бухановский А.В.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: alexsei.fotin@yandex.ru

Аннотация

Моделирование методом конечных элементов является общепризнанным подходом к механическому моделированию ангиопластики и установки стента. Модели на основе агентов представляют собой альтернативный подход к моделированию биологических тканей, в котором отдельные клетки могут быть представлены в качестве агентов и подходят для изучения биологических реакций. Комбинируя эти два подхода, можно использовать сильные стороны каждого из них для улучшения описания ангиопластики или стентирования «in silico» и последующего эффекта заживления.

В работе предлагается сопоставление конечно-элементной и агентной моделей сосудистой ткани с использованием трилинейной интерполяции, где напряжения и деформации в агентной модели возникают непосредственно из-за сил взаимодействия между отдельными агентами. Рассчитаны и сравнены значения напряжений для конечно-элементной и агентной моделей.

Ключевые слова

Механическая модель, артериальная ткань, конечно-элементное моделирование, агентное моделирование, интерполяция.

Метод конечных элементов (МКЭ) в настоящее время часто используется при моделировании имплантации стентов в коронарные артерии «in silico». Такой подход позволяет воспроизводить механическое поведение стента, баллона и артерии в непрерывном масштабе. С другой стороны, существует агентное моделирование (АМ), которое позволяет исследовать процессы на клеточном уровне [1]. Хотя подходы МКЭ [2] и АМ [3] можно использовать независимо друг от друга для изучения как механических процессов при стентировании, так и биологического ответа после развертывания стента, тем не менее, совмещение двух методов обеспечит более точный и надежный подход к анализу как с механической точки зрения (через МКЭ), так и с биологической (через АМ).

Далее предлагается метод объединения двух подходов для анализа развертывания стента в коронарных артериях. Цель данной работы интегрировать результаты конечно-элементного моделирования развертывания стента в агентную модель, которая, в свою очередь, будет использоваться для изучения роста тканей и рестеноза сосудов. Таким образом, мы хотим получить эквивалентный механический отклик для агентной модели по результатам конечно-элементного моделирования, что важно для получения надежных прогнозов развития рестеноза.

Односторонние связи МКЭ и АМ для сосудистых стенок были предложены ранее в [4], а также метод двусторонней связи [5]. Заметим, что во всех этих работах агенты равномерно сгенерированы после развертывания и механически не взаимодействуют, а напряжения передаются им в качестве внешнего параметра. Тут предлагается альтернативный подход, при котором напряжение и деформация в АМ вычисляются непосредственно из сил взаимодействия между отдельными агентами.

Геометрическая модель идеализированной артерии, представленная в виде прямой цилиндрической трубки, была дискретизирована линейными шестигранными элементами. Для простоты стенка сосуда состоит из гладкомышечных клеток, которые образуют средний слой артерии. Модель материала с гиперупругим поведением была откалибрована для воспроизведения экспериментальных соотношений напряжением-

деформация, описанных в [6]. В частности, параметры модели были выбраны для воспроизведения деформации по окружности, так как имеют наибольшее значение во время стентирования. Моделирование давления в сосуде выполнялось путем повышения давления на поверхности просвета сосуда до достижения 100 мм.рт.ст. Моделирование МКЭ было выполнено с использованием Abaqus/Explicit (SIMULIA Corp., США).

Используемая агентная модель аналогична тем, что описана в работе [3]. Каждый агент представлен как упругая сфера, которая взаимодействует со своими соседями посредством упругого отталкивания и парных сил связи.

Для интеграции результатов конечно-элементной модели в агентную используются траектории узлов конечных элементов при моделировании давления в сосуде, затем для каждого агента вычисляется траектория с помощью трилинейной интерполяции. Такой метод представляет собой семикратное применение линейной интерполяции по формуле (1).

$$c = c_0 + \frac{dist(\tilde{c}, \tilde{c}_0)}{dist(\tilde{c}_1, \tilde{c}_0)} (c_1 - c_0), \quad (1)$$

где \tilde{c}_i – координата точки i , c_i – смещение узла i . Таким образом, для каждого агента необходимо определить конечный элемент, в котором он находится, и по известным смещениям узлов конечного элемента последовательно вычислить коэффициенты $c_{00}, c_{01}, c_{10}, c_{11}, c_0, c_1, c$ (рис. 1).

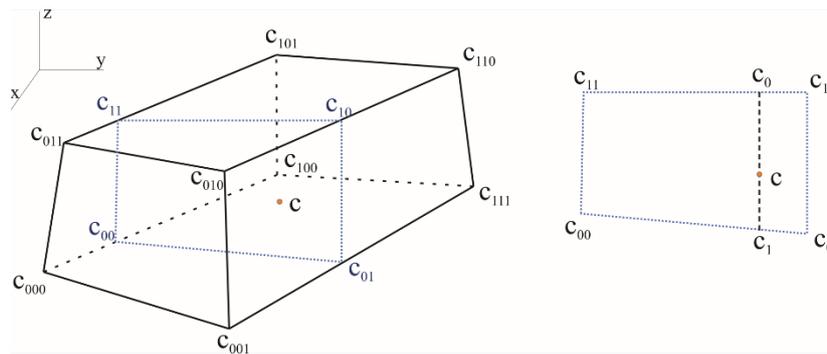


Рис. 1. Трилинейная интерполяция для точки c в кубоиде

Во время смещения агенты в стенке сосуда взаимодействуют посредством сил, описанных в [3], обеспечивая динамику напряжения-деформации для развертывания. После того, как агенты достигают конца своей траектории, поверхность просвета фиксируется на месте, а остальные агенты уравниваются.

Моделирование давление в сосуде проводилось на простом цилиндрическом сосуде длиной 4,5 мм, внутренний радиус 1,26 мм, внешний радиус 2,32 мм. Сначала была запущена конечно-элементная модель, затем агентная, как описано ранее. Значения изменения внутреннего радиуса и внутреннего напряжения использовались для сравнения между агентной и конечно-элементной моделями. Напряжение рассматривалось в трех направлениях относительно оси сосуда: кольцевом, радиальном и осевом. Внутреннее напряжение для МКЭ было рассчитано по матрице напряжений для каждого элемента. В агентной модели напряжение рассчитывалось как мгновенное локальное вириальное напряжение [1], рассчитанное на основе парных сил взаимодействия и размера агента.

Для возможности сравнения напряжений в одном масштабе и для сглаживания локальных флуктуаций вириального напряжения, возникающих из-за неоднородностей в ткани из агентов, мы распределяем значения напряжений их конечно-элементной и агентной моделей по ячейкам и усредняем значения внутри них. Это позволяет получить

тепловые карты напряжений для каждого случая. Так как сосуды симметричны, было решено выделить ячейки на основе продольной координаты x и радиального расстояния r , все точки по окружности сосуда с одинаковыми x и r попадают в одну ячейку. Размеры ячейки составляют 0,32 мм как для направления x , так и для направления r .

Результаты моделирования анализируются с помощью NumPy и Pandas, а графики создаются с помощью Matplotlib и Seaborn. Результаты агентного моделирования отображаются с помощью Paraview.

Перейдем к анализу результатов. Внутренний радиус сосуда при агентном моделировании увеличился с 1,26 мм до 1,47 мм, как и при конечно-элементном моделировании. Что касается внешнего радиуса, то для агентной модели он изменился с 2,32 мм до 2,45 мм, а при конечно-элементном моделировании с 2,32 мм до 2,43 мм. Для случая с незафиксированными концами сосуда результаты представлены на рисунке 2, а для зафиксированных на рисунке 3.

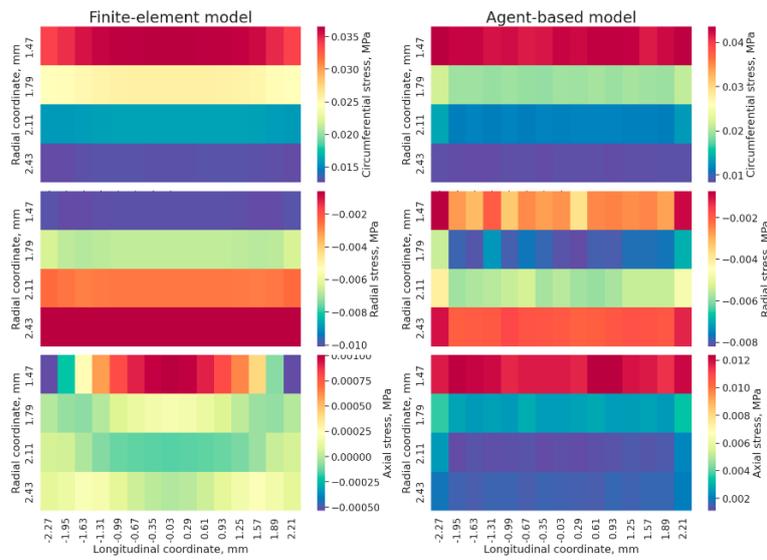


Рис. 2. Среднее распределение напряжения (МПа) для моделей при давлении в 100 мм рт.ст. Свободные концы. Вверху: окружное, в середине: радиальное, внизу: осевое напряжение

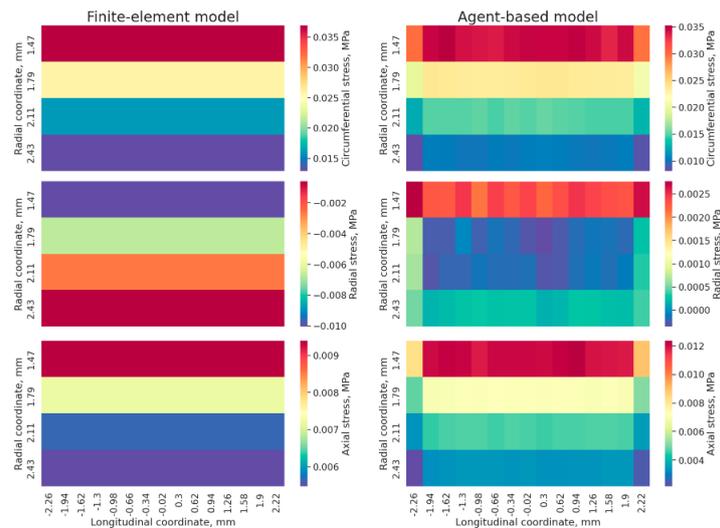


Рис. 3. Среднее распределение напряжения (МПа) для моделей при давлении в 100 мм рт.ст. Зафиксированные концы. Вверху: окружное, в середине: радиальное, внизу: осевое напряжение

Численные эксперименты на цилиндрическом сегменте сосуда демонстрируют хорошее соответствие между агентной и конечно-элементной моделями для внутреннего и внешнего радиусов сосуда. Внутренний радиус при агентном моделировании точно

такой же, как при конечно-элементном, а внешний радиус немного больше. Вероятная причина в том, что в агентной модели не обеспечивается несжимаемость.

Наблюдается хорошее соответствие кольцевых напряжений между двумя рассмотренными моделями, несколько слабее по радиальной и осевой компонентам напряжения. Следует отметить, что окружное напряжение является самым большим в рассмотренном здесь сценарии повышения давления, а также в клинически значимых случаях стентирования и считается наиболее важным для биологического ответа. Возможной причиной несоответствия осевой и радиальной составляющих, помимо сжимаемости ткани, является одно ограничение, присущее центральным агентным моделям: поскольку клетки не могут изменять свою форму, расчеты вириального стресса, как известно, неточны, особенно при сжатии [1]. Единственный способ избежать этого – использовать модели деформируемых ячеек [7], которые намного дороже в вычислительном отношении.

Усредненное напряжение в ткани также близко между двумя моделями. Однако наблюдаются заметные колебания в масштабе отдельных ячеек. Это означает, что механизм связи, можно использовать для непосредственного наложения механических деформаций и напряжений из моделей конечных элементов на биологические модели на основе агентов, чтобы задать биологическую реакцию используя механическое напряжение при моделировании тканей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-71-10108) с использованием оборудования центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса» НИЦ «Курчатовский институт», <http://ckp.nrcki.ru/>.

Литература

1. Van Liedekerke P., Palm M.M., Jagiella N. et al. Simulating tissue mechanics with agent-based models: concepts, perspectives and some novel results. *Comp. Part. Mech.* 2. P. 401-444 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40571-015-0082-3>.
2. Escuer J., Martínez M. A., McGinty Sean & Peña Estefanía. Mathematical modelling of the restenosis process after stent implantation. *J. R. Soc. Interface.* 16. (2019). <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0313>.
3. Zun P.S., Narracott A.J., Chiastra C. et al. Location-Specific Comparison Between a 3D In-Stent Restenosis Model and Micro-CT and Histology Data from Porcine In Vivo Experiments. *Cardiovasc Eng Tech* 10, 568-582 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13239-019-00431-4>.
4. Nolan D. & Lally C. An investigation of damage mechanisms in mechanobiological models of in-stent restenosis. *Journal Of Computational Science.* 24 pp. 132-142 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.04.009>.
5. Li S., Lei L., Hu Y., Zhang Y., Zhao S. & Zhang J. A fully coupled framework for in silico investigation of in-stent restenosis. *Computer Methods In Biomechanics And Biomedical Engineering.* 22, 217-228 (2019). <https://doi.org/10.1080/10255842.2018.1545017>.
6. Holzapfel G., Sommer G., Gasser C. & Regitnig P. Determination of layer-specific mechanical properties of human coronary arteries with nonatherosclerotic intimal thickening and related constitutive modeling. *American Journal Of Physiology-Heart And Circulatory Physiology* 289, pp. 2048-2058 (2005). <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00934.2004>.
7. Van Liedekerke P., Neitsch J., Johann T., Warnt E., González-Valverde I., Hoehme S., Grosser S., Kaes J. & Drasdo D. A quantitative high-resolution computational mechanics cell model for growing and regenerating tissues. *Biomechanics And Modeling In Mechanobiology* 19, pp. 189-220 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10237-019-01204-7>.

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ОТ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Эндреш А.С.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тимофеева Т.Б.¹

1 – Государственный университет управления

email: nastend19@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №120803 «Оценка рисков информационной безопасности компании на основе имитационного моделирования».

Аннотация

В статье рассматриваются структура и алгоритм реализации разработанной имитационной модели для оценки риска, возникающего вследствие утечки конфиденциальных данных компании. Применение данной модели позволит компаниям повысить качество анализа данных рисков и оценить объем необходимых финансовых вложений для предотвращения рисков информационной безопасности.

Ключевые слова

Имитационный подход, информационная безопасность, конфиденциальная информация, ожидаемый ущерб, угроза информационной безопасности, уязвимость.

В настоящее время проблема оценки и снижения рисков информационной безопасности является особенно актуальной. Наиболее распространенным видом угроз информационной безопасности является утечка конфиденциальных данных, как частных компаний, так и государства в целом. Анализ показал, что 2022 год стал в России рекордным по количеству зафиксированных инцидентов, связанных с утечкой информации [1]. Для создания эффективной системы снижения рисков информационной безопасности необходимо разработать и реализовать модели для их оценки [2]. Одним из наиболее эффективных методов оценки ожидаемого ущерба от утечки конфиденциальной информации компании является имитационный подход, представляющий собой процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на модели.

Для создания имитационной модели была построена математическая модель результирующего показателя (ущерба, связанного с утечкой конфиденциальных данных компании) как функции случайных переменных и детерминированных параметров.

$$L = \sum_t K_c(t) \cdot W_c(t, K_c, d) \cdot d(t) \cdot I(t), \quad (1)$$

где L – величина ущерба от утечки конфиденциальной информации; K_c – коэффициент конфиденциальности информации; W_c – затраты на восстановление информации; $d(t)$ - доля кражи информации; I - индикатор реализации угрозы (если произошла утечка данных, то $I = 1$, если утечки не было, то индикатор равен 0).

В качестве детерминированных параметров используются коэффициент конфиденциальности информации, стоимость данных компании для каждого вида конфиденциальной информации и параметры закона распределения реализации угрозы. Случайными переменными являются доля украденной информации каждого вида, индикатор реализации угрозы, который моделируется на основе заданной вероятности реализации угрозы каждого вида, и индикатор попадания в уязвимость информационной системы, который моделируется на основе заданной вероятности присутствия

уязвимости информационной системы в момент реализации угрозы информационной безопасности компании [3].

Алгоритм работы имитационной модели представлен на рисунке.

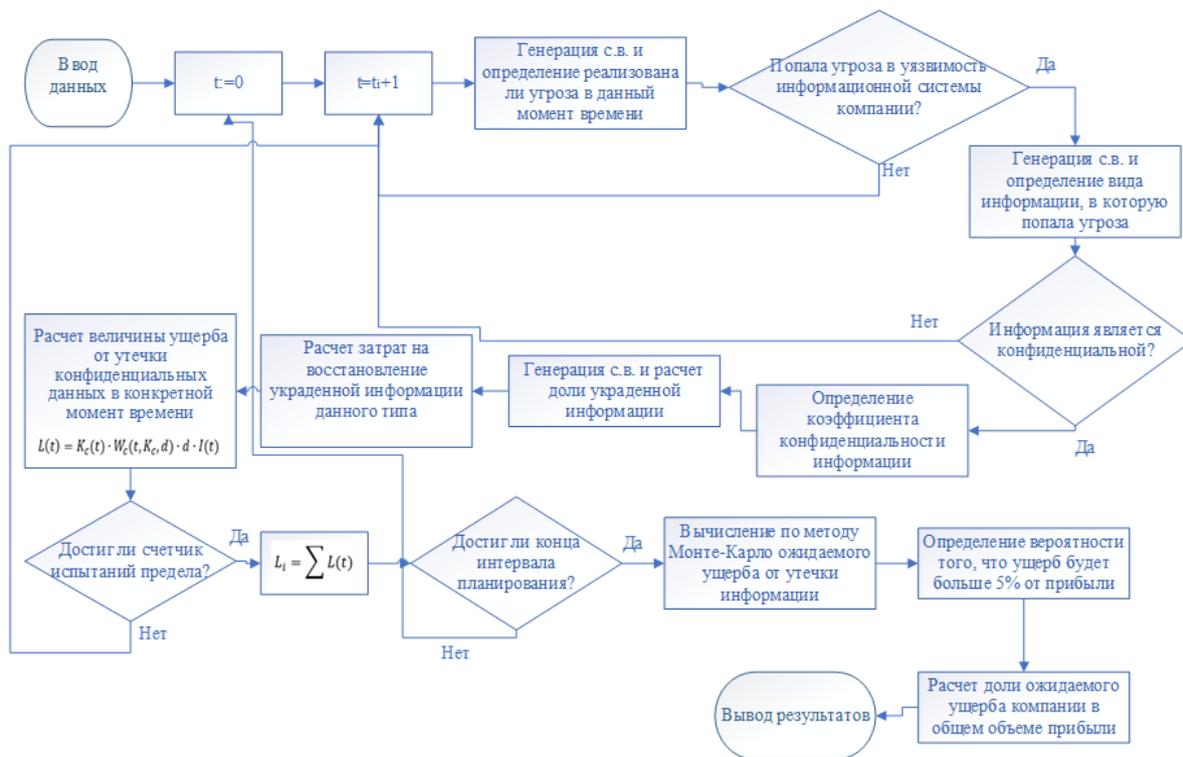


Рисунок. Блок – схема имитационной модели для оценки ущерба от утечки конфиденциальных данных

Рассмотрим более подробно этапы реализации разработанной имитационной модели:

1) ввод данных: вид реализуемой угрозы информационной безопасности (например, черви, кейлоггеры, руткиты, вредоносные боты, криминальные программные обеспечения, шпионские программы и т.д.); вид уязвимости информационной системы, которой может воспользоваться угроза (программные ошибки, электронная почта, незащищенные серверы, слабая аутентификация пользователя системы и т.д.); необходимое количество имитационных экспериментов [4];

2) генерация случайной величины и определение реализована ли угроза в данный момент времени или нет (применяется нормальный закон распределения);

3) установка попала ли угроза в уязвимость, если да, то переходим к шагу №4, если нет, то переходим к следующему промежутку времени;

4) генерация случайной величины и определение информации, в которую попала угроза (применяется дискретный закон);

5) определение, данная информация является ли конфиденциальной, если да, переходим к шагу №6, если нет, то к следующему промежутку времени;

6) расчет коэффициента конфиденциальности информации;

7) генерация случайной величины и расчет доли украденной информации (применяется равномерное распределение);

8) расчет величины затрат на восстановление информации как произведения коэффициента конфиденциальности данных, доли украденной информации и стоимости данных компании для данного вида конфиденциальной информации;

9) расчет величины ущерба компании от утечки конфиденциальной информации в заданный момент времени с помощью формулы (1);

10) определение, достиг ли конца интервала планирования, если да, то переходим в шаг №11, если нет, то к новому промежутку времени;

11) расчет суммарной величины ущерба от утечки конфиденциальной информации;

12) если счетчик испытаний достиг предела, то переходим к следующему шагу, если нет, то возвращаемся к первому эксперименту;

13) расчет по методу Монте-Карло ожидаемого ущерба от утечки конфиденциальных данных компании. Суть данного метода состоит в следующем: например, необходимо найти оценку некоторой случайной величины, в данном случае ожидаемый ущерб компании от утечки конфиденциальной информации [5]. Для этого моделируют n возможных значений величины ущерба и находят их среднее за рассматриваемый период;

14) расчет доли ожидаемого ущерба компании от утечки конфиденциальной информации компании, а также его доля в общем объеме прибыли;

15) исходя из полученных данных, делается вывод об уровне данного ожидаемого ущерба. В зависимости от доли ущерба в общем объеме прибыли выделяют 4 уровня: незначительный (0-5% от прибыли); существенный (от 5% до 50% от прибыли); высокий (от 50% до 75%) и критический (от 75 до 100%).

В дальнейшем именно от уровня ожидаемого ущерба будут зависеть меры, разрабатываемые для снижения или предотвращения потерь от утечки конфиденциальных данных компании.

Применение разработанной имитационной модели позволяет: выявить вид угрозы информационной безопасности, реализация которой приведет к наибольшим финансовым потерям компании, выявить вид канала связи, по которому вероятнее всего произойдет утечка данных; определить ожидаемый объем финансовых потерь компании от утечки конфиденциальных данных и оценить объем вложений, необходимый для обеспечения информационной безопасности в компании.

Таким образом, была разработана и подробно описана имитационная модель для оценки ожидаемого ущерба компании вследствие утечки конфиденциальной информации. Основным результирующим показателем является ущерб компании от утечки конфиденциальной информации, в качестве детерминированных параметров используются коэффициент конфиденциальности информации, стоимость данных компании для каждого вида конфиденциальной информации и параметры закона распределения реализации угрозы. Случайными переменными являются доля украденной информации каждого вида, индикатор реализации угрозы и индикатор попадания в уязвимость.

Алгоритм работы имитационной модели включает в себя 15 этапов, начиная с ввода данных пользователем и заканчивая расчетом величины ожидаемого ущерба от утечки конфиденциальной информации. На основе которого определяется уровень критичности потерь для компании.

Реализация описанной модели позволит эффективно анализировать риски информационной безопасности компании и принимать оперативные решения по их минимизации.

Литература

1. Аналитические отчеты по направлениям «Утечки информации», «Безопасность цифровой экономики» и «Кибербезопасность» в РФ и мире [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.infowatch.ru/analytics/analitika> (дата обращения: 11.04.2023).
2. Даев К. Опасности и риски утечки персональных данных // Общество и экономика. 2022. №6. С. 86-90.

3. Швыряев П.С. Утечки конфиденциальных данных: главный враг внутри // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. №91. С. 226-241.
4. Кузнецов Ф.А. Угроза утечки данных из-за недостаточного внимания к информационной безопасности // Российский журнал менеджмента. 2022. Т. 10. №1. С. 126-130.
5. Галиуллин Н.А. Имитационное моделирование в обеспечении информационной безопасности предприятия // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 22-24.

АППРОКСИМАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА

Яворук Т.О.¹ (студент)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Хартов А.А.^{1,2}

1 – Университет ИТМО

2 – Смоленский государственный университет

e-mail: tatianaiavoruk@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается известный стационарный гауссовский случайный процесс Орнштейна-Уленбека с нулевым средним и специальной ковариационной функцией экспоненциального вида. Изучается величина сложности аппроксимации случайных полей, являющихся многопараметрическими аналогами данного процесса. Исследуется среднеквадратическая постановка со сколь угодно малым фиксированным порогом ошибки и растущей параметрической размерностью поля.

Ключевые слова

Процесс Орнштейна-Уленбека, сложность аппроксимации в среднем, гауссовские случайные поля, многопараметрические проблемы, разложение Кархунена-Лоэва.

Введение. Рассматривается известный процесс Орнштейна-Уленбека $U(t)$ – стационарный марковский гауссовский процесс с нулевым средним и следующей ковариационной функцией:

$$K_U(t, s) = \frac{\rho^2}{2\beta} e^{-\frac{\beta}{2}|t-s|}, \quad t, s \in [0, 1].$$

Процесс Орнштейна-Уленбека является моделью скоростей частиц в процессе соударения с окружающими их частицами, также распространено его использование в финансовой математике. Изучается величина сложности аппроксимации случайных полей, являющихся многопараметрическими аналогами данного процесса. Под сложностью аппроксимации понимается наименьшее число значений линейных функционалов от случайного поля необходимых для его приближения с заданной точностью.

Исследуется среднеквадратическая постановка со сколь угодно малым фиксированным порогом ошибки ε и растущей параметрической размерности поля d .

Оценка сложности аппроксимации в среднем. Гауссовские случайные поля параметрической размерности d с непрерывной ковариационной функцией допускают представление в виде ряда, называемое разложением Кархунена-Лоэва. Этот ряд является суммой произведений собственных чисел, собственных функций ковариационного оператора поля, образующих ортонормированную систему, и независимых стандартных гауссовских случайных величин (см. [1]). Более точно, при d разложение имеет вид:

$$U(t) = \sum_{k \in \mathbb{N}} \lambda_k^{1/2} \xi_k \psi_k(t), \quad t \in [0, 1], \quad (1)$$

где ξ_k – независимые стандартные гауссовские случайные величины.

Собственные числа:

$$\lambda_k = \frac{2\beta}{w_k^2 + \beta^2}, \quad (2)$$

собственные функции:

$$\psi_k(t) = \sqrt{\frac{2w_k^2}{2\beta+w_k^2+\beta^2}} \cos(w_k t) + \sqrt{\frac{2\beta}{2\beta+w_k^2+\beta^2}} \sin(w_k t), \quad t \in [0,1],$$

где w_k корни уравнения $\cot(w) = \frac{w^2-\beta^2}{2\beta w}$; $\sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k = 1$.

При $d \geq 2$ случайное поле $U_d(t)$, $t \in [0,1]^d$ будет иметь аналогичное представление (1) с собственными числами $\lambda_{d,k}$ и собственными функциями $\psi_{d,k}$ со специальной структурой произведения чисел λ_k и ψ_k .

Сложность аппроксимации будет равна минимальному рангу частичной суммы $U_{d,n}$ разложения Кархунена-Лоэва (конечномерное приближение), для которого среднее квадрата нормы разности этой суммы и самого процесса со специальной нормировкой меньше наперед заданного числа:

$$n_d^{avg}(\varepsilon) = \min\{n \in \mathbb{N}: \sqrt{\mathbf{E}\|U_d - U_{d,n}\|_{2,d}^2} \leq \varepsilon^2 \sqrt{\mathbf{E}\|U_d\|_{2,d}^2}\}, \quad (3)$$

где \mathbf{E} обозначает математического ожидание.

Тогда сложность аппроксимации (3) можно представить как минимальный номер, начиная с которого остаточная нормированная сумма собственных чисел ковариационного оператора поля меньше порога ошибки (см. [2]):

$$n_d^{avg}(\varepsilon) = \min\{n \in \mathbb{N}_d: \sum_{k \in \mathbb{N}, k > n} \lambda_{d,k} \leq \varepsilon^2 \Lambda_d\}.$$

Ожидается, что для данного спектрального представления с помощью применения вероятностных методов можно получить логарифмические асимптотики сложности аппроксимации следующего вида:

$$\ln n_d^{avg}(\varepsilon) = a_d + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2) c \cdot b_d + o(b_d), \quad d \rightarrow \infty, \quad (4)$$

где $a_d := \sum_{j=1}^d E_{\beta_j}$, $E_{\beta} = -\sum_{k \in \mathbb{N}} \ln(\lambda_k) \lambda_k$.

Задача аппроксимации многопараметрических процессов Орнштейна-Уленбека существенно осложняется тем, что собственные числа λ_k заданы неявно и в некоторых случаях весьма непросто получить для них оценки. Для разрешения этих сложностей используется подход, описанный в [3].

Заметим, что главным членом роста в (4) является a_d , который выражается через энтропию собственных чисел E_{β} . Рассмотрим поведение E_{β} , представив собственные числа в виде рекуррентного соотношения: $\lambda_k = b_{k-1} - b_k$, $b_0 = 1$, получим:

$$E_{\beta} = -\sum_{k \in \mathbb{N}} \ln(\lambda_k) \lambda_k = -\ln \lambda_1 + R_{\beta} + r_{\beta}, \quad (5)$$

где

$$R_{\beta} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda_k - \lambda_{k+1}}{\lambda_{k+1}} b_k, \quad (6)$$

$$r_{\beta} = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda_k - \lambda_{k+1}}{\lambda_{k+1}} - \ln \left(1 + \frac{\lambda_k - \lambda_{k+1}}{\lambda_{k+1}} \right) \right) b_k. \quad (7)$$

Асимптотика логарифма первого собственного числа. Рассмотрим, как ведет себя первое слагаемое в формуле (5). Используя представление собственных чисел (2), получаем:

$$\ln \lambda_1 = \ln \frac{2\beta}{w_1^2 + \beta^2},$$

где w_1 - корень уравнения $\cot(w) = \frac{w^2 - \beta^2}{2\beta w}$ на интервале $(0, \pi)$.

Тогда первое слагаемое E_β имеет следующую асимптотику при $\beta \rightarrow \infty$:

$$-\ln \lambda_1 = \ln \frac{w_1^2 + \beta^2}{2\beta} \sim \ln \frac{\beta}{2}.$$

Стремление к нулю r_β . Покажем, что $\lim_{\beta \rightarrow \infty} r_\beta = 0$.

Найдем верхнюю оценку для b_k . Используя $w_k \in (\pi(k-1), \pi k)$ и известную оценку для хвостовой суммы ряда, имеем:

$$b_k = \sum_{m=k+1}^{\infty} \lambda_m = \sum_{m=k+1}^{\infty} \frac{2\beta}{w_m^2 + \beta^2} \leq \sum_{m=k+1}^{\infty} \frac{2\beta}{(\pi(m-1))^2 + \beta^2} \leq \sum_{m=k+1}^{\infty} \frac{2\beta}{(\pi(m-1))^2} \leq \frac{4\beta}{\pi^2 k}. \quad (8)$$

Оценим (7), используя известное неравенство:

$$u - \frac{u^2}{2} \leq \ln(1 + u) \leq u, \quad u \geq 0. \quad (9)$$

В силу (9), используя (2) и (8), получаем:

$$\begin{aligned} 0 \leq |r_\beta| &\leq \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda_k - \lambda_{k+1}}{\lambda_{k+1}} \right)^2 b_k \leq \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{4\pi^2 k}{w_k^2 + \beta^2} \right)^2 \frac{4\beta}{\pi^2 k} = 32\pi^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\beta}{w_k^2 + \beta^2} \cdot \frac{k}{\pi^2(k-1)^2 + \beta^2} \leq \\ &\leq 32\pi^2 \max_{k \in \mathbb{N}} \left(\frac{k}{\pi^2(k-1)^2 + \beta^2} \right). \end{aligned}$$

Максимум функции $f(x) = \frac{x}{\pi^2(x-1)^2 + \beta^2}$ достигается при $x = \sqrt{1 + \frac{\beta^2}{\pi^2}}$. Заметим, что

$$\frac{\beta}{\pi} \leq \sqrt{1 + \frac{\beta^2}{\pi^2}} \leq 1 + \frac{\beta}{\pi},$$

тогда

$$\max_{k \in \mathbb{N}} \left(\frac{k}{\pi^2(k-1)^2 + \beta^2} \right) \leq \frac{\frac{\beta}{\pi} + 2}{\pi^2 \left(\frac{\beta}{\pi} - 1 \right)^2 + \beta^2} \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} 0.$$

Значит r_β стремится к нулю при $\beta \rightarrow \infty$.

Оценки R_β . Покажем ограниченность сверху (6). Используя (2), получаем другие представления ряда R_β :

$$R_\beta = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda_k - \lambda_{k+1}}{\lambda_{k+1}} b_k = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{w_{k+1}^2 - w_k^2}{w_k^2 + \beta^2} b_k = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\beta}{w_k^2 + \beta^2} (w_{k+1}^2 - w_k^2) T_k,$$

где $T_k = \sum_{m=k+1}^{\infty} \frac{1}{w_m^2 + \beta^2}$.

Представим $w_k = \pi(k-1) + v_k$, $v_k \in (0, \pi)$ и рассмотрим $w_{k+1}^2 - w_k^2$:

$$w_{k+1}^2 - w_k^2 = (\pi k + v_{k+1})^2 - (\pi(k-1) + v_k)^2 = (\pi + v_{k+1} - v_k) (\pi(2k-1) + v_{k+1} + v_k).$$

Отсюда, учитывая $v_m \in (0, \pi)$, можно получить

$$w_{k+1}^2 - w_k^2 \leq \pi^2 4k. \quad (10)$$

Оценим сверху R_β , учитывая, что сумма собственных чисел равна единице, а также (8), (10):

$$R_\beta = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{w_{k+1}^2 - w_k^2}{w_k^2 + \beta^2} b_k \leq \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4\pi^2 k}{w_k^2 + \beta^2} \frac{4\beta}{\pi^2 k} \leq 8 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\beta}{w_k^2 + \beta^2} = 8.$$

Покажем, что $v_k - v_{k+1} \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} 0$. Имеем уравнение:

$$\cot w_k = \frac{w_k^2 - \beta^2}{2\beta w_k} = \frac{w_k}{2\beta} - \frac{\beta}{2w_k}.$$

Заметим, что функция в правой части возрастает, значит $v_{k+1} < v_k$ при любом фиксированном β . Далее рассмотрим разность котангенсов:

$$\begin{aligned} \cot v_{k+1} - \cot v_k &= \cot w_{k+1} - \cot w_k = \frac{w_{k+1}^2 - \beta^2}{2\beta w_{k+1}} - \frac{w_k^2 - \beta^2}{2\beta w_k} \leq \\ &\leq \frac{1}{2\beta} \left(\frac{\pi^2(k+1)^2 - \beta^2}{\pi k} - \frac{\pi^2(k-1)^2 - \beta^2}{\pi k} \right) = \frac{2\pi}{\beta} \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} 0. \end{aligned}$$

В силу непрерывности $v_k - v_{k+1} \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} 0$.

Для получения более точной оценки суммы ряда R_β можно точнее оценить значения T_k . Применяя специальные интегральные оценки получим:

$$\arctan\left(\frac{\beta}{\pi(k+1)}\right) \leq T_k \leq \arctan\left(\frac{\beta}{\pi(k-1)}\right).$$

Можно предположить, что полученный ряд сходится и его сумма примерно равна 1,3458.

Выводы. Данная задача представляет как теоретический, так и практический интерес. Последний объясняется возможным применением для компьютерного моделирования, поскольку непрерывный процесс аппроксимируется вычислимым конечномерным приближением с контролем его погрешности. Далее планируется оценить следующие слагаемые асимптотического ряда (4).

Литература

1. Wang L. Karhunen-Loeve Expansions and their Applications. 2008.
2. Хартов А.А. Сложность аппроксимации гауссовских случайных полей большой параметрической размерности. 2014.
3. Хартов А.А. Аппроксимация многопараметрических процессов Андерсона–Дарлингга, Зап. научн. сем. ПОМИ. 2022. Т. 515. С. 214–232.

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ярошенко М.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОЦМ Авербух А.Б.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: maiaroshenko@itmo.ru

Аннотация

В рамках работы исследуется возможность применения системы класса PDM-PLM (Product Data Management - Product Lifecycle Management) для моделирования организационной структуры предприятия. Проводится выявление основного функционала для системы моделирования организационной структуры и сравнение его с возможностями современных PDM-PLM систем.

Ключевые слова

Организационная структура предприятия, система управления жизненным циклом изделия, система управления данными, цифровое моделирование, организационная деятельность.

Современный рынок бизнеса характеризуется постоянными изменениями и необходимостью адаптации компаний к новым условиям. Компании вынуждены изменять организационную структуру предприятия под действием как внешних, так и внутренних факторов. К внешним факторам можно отнести действия конкурентов или внешняя экономическая обстановка, а к внутренними факторам можно отнести объединение двух или нескольких предприятий или рост масштаба деятельности организации. Для эффективного управления предприятием важно следить за изменениями в его структуре, иметь представление об организационной структуре в некоторый момент времени, а также оценивать работу отделов и сотрудников на каждом этапе жизненного цикла продукта. Можно предположить, что PDM-PLM системы могут стать основой для моделирования организационной структуры предприятия как в статике, так и в динамике. Попробуем проверить выдвинутую гипотезу.

Организационная структура

Организационная структура предприятия определяет иерархию управления, отношения между отделами и сотрудниками, функциональную ответственность и задачи каждой единицы организации. В статике знание организационной структуры позволяет четко определить роли, порядок коммуникации и ответственность каждого участника бизнес-процесса. Ведь грамотно организованная структура непременно влияет на эффективность работы организации, уменьшает конфликтность и споры между всеми участниками и помогает принимать эффективные решения по ведению бизнеса. Однако, знать организационную структуру предприятия необходимо не только на некоторый момент времени, но и в динамике. В динамике можно объективно оценить эффективность управления организацией и иметь представление об изменениях функциональной нагрузки некоторого отдела или департамента, а также иметь достаточно информации о том, как изменения оргструктуры предприятия влияет на те или иные показатели в случае смены руководства предприятия или сокращение штатных сотрудников. Обобщая сказанное можно сделать вывод о том, что знание организационной структуры является ключевым фактором в развитии и совершенствовании организации, потому что позволяет отразить изменения, происходящие на предприятии, и увеличить шансы на увеличении прибыльности и эффективное ведение организации.

PDM-PLM системы

PLM – система управления жизненным циклом продукта, которая помогает предприятиям оптимизировать процессы проектирования, производства и разработки. PLM-системы позволяют организовать совместную работу всех отделов компании, улучшить качество продукта, управлять производственными затратами и повысить производительность. PLM-системы включают в себя PDM-инструменты, а также позволяют управлять продажами, маркетингом, обслуживанием и т.д. Основные функциональные возможности PLM систем изображены на рисунке 1 [1-4].

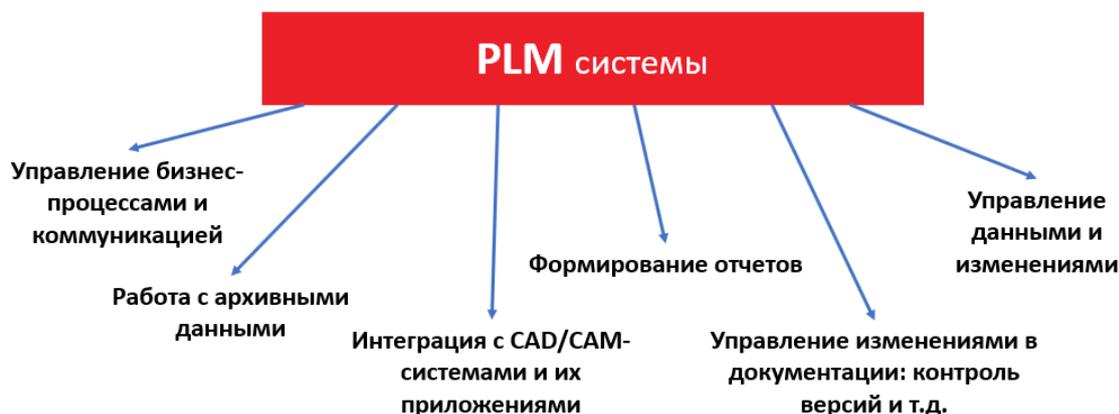


Рис. 1. Функциональные возможности PLM систем

PDM – система управления данными о продукте, которая позволяет организовать хранение, контроль доступа, совместную работу и обмен данными между различными отделами компании.

Выделим функциональные требования к системе, которые могут быть выполнены за счет функционала PDM-PLM систем:

1. Редактирование, удаление, добавление. Возможность редактировать, добавлять и удалять модели организационной структуры предприятия и/или документов.
2. Версионность и работа с журналом изменений. Системы класса PDM-PLM позволяют сохранять историю версий, благодаря чему можно будет работать как со статистическими, так и с динамическими данными об организации.
3. Управление бизнес-процессами и коммуникациями. Например, управление бизнес-процессами валидации изменений в случае внесения коррективов в организационную структуру или документ.
4. Создание извещений об изменении документов. Рассматриваемые системы позволяют настраивать оповещения, что в случае внесения некоторого изменения в документ и/или модель позволит оповестить всех лиц, затрагивающих данное изменение.
5. Обеспечение ввода данных как с поддержкой соответствия, так и независимым способом, т.е. в случае, когда номер версии документа не связан с номером версии модели организационной структуры предприятия.
6. Формирование различных выборок и отчетов и др.

Информация об организации

Информация об организации можно представить в виде древовидных и сетевых структур, благодаря которым можно описать взаимодействие между всеми объектами дерева некоторой организационной структуры. Рассмотрим приведенную структуру на рисунке 2.

- Организационная структура версия 1
 - Организация (предприятие)
 - Генеральный директор
 - Подразделение 1 (Отдел 1)
 - Начальник подразделения 1
 - Подчиненный 1
 - Подчиненный 2
 - Подразделение 2 (Отдел 2)
 - Начальник подразделения 2
 - Подчиненный 3
 - Подчиненный 4
 - Подразделение 3 (Отдел 3)
 - Начальник подразделения 3
 - Подчиненный 5
 - Подчиненный 6
- + Изменения
- + Справочник документов
- Изменения
 - + Журнал изменений
 - + Полученные изменения
 - + Изменение в разработке
 - + Изменения на согласовании
 - + Изменения утвержденные
 - + Изменения проведенные
 - Основания для изменения
 - Приказ
 - Постановление
 - Извещение
 - Письмо
 - Справочник документов
 - ГОСТ
 - Федеральный закон
 - Регламент
 - Инструкция

Рис. 2. Структура проектируемой системы

Структура системы включает в себя несколько главных объектов дерева: организационная структура с указанием актуальной версии на рассматриваемый момент времени, объект дерева “Изменения” и “Справочник документов”. Организационная структура несет в себе информации об организации, генеральном директоре, об подразделениях и подчиненных. Причем количество подразделений зависит от количества физических подразделений в рассматриваемой организации. В случае внесения изменения в структуру организации вносятся изменения в объект дерева “Изменения”, добавляется основание для изменения, а также вносится вся необходимая информация в “Справочник документов”. В качестве основания для изменения могут выступать такие документы, как письма, извещение, заявка, приказ и др.

Весь процесс внесения изменения фиксируется в объекте дерева “Изменения”, причем можно узнать информацию на разных стадиях внесения изменений, например, находящихся на этапе разработки, согласования, утверждения и проведения, а также можно всегда вернуться к прошлым изменениям за счет наличия журнала изменений, включающего в себя все изменения когда-либо вносимых в систему.

Внесение изменение подразумевает под собой загрузка новой версии модели организационной структуры и/или документа, причем загруженная версия становится актуальной. Внести изменение можно программно, а также через пользовательский интерфейс.

Применимость системы

Системы моделирования организационной деятельности при помощи функционала PDM-PLM систем имеют различные направления для применения. Они могут быть использованы для моделирования сценариев работы организации, принятия наиболее рационального решений, повышения эффективности работы бизнеса и оптимизации бизнес-процессов. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что сформулированная гипотеза является состоятельной и для последующей проверки гипотезы необходимо уточнить все функциональные требования к системе, проверить систему на тестовых данных и сделать выводы о работоспособности получившейся системы.

Литература

1. Концепция T-FLEX PLM от компании «Топ Системы»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tflex.ru/plm/> (дата обращения: 15.04.2022).
2. ЛОЦМАН: PLM: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ascon.ru/products/889/review/> (дата обращения: 15.04.2022).
3. Siemens Teamcenter PLM Guide: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://plmcoach.com/siemens-teamcenter-plm-guide/#siemens-teamcenter-rich-client-user-interface> (дата обращения: 16.04.2022).
4. ENOVIA SMARTTEAM: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/enovia/produkty/smarteam/> (дата обращения: 16.04.2022).

**ХИМИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
НАНОМАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ**

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

Богачёва Е.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.х.н. Возняковский А.А.²

1 – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

2 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»
e-mail: elizabethclifford.410@yandex.ru

Работа выполнена за счет средств Государственной тематической программы ФТИ им. А.Ф. Иоффе (проект 0040-2019-0013 «Физико-химические основы технологии новых функциональных материалов на основе углеродных наноструктур»).

Аннотация

В данной работе рассмотрено изучение сорбционных свойств малослойного графена, проведена оценка влияния различных условий на равновесную адсорбционную емкость адсорбента, а также сделаны выводы о процессе сорбции малослойного графена по отношению к красителю родамину (ж).

Ключевые слова

Малослойный графен (МГ), самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), сорбция, равновесная адсорбционная емкость, родамин (ж).

Современная целлюлозно-бумажная, текстильная и косметическая промышленность активно использует опасные для человека вещества, в том числе различные красители. Часто красители являются сильно токсичными веществами, поэтому крайне важно не допустить их попадания в воду даже в ничтожных количествах. Одним из наиболее технологически простых и эффективных методов по очистке промышленных сточных вод является использования различных сорбентов, таких как цеолиты, активированный уголь и т.д. Однако, с развитием промышленности требуются все более эффективные сорбенты, которые по комплексу своих сорбционных характеристик окажутся более эффективными при очистке сточных вод.

Одними из наиболее перспективных материалов, которые могут заменить уже используемое сорбенты являются графеновые наноструктуры. Причиной этому служат их характеристики: так расчетная удельная поверхность для графеновых наноструктур составляет более 2600 м²/г, что вместе с особенностью их химической структуры делает их одними из наиболее интересными объектами для испытаний.

Однако, не смотря на весь потенциал графеновых наноструктур, а также тысячи публикаций, в которых была показана высокая эффективность графеновых наноструктур по очистке воды от красителей, их применение в реальной промышленности до сих пор не произошло. Основной причиной является их высокая себестоимость, вызванная несовершенством методик синтеза как по подходу “сверху-вниз” (например, из графита с помощью ультразвуковой обработки), так и по подходу “снизу-вверх” (например, методом химического осаждения из газовой фазы), что не позволяет синтезировать большие объёмы материала с приемлемой себестоимостью.

Целью данной работы являлось исследование сорбционных свойств графеновых наноструктур, а именно малослойного графена (МГ), синтезированного в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) из целлюлозы в отношении модельного красителя Родамина (ж).

В качестве исследуемого образца выступал МГ, синтезированный в условиях СВС процесса из целлюлозы [1]. В качестве основной методики для оценки сорбционных свойств МГ использовалась спектрофотометрия (прибор ECOVIEW УФ-1800).

Для исследования сорбционных свойств был приготовлен раствор родамина (ж) с концентрацией 100 мг/л, из которого методом разбавления были получены все остальные растворы. Сорбция производилась в плоскодонных колбах на 250 и 500 мл, для этого в колбу добавлялся раствор родамина (ж) с известной концентрацией и порошок МГ, после чего смесь выдерживалась в исследуемых условиях. Далее происходила фильтрация смеси с помощью центрифугирования при 4000 об/мин в течение 10 минут. После сорбции и фильтрации концентрация раствора родамина (ж) измерялась с помощью спектрофотометра ECOVIEW УФ-1800.

Влияние массы МГ на удельную сорбционную емкость исследовалось в растворе родамина (ж) с концентрацией 5 мг/л объемом 100 мл, навески МГ составляли 12, 25, 50, 100, 200 мг. Смеси раствора родамина (ж) и МГ выдерживались в течение 10 минут на автовстряхивателе при 140 об/мин (рис. 1).

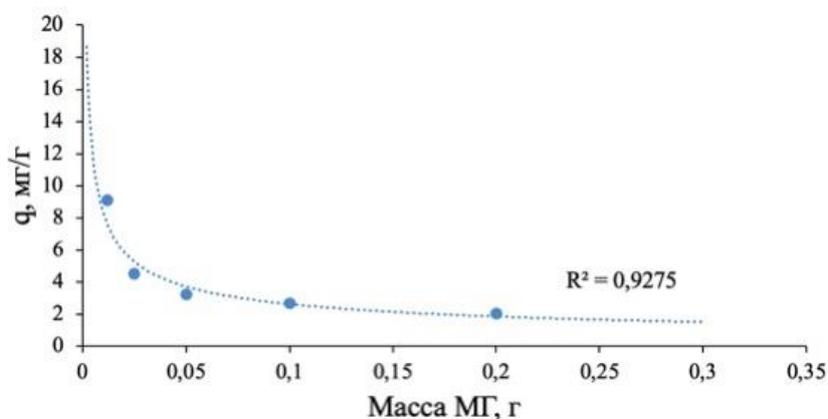


Рис. 1. Зависимость равновесной адсорбционной емкости от массы малослойного графена

Изучение влияния времени адсорбции на удельную сорбционную емкость происходило с использованием раствора родамина (ж) с концентрацией 5 и 10 мг/л с навеской МГ равной 50 мг. Смеси раствора родамина (ж) и МГ выдерживались в интервале от 1 до 1200 минут автовстряхивателе при 140 об/мин (рис. 2).

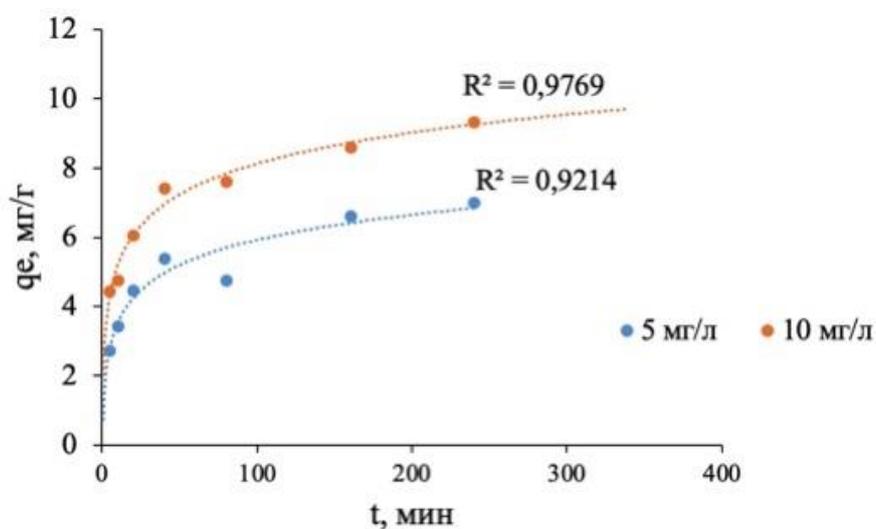


Рис. 2. Зависимость равновесной адсорбционной емкости от времени сорбции

Для изучения термодинамики адсорбции использовалась навеска МГ равная 50 мг в 100 мл раствора родамина (ж) с исходными концентрациями от 1 до 20 мг/л, при температурах 293, 313 и 333 К. Контроль температур происходил с помощью водных термостатов (рис. 3). Данные о сорбции анализировались с помощью кинетического моделирования по изотермам Ленгмюра (рис. 4) и Фрейндлиха (рис. 5).

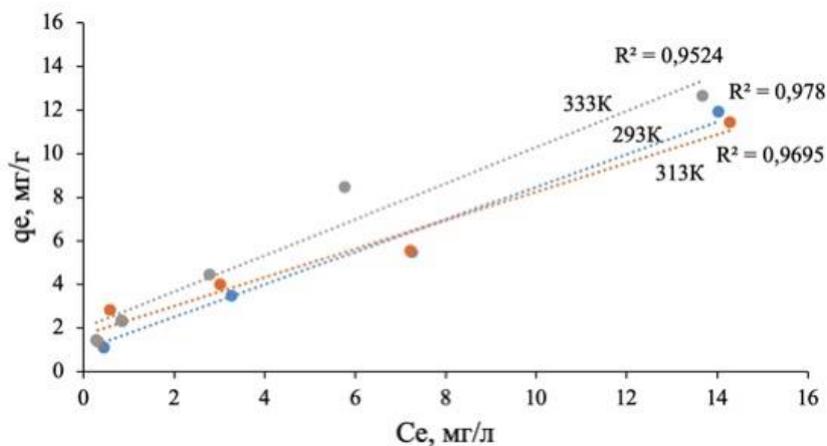


Рис. 3. Зависимость равновесной адсорбционной емкости от равновесной концентрации красителя при 293К, 313К и 333К

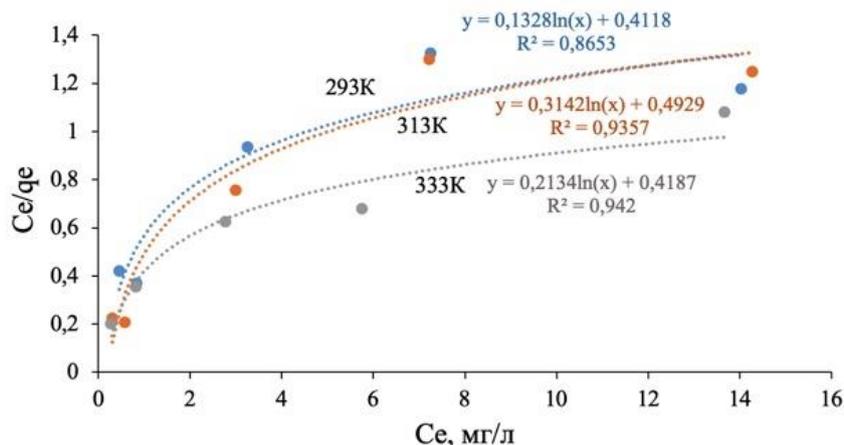


Рис. 4. Изотерма сорбции по Ленгмюру

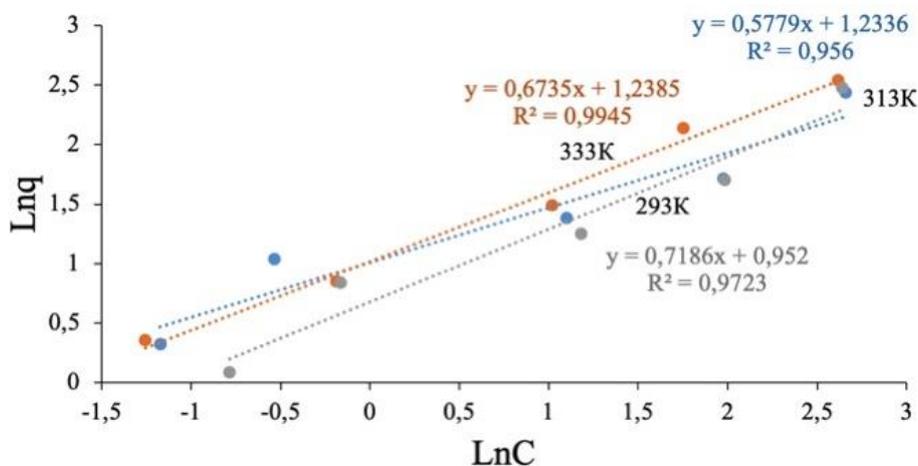


Рис. 5. Изотерма сорбции по Фрейндлиху

Результаты исследований показали высокую эффективность МГ в качестве сорбента для очистки воды от родамина (ж). Было установлено, что использование МГ позволяет сорбировать более 95% красителя при концентрации раствора в 10 мг/л, получая безопасную для человека воду. В ходе сравнения полученных результатов с моделями, был сделан вывод, что при использовании МГ наблюдается смешанный вариант диффузии.

Литература

1. Voznyakovskii A., Vozniakovskii A., Kidalov S. New Way of Synthesis of Few-Layer Graphene Nanosheets by the Self Propagating High-Temperature Synthesis Method from Biopolymers // *Nanomaterials*. 2022. Т. 12. №. 4. С. 657.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСТНИЧНЫХ ПОЛИСИЛОКСАНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ СИСТЕМ

Лобановская Е.К.¹ (студент)
Научный руководитель – д.х.н., доцент Зуев В.В.²
1 – Университет ИТМО

Аннотация

В работе получены системы на основе полиуретана, модифицированного лестничным полисилоксаном, с целью дальнейшего применения в лакокрасочной промышленности в качестве новых эластичных универсальных материалов, характеризующихся относительной дешевизной, низкими адгезионными свойствами и, одновременно с этим, высокими показателями прочности, что способствует расширению границ технологического использования продуктов.

Ключевые слова

полиуретан, лестничный полисилоксан, эластичные материалы, силоксановые добавки, модификации лакокрасочных материалов.

Актуальность

На сегодняшний день в лакокрасочной промышленности зачастую сталкиваются с противоречивыми требованиями к продуктам. Проблема создания универсальных лакокрасочных материалов (ЛКМ) приводит к тому, что возникает необходимость совмещения комплекса свойств ЛКМ, предназначенных для разных сфер потребления. Ярким примером получения двойственных свойств продукта является создание материала с противовандальным и противообрастающим назначениями, где, с одной стороны, от ЛКМ требуется низкая адгезия к поверхностям, а с другой стороны – высокая прочность при эксплуатации.

Для изменений свойств существующих материалов, как правило, используют различные добавки. Например, при получении широко известной резины в каучук добавляют наполнитель (сажу). В получаемой системе возрастает количество жестких доменов, образуются дополнительные «мостики», которые обеспечивают прочность и эластичность материала [1].

В качестве наполнителя для систем с полиуретанами используются различные силсесквиоксаны [2]. Однако, большинство из них получают сложным многостадийным синтезом. Кроме того, необходимо обеспечить дополнительную функционализацию для улучшения совмещения с другими компонентами системы. В связи с этим, для наполнения полиуретановых составов предлагается использовать лестничные полисилоксаны, поскольку они являются доступными, имеют одну стадию синтеза и при этом не требуют дополнительной модификации, поскольку в своей структуре уже содержат гидроксильные группы [3].

Целью данной работы является получение эластичных полиуретановых систем с лестничным полисилоксаном с последующим исследованием физико-химических свойств.

Основная часть

В качестве полиуретанового состава был использован жидкий диизоцианат – метилendifенилдиизоцианат (МДИ) и короткий полиэфир с молекулярной массой, равной 1000 г/моль (полиэфир Voranol 1010L). В качестве лестничного полимера был взят полифенилметилсилоксан (ПФМС). В результате были приготовлены системы:

1. МДИ и полиэфир 1010L в соотношении по функциональным группам 1,07:1.
2. МДИ и полиэфир 1010L в соотношении по функциональным группам 1,17:1 с

добавлением ПФМС в количестве 10 % по массе.

3. МДИ и полиэфир 1010L в соотношении по функциональным группам 1,27:1 с добавлением ПФМС в количестве 20 % по массе.

В первом случае материал получился жидким, пленка оказалась липкой и непрочной (рисунок 1). В случае добавления 10 % и 20 % ПФМС в результате удалось получить эластичный полиуретановый материал (рис. 1).

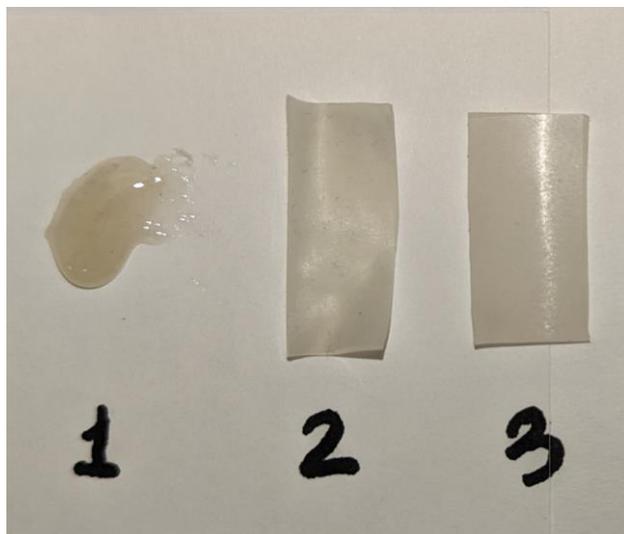


Рис. 1. Полиуретановые составы: 1 – 0 % содержания ПФМС; 2 – 10 % содержания ПФМС; 3 – 20 % содержания ПФМС

С помощью электронной микроскопии был проведен анализ поверхности получаемых пленок. В случае полного химического взаимодействия ПФМС с полимерной сеткой на микрофотографиях была бы видна однородная поверхность без включений вследствие образования жестких доменов в матрице полимера. Однако, на получаемых снимках наблюдается выделение новой фазы, что свидетельствует о преобладании подвижной составляющей в материале (рис. 2).

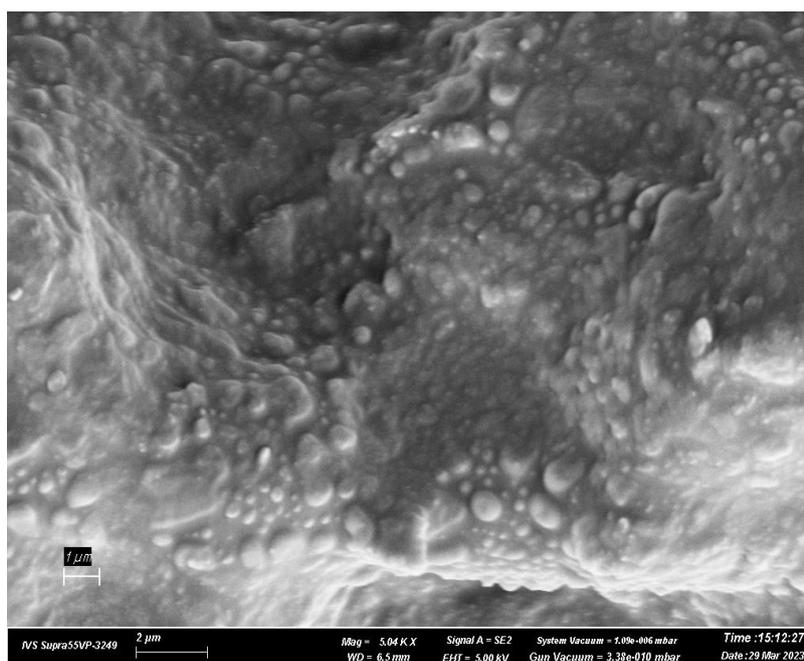


Рис. 2. Микрофотография пленки полиуретана, модифицированной ПФМС

В спектре твердотельного ЯМР с добавлением ПФМС также наблюдалось увеличение количества подвижной фазы: широкий пик чистого полиуретана соответствует о преобладании неподвижной фазы в полимере (рис. 3, п.1), в то время, как у системы с ПФМС отчетливо появляется второй острый пик, соответствующий образованию подвижной фазы в матрице полимера (рис. 3, п.2 и 3).

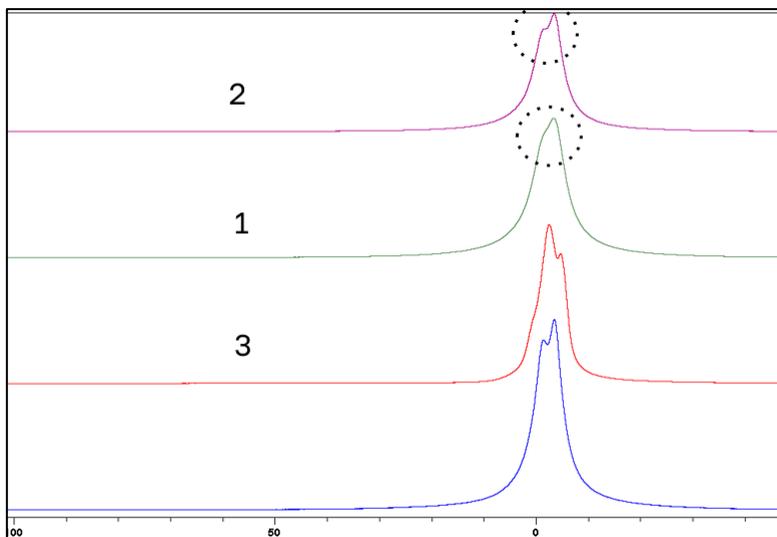


Рис. 3. Твердотельные ЯМР-спектры: 1 – чистый полиуретан; 2 – 10 % содержания ПФМС; 3 – 20 % содержания ПФМС

Для доказательства химического связывания был проведен термогравиметрический анализ пленок (ТГА), содержащих ПФМС (рис. 4).

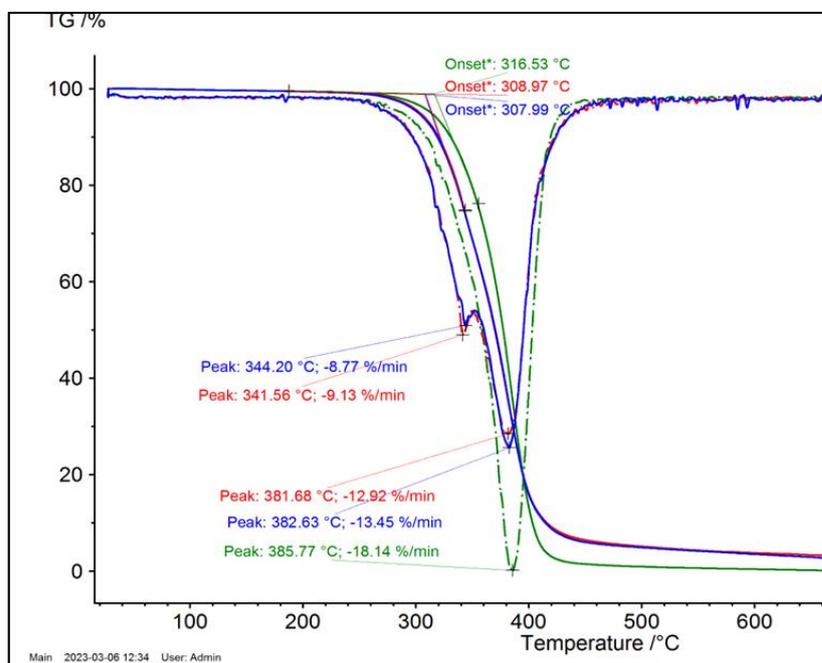


Рис. 4. ТГА пленки с 20 % ПФМС

В результате соотнесения пиков было исследовано, что пик при 340 °C соответствует разложению связи Si-O-(C=O)-, что свидетельствует о частичном взаимодействии ПФМС с изоцианатом.

Выводы

Таким образом, были получены эластичные полиуретановые пленки с лестничным полисилоксаном в различном соотношении, изучено влияние силиконового наполнителя на физико-химические свойства материалов, а именно – доказано неполное химическое взаимодействие ПФМС с полимерной матрицей. Для дальнейших исследований необходимо провести механические испытания пленок, оценить смачивание и температуру стеклования для наиболее полной характеристики полученных полимеров.

Литература

1. Fabiula D. B. de Sousa. From Devulcanization to Revulcanization: Challenges in Getting Recycled Tire Rubber for Technical Applications // ACS Sustainable Chem. Eng. 2019. С. 8755–8765.
2. Guido Kickelbick. Silsesquioxanes // Functional Molecular Silicon Compounds. 2013. V. 155 с.
3. Ostanin S.A., Kalinin A.V., Bratsyhin Y.Y., Saprykina N.N., Zuev V.V. Linear/Ladder-Like Polysiloxane Block Copolymers with Methyl-, Trifluoropropyl- and Phenyl-Siloxane Units for Surface Modification. // Polymers. 2021. С. 2063.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ И МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ DLP МЕТОДА 3D-ПЕЧАТИ

Титова С.И.¹ (студент), **Возняковский А.А.**² (научный сотрудник),

Возняковский А.П.³ (научный сотрудник)

Научный руководитель – к.х.н., доцент Захарова Н.В.¹

1 – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»

2 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»)»

3 – Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С.В. Лебедева»)»

e-mail: sofia.titova@internet.ru

Аннотация

Методом цифровой обработки светом (DLP) 3D-печати были изготовлены полимерные композиционные материалы на основе фотополимерных смол, модифицированных малослойным графеном. Было установлено, что малослойный графен, полученный в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, является эффективным наполнителем из-за отсутствия дефектов Стоуна-Уэйлса, повышает прочностные и теплофизические характеристики изделий из фотополимерных смол в несколько раз.

Ключевые слова

Малослойный графен, фотополимерная смола, полимеры, полимерные композиционные материалы, 3D-печать.

В настоящее время существует множество методов 3D-печати, одним из которых является метод цифровой обработки светом (DLP). Этот метод основан на послойном отверждении фотополимерной смолы (ФС) под воздействием света. По сравнению с другими методами 3D-печати, DLP метод позволяет получать изделия с высокой точностью, малой шероховатостью и меньшей усадкой за относительно короткое время. За последние 10 лет DLP 3D-принтеры стали намного дешевле, что сделало их доступными практически для всех. Однако, по сравнению с изделиями, получаемыми методом послойного наложения (FDM) 3D-печати, изделия из ФС характеризуются низкими значениями прочностных характеристик, что не позволяет использовать их во множестве отраслей. Одним из наиболее перспективных способов улучшения их свойств является использование композиционных материалов [1]. Сочетание разнородных веществ (матрицы и наполнителя) приводит к созданию нового материала (композита), свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьированием их соотношения можно получать широкий спектр материалов с требуемым набором прочностных и теплофизических свойств. Для улучшения свойств изделий исследователи активно добавляют в полимерные матрицы графеновые наноструктуры, что обусловлено их рекордными характеристиками [2]. Однако, использование графеновых наноструктур не всегда приводит к ожидаемому повышению свойств конечных композитов из-за наличия различных дефектов в графеновых наноструктурах. Целью данной работы являлось изучение влияния модифицирующих добавок малослойного графена (МГ), полученного в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), на прочностные и теплофизические характеристики изделий, изготовленных DLP методом 3D-печати. Актуальность выбранной темы заключается в возможности расширения спектра

применения изделий из полимерных композиционных материалов на основе фотополимерных матриц путем повышения их прочностных и теплофизических свойств.

В качестве матрицы для создания композитов использовалась фотополимерная смола марки Anycubic (405 нм, прозрачная, Китай), которая по данным производителя состоит из полиуретан акрилата (30-60%), акрилата (10-40%) и фотоинициатора (2-5%). В качестве наполнителя был взят МГ, полученный в условиях СВС из циклического биополимера крахмала (ч.д.а.) и окислителя нитрата аммония (ч.д.а.) в соотношении 1:1 [3]. Важным преимуществом МГ, синтезированного в условиях СВС, является отсутствие дефектов Стоуна-Уэйлса, практически неизбежных при синтезе другими методами, поэтому использование этого наполнителя позволяет значительно улучшать комплекс прочностных и теплофизических свойств композитов [4]. Модифицирование фотополимерных смол проводилось путем последовательного добавления равномерных порций МГ (0,1 от всего образца) в чистую ФС, нагретую до 50 °С, при постоянном перемешивании верхнеприводной мешалки (500 об/мин). Концентрация добавок составляла от 0,25 до 4 масс. %, что соответствовало от 0,475 до 7,6 об. %. Полученную суспензию выдерживали в ультразвуковом поле в течение 1 ч (ультразвуковая ванна, 22 кГц) при температуре 50 °С до получения стабильной суспензии, после чего модифицированную фотополимерную смолу охлаждали, помещали в DLP-принтер Anycubic Photon S (Китай) и изготавливали образцы необходимых размеров для дальнейших измерений. Параметры 3D-печати были следующими: длина волны отверждения 405 нм, толщина слоя засветки 50 мкм, время засветки 6 с. Полученные образцы подвергали постобработке с оптимальными условиями ее проведения: сначала проводилась УФ-обработка в течение 1 ч, затем термический отжиг в течение 1 ч при температуре 70 °С. В результате постобработки твердость образцов по Бринеллю повысилась в 2 раза. Измерения твердости по Бринеллю осуществляли на твердомере Метротест ИТБ-3000-АМ (РФ) с использованием стального сферического индентора диаметром 5 мм, нагрузкой 62,5 кгс и выдержкой 120 с, которая не вызывает разрушения образца. Измерения прочности на изгиб проводили на гидравлическом прессе ПМ-МГ4 (РФ) по ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). Измерения теплопроводности проводились по методу лазерной вспышки при 25 °С с использованием установки DFX-200 (USA). Результаты измерений представлены на рисунках 1 и 2.

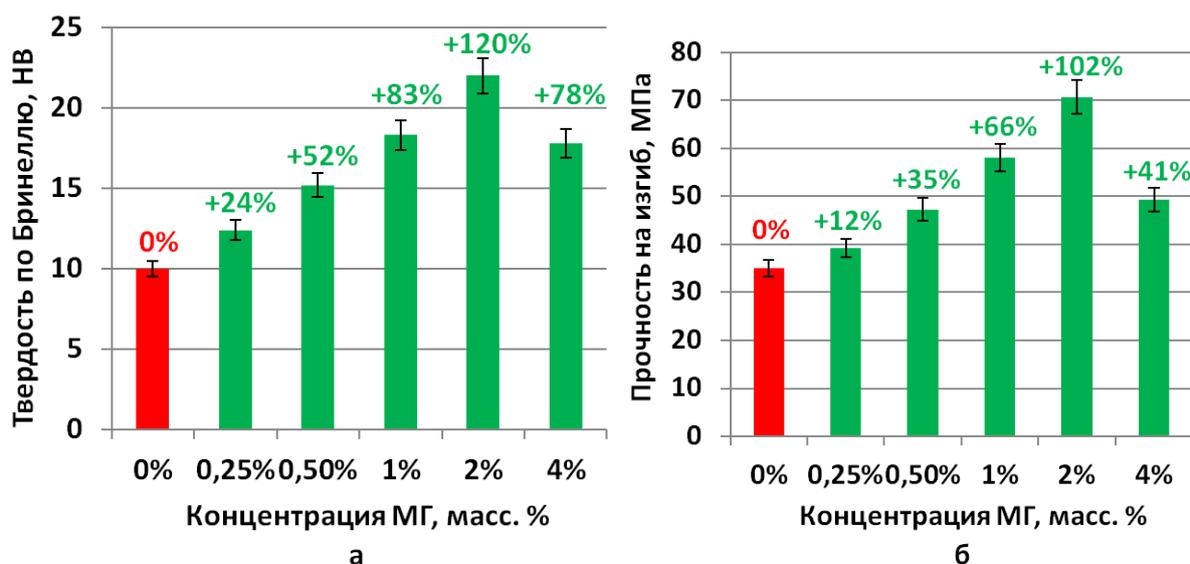


Рис. 1. Гистограммы твердости по Бринеллю (а) и прочности на изгиб (б) в зависимости от концентрации МГ

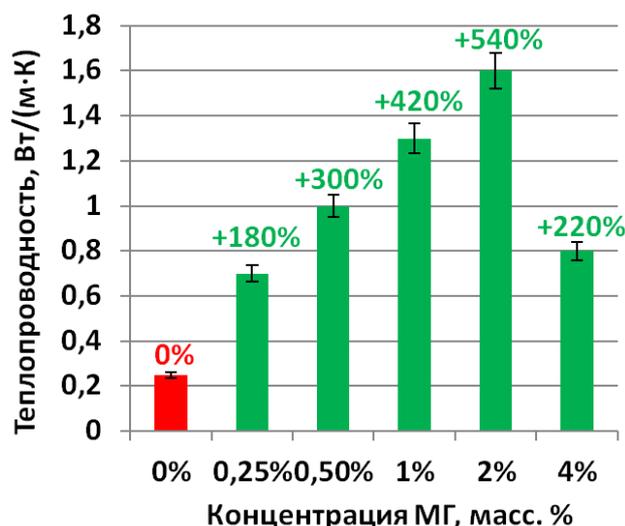


Рис. 2. Гистограмма теплопроводности в зависимости от концентрации МГ при 25 °С

В результате модифицирования фотополимерной смолы малослойным графеном и создания полимерных композитов DLP методом удалось повысить твердость по Бринеллю на 120%, прочность на изгиб на 102% и теплопроводность при 25 °С на 540% при концентрации МГ 2 масс. %. При дальнейшем увеличении концентрации МГ до 4 масс. % происходит ухудшение прочностных и теплофизических характеристик. Частицы МГ, синтезированные в условиях СВС процесса, показали себя как эффективные наполнители, способные значительно повысить комплекс прочностных и теплофизических свойств полимерных композиционных изделий, изготовленных DLP методом 3D-печати.

В ходе сравнительного испытания наполнителей МГ и восстановленного оксида графена (ВОГ) для фотополимерной смолы было установлено, что ВОГ менее эффективен и при концентрации 2 масс. % увеличивает твердость полимерной матрицы по Бринеллю на 41%, прочность на изгиб на 63%, а теплопроводность на 380% (рис. 3, 4).

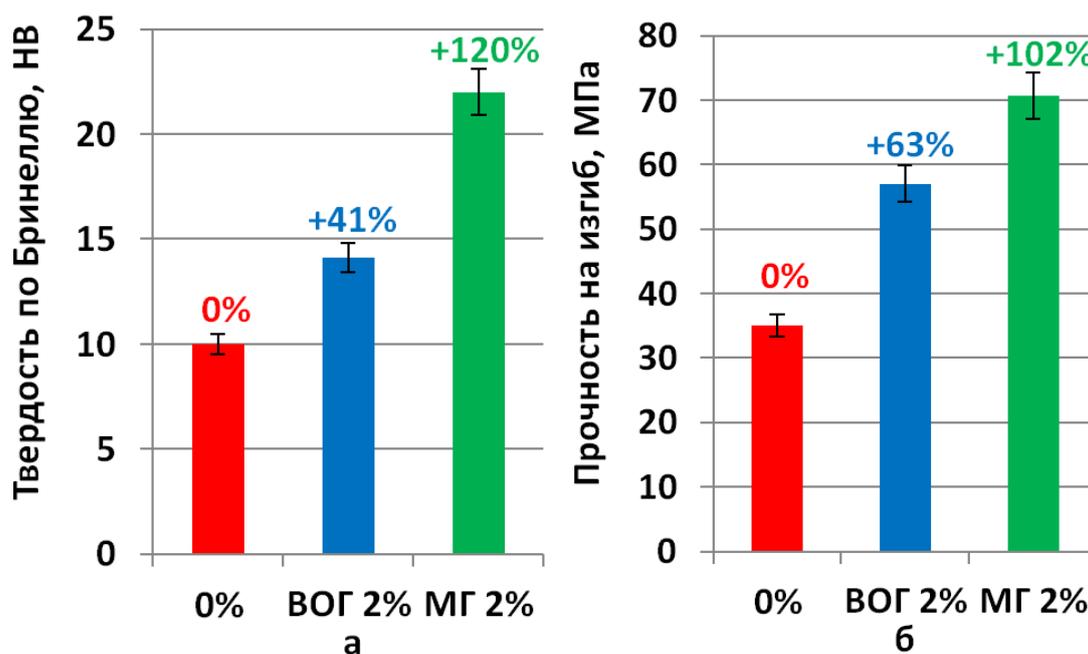


Рис. 3. Гистограммы твердости по Бринеллю (а) и прочности на изгиб (б) в зависимости от типа наполнителя

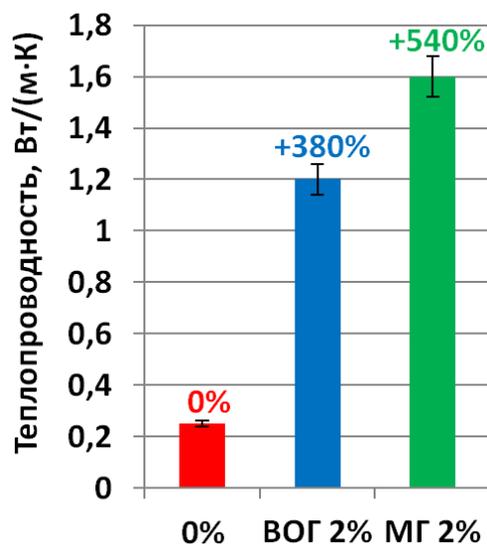


Рис. 4. Гистограмма теплопроводности при 25 °С в зависимости от типа наполнителя

Следует отметить, что методы пробоподготовки и синтеза полимерных композитов были одинаковыми, а модифицирующие добавки МГ и ВОГ имели схожие характеристики (удельную поверхность и дисперсность). Таким образом, МГ изменяет свойства полимерной матрицы намного эффективнее, чем ВОГ при тех же концентрациях, что обусловлено отсутствием дефектов Стоуна-Уэйлса в структуре МГ. Отсутствие дефектов Стоуна-Уэйлса значительно повышает эффективность МГ в качестве модифицирующей добавки при создании полимерных композиционных материалов [5].

Представленные результаты свидетельствуют о возможностях использования малослойного графена в качестве наполнителя фотополимерной смолы для повышения ее прочностных и теплофизических свойств. Полученные результаты позволяют рассчитывать на расширения спектра применения изделий, полученных DLP методом 3D-печати, в таких областях, как приборостроение (в качестве материала корпусов и деталей).

Литература

1. Blanco I. The Use of Composite Materials in 3D Printing // *Journal of Composites Science*. 2020. V. 4. N 2. Art. ID 42. p. 22.
2. Ponnamma D., Yin Y., Salim N., Parameswaranpillai J., Thomas S., Hameed N. Recent progress and multifunctional applications of 3D printed graphene nanocomposites // *Composites Part B: Engineering*. 2021. V. 204. Art. ID 108493. p. 20.
3. Voznyakovskii A., Vozniakovskii A., Kidalov S. New Way of synthesis of few-layer grapheme nanosheets by the self propagating high-temperature synthesis method from biopolymers // *Nanomaterials*. 2022. V. 12. N 4. Art. ID 657. p. 15.
4. Voznyakovskii A., Neverovskaya A., Vozniakovskii A., Kidalov S. A Quantitative chemical method for determining the surface concentration of Stone–Wales defects for 1D and 2D carbon nanomaterials // *Nanomaterials*. 2022. V. 12. N 5. Art. ID 883. p. 8.
5. Kidalov S., Voznyakovskii A., Vozniakovskii A., Titova S., Auchynnikau Y. The Effect of Few-Layer Graphene on the Complex of Hardness, Strength, and Thermo Physical Properties of Polymer Composite Materials Produced by Digital Light Processing (DLP) 3D Printing // *Materials*. 2023. V. 16. N 3. Art. ID 1157. p. 14.

ЭКОЛОГИЯ

УСТОЙЧИВЫЙ РЕСУРСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В УРБОЭКОСИСТЕМАХ

Аникиева Д.Д.¹ (студент)

Научный руководитель – доцент факультета экотехнологий Орипова А.А.¹

1 – Университет ИТМО
daria.d.samorodova@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР 620148 «Развитие методологии экологического мониторинга на основе внедрения технологий Интернета вещей».

Аннотация

Для решения актуальной для российских городов проблемы сбора данных для управления ресурсами в работе проведен обзор доступных инструментов. Также рассмотрена эффективность данных инструментов при устойчивом ресурсном менеджменте городов. Более подробно изучен системный проект REPAiR, который имеет потенциал использования в городах России.

Ключевые слова

Устойчивый ресурсный менеджмент, урбоэкосистема, климатическая политика городов, умный город.

Введение

В настоящее время можно наблюдать высокую динамику в урбанизации, в том числе на территории Российской Федерации. При этом мы сталкиваемся и с другими глобальными проблемами, такими как изменение климата и неэффективное управление ресурсами. Города же, в особенности мегаполисы и крупные агломерации, являются источником не только выбросов углекислого газа, но и значительного и растущего объема других парниковых газов (ПГ), то есть они оказывают значительное влияние на глобальную климатическую систему. С повышением уровня такого воздействия начинают усугубляться климатические проблемы извне, такие как наводнения, ледяные заторы, которые могут угрожать здоровью и безопасности городского населения, экономике города. В нашей стране администрации городов также сталкиваются с проблемой ресурсного менеджмента, особенно в сфере твердых коммунальных и прочих отходов, транспорта, энергии и потока информации.

Для решения актуальной для российских городов проблемы сбора данных для управления ресурсами в данной работе проведен обзор доступных инструментов на основе использования различных достижений. Также рассмотрена эффективность применения данных инструментов при устойчивом ресурсном менеджменте на примере города Санкт-Петербурга.

Актуальность работы определяется глобальным движением к цифровизации и борьбе с изменением климата, что подкреплено Целями устойчивого развития ООН № 11 и 13, а также национальными целями в достижении углеродной нейтральности к 2060 году и рекомендациями по управлению городами в сфере климатической политики, направленным администрациям субъектов Российской Федерации (РФ).

В данной работе решаются следующие задачи:

- 1) обзор доступных инструментов по повышению эффективности ресурсного менеджмента в урбоэкосистемах;
- 2) обзор и анализ использованных решений администрации Санкт-Петербурга при проведении климатической политики и цифровизации города;
- 3) оценка применимости рассмотренных инструментов для города Санкт-Петербурга.

Результаты исследования

Первым инструментом для анализа были выбраны решения, найденные объединением городов по всему миру. Местные, региональные и глобальные городские сети являются ключевыми партнерами, оказывающими значительную поддержку городам и местным органам власти, участвующим в повестке дня в области изменения климата. Глобальные сети обеспечивают платформу для распространения знаний и могут стимулировать процессы обучения среди местных органов власти. Этот обмен знаниями все чаще называют межгородским обучением (city-to-city learning), которое определяется как процесс взаимного обучения между городами, сталкивающимися со схожими проблемами, с целью повышения устойчивости к изменению климата. Другими терминами, используемыми для описания аналогичного процесса, являются обучение управлению городским климатом или инновационный менеджмент в области устойчивости городов к изменению климата.

В докладе ООН «Климатически нейтральные города» отмечается ряд международных сетей городов, которые активно работают в области защиты климата:

1. Местные органы власти за устойчивое развитие (ICLEI).
2. Глобальное соглашение мэров по вопросам климата и энергетики (GCoM).
3. Города C40 (C40).
4. Объединенные города и местные органы власти (ОГМВ).

Последняя сеть имеет приоритет в поддержке развития города Санкт-Петербурга, поскольку среди участников этой сети представлен ряд субъектов РФ, а президентом Евразийского регионального отделения Всемирной организации «Объединенные города и местные власти» является мэр Казани. Россия не представлена в качестве участника в других сетях. Существует также сеть для объединения городов в целях достижения углеродной нейтральности – Альянс углеродно-нейтральных городов (CNCA).

Эти климатические сети располагают различными инструментами, условиями участия, системой отчетности и базами данных. Доступные инструменты для городов-участников каждой сети были проанализированы и отражены в таблице 1.

Для точечного решения может быть выбран опыт реализации климатической политики городов-участников сетей, например, близких по климатическому типу к изучаемому российскому городу. Для Санкт-Петербурга таким прекрасным примером может стать город Торонто, реализующий климатическую политику более десяти лет и добившийся результатов по данному направлению. Также отличными примерами являются достижения городов Мульбурн, Нью-Йорк и Портленд, рассмотренные автором подробнее в другой работе [4].

При анализе городов, имеющих опыт проведения эффективной климатической политики, можно найти не только собственные климатические стратегии, но и стратегии управления отходами, транспортом, стратегии развития умного города, планы озеленения, собственные разработанные зеленые стандарты строительства.

Еще одним доступным и весьма актуальным инструментом является внедрение концепции «умного города». Эта концепция тесно пересекается с экологически и климатически безопасным строительством городской среды, например, при повышении энергоэффективности зданий и городских сооружений. Она также основана на следующих направлениях развития сферы информационных технологий: большие данные и их анализ; коммуникации в социальной сфере; облачные технологии; искусственный интеллект; «Интернет вещей»; технологии, обеспечивающие кибербезопасность; различные цифровые платформы.

Сравнение IQ (индекса цифровизации) российских городов за 2020-2021 годы показало, что Санкт-Петербург входит в десятку крупнейших городов страны, а показатели его индекса цифровизации растут с каждым годом [3]. В городе было реализовано и продолжает внедряться ряд проектов по умным технологиям, например: «умный дом» с автоматической передачей информации расхода воды, газа и

электричества; «умный двор» с интегрированной системой мониторинга, следящей за состоянием дворовых территорий; «умная стоянка» с использованием информационного табло; «умная скамейка», оснащенная USB-зарядкой и Wi-Fi модулем. Планируется внедрение «умного квартала» с автоматизированными кабинами для перемещения пешеходов через проезжую часть, и «умного общественного транспорта» [1, 2].

Таблица 1

Доступные инструменты и возможности климатических сетей

Название сети	Пример инструментов и возможностей
C40 Cities	Отдельный раздел с базой знаний c40knowledgehub.org
Global Covenant of Mayors for climate & energy	Инициативы по различным направлениям: Data4Cities; Innovate4Cities; Invest4Cities
The Carbon Neutral Cities Alliance	Совершенствование методологий, стандартов и инструментов управления для планирования, внедрения, оценки воздействия и постоянного улучшения углеродной нейтральности
ICLEI - Local Governments for Sustainability	Пять путей (pathways) работы сети: низкоэмиссионное развитие, экосистемные решения, справедливый (равноправный) и ориентированный на людей путь развития, устойчивый (жизнеспособный) путь и циркулярная экономика

Важным шагом в цифровизации городской системы является создание единой и доступной системы, отражающей поток ресурсов и информации в необходимых областях. Такие данные должны быть грамотно собраны, сохранены, интерпретированы и использованы.

Несколько европейских городов (Гамбург, Амстердам и другие) объединились для решения этой проблемы и приняли участие в разработке проекта Repair, направленного на работу с потоком информации и ресурсов в городах. Этот проект сочетает в себе идеи инструментов, обсуждавшихся ранее – города-участники проекта являются членами климатических сетей и реализуют свои климатические стратегии, является открытой платформой для обсуждения и взаимного сотрудничества, и этот проект также является отличным инструментом для реализации концепции умного города. Поэтому проект был выбран автором для дальнейшего анализа и оценки применимости к городу Санкт-Петербургу.

Выводы

1. Город Санкт-Петербург обладает достаточно высоким потенциалом и готовностью к решению проблем, связанных с изменением климата [5]. Более того, ряд проектов в этой области уже реализован.

2. В ходе работы было рассмотрено несколько полезных инструментов. Цели участия городов в сетях, рассмотренные в работе, совпадают с национальными и местными целями (администрации Санкт-Петербурга) по достижению устойчивого развития и климатической безопасности. Использование инструментов, предлагаемых климатическими сетями, может помочь городу принять меры по адаптации и смягчению последствий изменения климата и эффективно управлять ресурсами.

3. Примером стратегии для Санкт-Петербурга с точки зрения близости к типу климата станет документ города Торонто. Однако стратегии городов Мельбурн, Нью-Йорк и Портленд, которые реализуют климатическую политику уже более 10 лет, также имеют ценность в качестве примера как для Санкт-Петербурга, так и для других субъектов РФ.

4. Проект Repair был выбран автором для дальнейшего анализа и оценки применимости к городу Санкт-Петербургу, поскольку он сочетает в себе идеи рассмотренных ранее инструментов - города-участники проекта являются членами климатических сетей и реализуют свои климатические стратегии, является открытой платформой для обсуждения и взаимного сотрудничества, и этот проект является отличным инструментом для реализации концепции "Умный город".

Литература

1. Булгакова К.О. Направления реализации технологий "умного города" в Санкт-Петербурге / Булгакова К.О., Селютин Л.Г. // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : материалы научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 05–06 ноября 2020 года. Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет. 2020. С. 39. EDN LJRFHR.
2. Зайцева Н.В. Программа "умный Санкт-Петербург" и потенциал инновационного развития города / Н.В. Зайцева // Научный прогресс: проблемы и перспективы развития: Международная научно-практическая конференция, Кемерово, 30 ноября 2019 года. Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр". 2019. С. 276-280. EDN PNVESU.
3. Озерова А.А. Обзор результатов развития концепции "умный город" в Санкт-Петербурге / Озерова А.А. // Кооперация науки и общества - курс к модернизации и инновационному развитию: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Калуга, 15 октября 2022 года. Стрелитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований". 2022. С. 56-60. EDN IGWZIW.
4. Самородова Д.Д., Бобылев Н.Г. Климатическая стратегия Санкт-Петербурга. Устойчивое развитие в условиях глобальных вызовов: сборник научных статей международной конференции (Санкт-Петербург, 6-8 июня 2022 г.). 2022. С. 379-387.
5. Серебрицкий И.А. Об опыте Санкт-Петербурга в области адаптации к изменениям климата / И.А. Серебрицкий // Изменения климата и углеродная нейтральность: вызовы и возможности: Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции, Ханты-Мансийск, 10 июня 2022 года. Ханты-Мансийск: Общество с ограниченной ответственностью "Печатный мир г. Ханты-Мансийск». 2022. С. 9-14. EDN HHYIJS.

ДЕСЕРТ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОЙ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРУКТОВО-ОВОЩНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Борисов М.М.¹, Сучкова Е.П.¹

1 – Университет ИТМО

Аннотация

Данная научная статья описывает исследование разработки десерта на основе ферментированной творожной сыворотки с добавлением фруктово-овощного наполнителя. Целью исследования была разработка состава и технологии пудинга на основе ферментированной творожной сыворотки с использованием комбинации фруктов и овощей. В ходе эксперимента были произведены измерения содержания сухих веществ, а также кислотность и рН в полученном десерте. Были определены оптимальные дозировки фруктово-овощного наполнителя для достижения наилучшего соотношения между питательными веществами и вкусовыми качествами. Было установлено, что стабилизирующая система модифицированного крахмала и рисовой муки позволяет достигнуть приближенную к желаемой структуру десерта, но все еще не являлась конечной.

Ключевые слова

Творожная сыворотка, пудинг, подбор стабилизаторов, разработка продукта.

Введение

Молочная промышленность ежегодно производит значительное количество молочной сыворотки, и полное и эффективное использование этого ресурса является глобальной проблемой. Сывороточные белки, богатые незаменимыми аминокислотами и хорошо усваиваемые, являются ценным источником важных пищевых ингредиентов. Однако низкий уровень промышленной переработки и значительные отходы этого продукта могут нанести вред окружающей среде. Использование творожной сыворотки в производстве продуктов питания на ее основе является актуальным и перспективным направлением в пищевой промышленности по следующим причинам:

1. Экономическая эффективность: Творожная сыворотка является побочным продуктом производства творога, но при этом имеет ценные питательные свойства и может использоваться в производстве многих других продуктов питания, что позволяет снизить затраты на производство.

2. Высокое питательное значение: Творожная сыворотка содержит белки, минералы, витамины и другие питательные вещества, которые необходимы для здоровья человека. Она также обладает низкой калорийностью и может быть использована в диетических продуктах.

3. Разнообразие продуктов: на основе творожной сыворотки можно производить различные продукты, такие как йогурты, кефир, сыры, напитки, десерты и т.д., что позволяет создавать разнообразие в ассортименте и удовлетворять потребности различных групп потребителей.

4. Экологическая безопасность: Использование творожной сыворотки в производстве позволяет снизить количество отходов и загрязнение окружающей среды, что является важным фактором в условиях усиления экологических проблем [1, 2].

Она обладает множеством полезных свойств, которые могут быть использованы в производстве различных продуктов питания. Сыворотка богата белками, включая все необходимые аминокислоты, которые необходимы для роста и восстановления тканей в организме. Она также содержит множество важных минералов, таких как кальций, фосфор, калий, магний, железо и цинк, которые помогают поддерживать здоровье костей, зубов, мышц и нервной системы. Витамины группы В, витамин С, витамин Е и витамин К, которые также присутствуют в сыворотке, помогают укреплять иммунную

систему, улучшают здоровье кожи и слизистых оболочек, а также участвуют в регуляции обменных процессов. Сыворотка имеет низкую калорийность и может быть использована в диетических продуктах. Она может быть добавлена в коктейли, йогурты, смузи, каши, выпечку и другие продукты питания, чтобы улучшить их питательную ценность и вкусовые характеристики.

Антиоксидантная активность сыворотки, скорее всего, связана с ее вкладом в синтез глутатиона (GSH). Цистеин, который содержит антиоксидантную тиоловую группу, соединяется с глицином и глутаматом с образованием глутатиона. GSH является основным эндогенным антиоксидантом, продуцируемым клетками, обеспечивающими выработку РНК, ДНК и белков посредством окислительно-восстановительного цикла от восстановленной формы GSH к окисленной форме дисульфида глутатиона (GSSG). Через прямое конъюгирование GSH детоксифицирует ряд эндогенных и экзогенных токсинов, включая токсичные металлы, нефтяные дистилляты, перекись липидов, билирубин и простагландины. Потребление белков молочной сыворотки людьми с избыточным весом и ожирением снижает уровень липидов в крови. В некоторых исследованиях утверждается, что эти белки снижают уровень триглицеридов и холестерина за счет содержания биологически активных компонентов (лактальбуминов, ингибиторов АПФ и аминокислот с разветвленной цепью). Они также вызывают выведение жиров и предотвращают накопление жира в организме.

Добавки из сывороточных белков могут укрепить иммунную систему и улучшить состояние организма, вызванное сахарным диабетом. Различные соединения сывороточного белка, такие как α -лактальбумин, β -лактальбумин и лактоферрин, возможно, предотвращают образование интерлейкина 6 (IL-6) и действие других воспалительных факторов [3].

Таким образом, использование творожной сыворотки в производстве продуктов питания имеет большое значение, так как она может помочь улучшить пищевую ценность и вкусовые свойства продуктов, а также улучшить здоровье людей. Кроме того, использование сыворотки в продуктах питания также имеет экономический эффект, так как позволяет рационально использовать побочные продукты производства в качестве ценных и полезных ингредиентов.

Рассматривая напитки на основе сыворотки, невозможно не обратить внимание на продукт Rivella. Это швейцарский напиток, изготовленный из молочной сыворотки, ферментированной специальной смесью трав и других ингредиентов. Впервые представленный в 1952 году, Rivella завоевал популярность в Швейцарии и других странах благодаря своему уникальному вкусу и предполагаемым полезным свойствам. Этот напиток стал предметом многочисленных научных исследований, в ходе которых изучались его питательные свойства и потенциальное воздействие на здоровье.

Одним из главных преимуществ Rivella является низкая калорийность. По сравнению с другими безалкогольными и безалкогольными напитками, Rivella содержит меньше калорий на порцию, что делает его привлекательным выбором для тех, кто стремится контролировать свой вес. Кроме того, Rivella не содержит кофеина, что означает, что ее можно употреблять, не нарушая режим сна, не вызывая беспокойства.

Однако есть и некоторые потенциальные недостатки употребления Rivella. Например, напиток имеет уникальный вкус, который некоторые люди могут счесть непривлекательным. Это может быть связано с травами и другими ингредиентами, используемыми в процессе ферментации, которые придают Rivella характерный вкус.

Известны исследования по производству желированных продуктов с применением сыворотки. Например, в [4] разрабатывался пробиотический десерт на основе творожной сыворотки. Авторы в своей работе использовали яблочный пектин в качестве стабилизатора в количестве 1% от объема продукта, а также использовали для ферментации БАД «Селенпропионикс» с повышенным содержанием селена (700 мкг/мл). Стоит отметить, что по результатам экспериментов авторы сделали вывод

о том, что к концу культивирования в образце с пектином количество жизнеспособных клеток пропионовокислых бактерий на 3 порядка выше, чем в контрольном образце. Данный продукт характеризовался хорошими органолептическими показателями, высоким титром жизнеспособных клеток пропионовокислых бактерий и содержанием биодоступного селена.

В свою очередь, в нашей работе в качестве стабилизирующей системы используется модифицированный крахмал Clearam СН-2020 и рисовая мука, а ферментация проводится с использованием лиофилизированной концентрированной молочной закваски (термофильный стрептококк,) прямого внесения УО – МІХ компании Danisco и пропионовокислых бактерий компании Propionix.

Пудинг на основе творожной сыворотки является популярным десертом в молочной промышленности. Однако, для того чтобы удовлетворить потребности потребителей и оставаться конкурентоспособными на рынке, производители могут использовать различные ингредиенты для придания пудингу уникального вкуса и текстуры. Один из таких ингредиентов – это плодово-ягодные наполнители.

Актуальность использования плодово-ягодных наполнителей в производстве пудингов на основе творожной сыворотки обусловлена несколькими факторами. Во-первых, добавление таких наполнителей может улучшить вкус и аромат пудинга, придавая ему свежесть и яркость. Во-вторых, плодово-ягодные наполнители могут улучшить текстуру пудинга, делая его более гладким и кремообразным. Кроме того, такие наполнители содержат множество полезных веществ, таких как витамины, минералы и антиоксиданты, которые могут повысить питательную ценность продукта.

При производстве пудингов на основе творожной сыворотки производители могут использовать различные виды плодово-ягодных наполнителей, такие как клубника, малина, черника, вишня и т.д. Каждый из этих видов имеет свои особенности, которые могут влиять на вкус, аромат и текстуру пудинга. Например, использование клубники может придать пудингу легкую кислинку, а вишня - немного кисло-сладкий вкус. Выбор конкретного наполнителя зависит от предпочтений потребителей и желаемых характеристик продукта.

Включение в состав пудинга фруктовых и овощных начинок предлагает альтернативу традиционным молочным десертам и может обеспечить дополнительные питательные преимущества. Например, использование тыквенного и вишневого пюре добавляет в продукт клетчатку, витамины и антиоксиданты.

Исследования в этой области продолжаются, в них изучается возможность использования других стабилизаторов и наполнителей при производстве ферментированных молочных продуктов.

Целью исследования являлась: разработка состава и технологии пудинга на основе ферментированной творожной сыворотки с использованием комбинации фруктов и овощей.

Методы и принципы исследования

За базис творожного десерта был выбран пудинг на основе творожной сыворотки. Сыворотку получали от АО «Лактис» гор. Великий Новгород. В качестве наполнителя использовалось пюре тыквы и вишни в соотношениях 30:70 и 70:30 соответственно. Было выбрано сырье богатое каротиноидами – сорт тыквы баттернат (производитель – Волгоградская область) и вишня Самокат замороженная (производитель – Умный ритейл ООО).

Сыворотка обладала следующими физико-химическими параметрами (табл. 1).

Стабилизирующей системой являлись модифицированный крахмал Clearam СН-2020 и рисовая мука (производитель – SPAR NATURAL). Крахмал Clearam СН-2020 представляет собой прежелатинизированный ацелированный дикрахмал адипат на основе восковой кукурузы. Преимущества:

- масса отличается устойчивостью к низкому уровню pH и механической обработке, термостабилен;
- не проявляет тенденции к ретроградации и синерезису на стадии заморозки - оттаивания;
- создает глянцевую поверхность.

Таблица 1

Физико-химические параметры творожной сыворотки

Наименование определяемого показателя	Единицы измерений	Фактическое значение	Нормативное значение определяемого показателя, допустимый уровень	Погрешность	Нормативная документация на методы исследования
Массовая доля жира	%	0,01	—	± 0,03	ГОСТ 5867-90
Массовая доля сухих веществ	%	6,1	Не менее 5,0	± 0,03	ГОСТ Р 54668-2011
Кислотность	°Т	58,0	Не более 70	± 1,9 °Т	ГОСТ Р 54669-2011
Плотность	кг/м ³	1024,0	Не менее 1023,0	± 1,0 кг/м ³	ГОСТ Р 54758-2011

Благодаря биологической ценности белка и высокому содержанию крахмала рисовая мука занимает лидирующее место среди другой злаковой муки. Она не содержит клейковины, является источником большого количества полезных микроэлементов, витаминов и естественных минералов. В молочной промышленности, благодаря высоким показателям влагосвязывающей функции, рисовую муку применяют как стабилизатор и естественный загуститель.

Заквасочные культуры подобраны таким образом, чтобы увеличить скорость сквашивания смеси, обогатить продукт пробиотиками, витаминами, а также улучшить органолептические показатели готового продукта. Ферментация позволяет сделать продукт диетическим и доступным для употребления людьми с непереносимостью лактозы. В данной работе представлено две заквасочные культуры: УО – МІХ компании Danisco и пропионовокислых бактерий компании Protopix.

Представлена рецептура продукта (табл. 2).

Таблица 2

Рецептура продукта

Наименование сырья	Норма расхода сырья, г	
	Тыква-Вишня (70:30)	Тыква-Вишня (30:70)
Творожная сыворотка	600	600

Наименование сырья	Норма расхода сырья, г	
	Тыква-Вишня (70:30)	Тыква-Вишня (30:70)
Сливки 10%	180	180
Сахар	30	30
Рисовая мука	50	50
Фруктово-овощной наполнитель	100	100
Закваска	30	30
Стабилизатор	10	10
Итого	1000	1000

Технология производства пудинга выглядит следующим образом (рисунок).

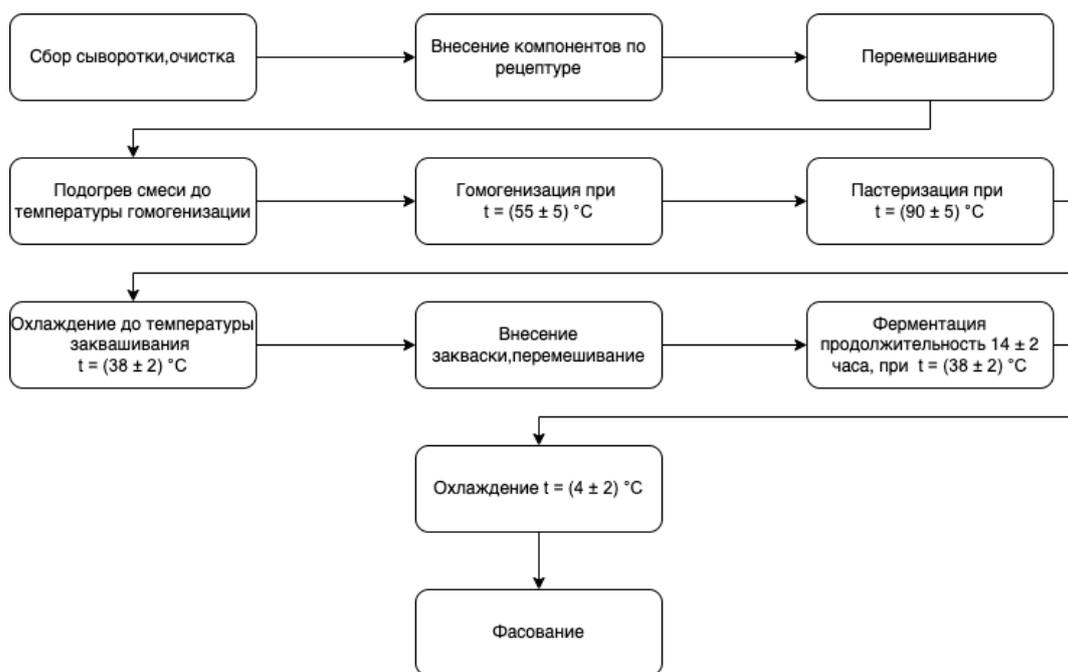


Рисунок. Технологическая схема производства пудинга

Результаты и их обсуждение

Результатом данной работы является создание молочного пудинга с использованием молочной сыворотки и фруктово-овощного наполнителя, позволяющая расширить ассортимент молочной продукции и решить вопрос загрязнения сточных вод при частичной переработке вторичного молочного сырья на предприятии. Также установлена принципиальная возможность применения пропионовокислой микрофлоры при производстве десерта.

Полученный продукт обладал следующими физико-химическими свойствами (табл. 2).

Физико-химические свойства продукта

Наименование образца	pH	К, °Т	СВ,%	RI
Тыква- Вишня (70:30)	4,64	65	16,0	1,3568
Тыква- Вишня (30:70)	4,55	66	14,6	1,3554

Работа над творожным десертом продолжается. На данный момент главной проблемой разработки продукта является правильный подбор стабилизаторов. Сейчас мы имеем киселевидную структуру, которая пока что не отвечает нашим требованиям. Скорее всего данная проблема возникает из-за возрастания кислотности смеси при ферментации, что влияет на продуктивность нашей стабилизирующей системы. Проводятся экспериментальные выработки продукта с использованием яблочного пектина, который, как и модифицированный крахмал Clearam СН-2020 хорошо действует при высоких температурах и высоких показателях кислотности. Известно также, что модифицированный крахмал Clearam СН-2020 хорошо действует в комбинации с яблочным пектином. Решение данной проблемы позволит нам приблизиться к заданной структуре продукта. Анализ структурных свойств будет проводиться с помощью реологических измерений.

Вывод

Ферментированная творожная сыворотка является богатым источником незаменимых аминокислот, а также содержит множество полезных витаминов и минералов. Кроме того, ферментированные продукты могут способствовать здоровью кишечника и укреплению иммунитета. Добавление фруктово-овощного наполнителя не только придает десерту свежий вкус и аромат, но и обогащает его витаминами и антиоксидантами, что делает этот десерт еще более полезным для здоровья.

Таким образом, десерт на основе ферментированной творожной сыворотки с использованием фруктово-овощного наполнителя может быть отличной альтернативой традиционным десертам, благодаря своей питательной ценности и вкусовым качествам.

Литература

1. Переработка молочной сыворотки с получением ценных пищевых ингредиентов / Золоторева М.С., Володин Д.Н., Князев С.Н. [и др.] // Переработка молока. 2015. Т. 187. № 5. С. 28–29.
2. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки / Храмцов А.Г. СПб.: Профессия. 2011. 804 с.
3. Паладий И.В. и др. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение //Электронная обработка материалов. 2021. Т. 57. №. 1. С. 52-69.
4. Цыжилова А.В. и др. Разработка пробиотического десерта на основе творожной сыворотки //Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2015. №. 4. С. 31-35.

ГЕТЕРОТРОФНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Видлер А.Д.¹ (аспирант)

Научный руководитель – к.т.н. Молодкина Н.Р.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: advidler@itmo.ru

Аннотация

Проведен анализ мирового и российского рынка микроводорослей, выделены целесообразные направления для применения микроводорослей в фармакологии, косметологии и пищевой промышленности. Проведен обзор технологий культивирования микроводорослей с целью получения биологически активных веществ. В качестве предпочтительного метода было выбрано гетеротрофное культивирование. Определены актуальные и экономически целесообразные компоненты для получения методом гетеротрофного культивирования. Были проанализированы исследования, посвященные получению полиненасыщенных жирных кислот и пигментов из биомассы микроводорослей. Выбраны приоритетные штаммы микроводорослей для экспериментов по подбору условий культивирования, адаптации методик с перспективой масштабирования производства.

Ключевые слова

Микроводоросли, биологически активные вещества, гетеротрофное культивирование, полиненасыщенные жирные кислоты, пигменты.

В настоящее время микроводоросли все чаще привлекают внимание исследователей и производителей в связи с широким спектром применений. Однако для получения биологически активных веществ из микроводорослей необходимо разработать эффективные технологии и методы культивирования. В связи с этим, целью данного исследования является определение наиболее перспективного метода культивирования микроводорослей для получения биологически активных веществ. Ожидается, что результаты исследования помогут решить важную научно-практическую проблему и создать универсальный процесс производства полезных продуктов и компонентов для различных отраслей промышленности. В настоящее время существует несколько методов культивирования микроводорослей для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью. Наиболее распространенным является автотрофное культивирование, при котором микроводоросли выращиваются на свету с использованием углекислого газа в качестве источника углерода. Автотрофное культивирование может осуществляться в открытых прудах и в фотобиореакторах. Однако эти методы имеют свои недостатки, включая низкую производительность целевых компонентов, нестабильность качества продукции и высокие затраты на энергию и оборудование. Другим методом является гетеротрофное культивирование, при котором микроводоросли выращиваются на органических субстратах. Он позволяет достичь более высокой производительности требуемых веществ, улучшить качество продукции и снизить затраты на энергию и оборудование. Кроме того, метод гетеротрофного культивирования может быть использован для получения широкого спектра продуктов с высокой добавленной стоимостью, таких как пигменты, жирные кислоты и другие. Несмотря на ограничения, связанные с дороговизной производства, метод гетеротрофного культивирования микроводорослей является многообещающим и перспективным методом для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью. Поиск новых способов применения этого метода будет приводить к удешевлению технологий. Он может быть использован в различных отраслях промышленности, включая пищевую, фармацевтическую и косметическую.

Согласно исследованию Polaris Market Research, мировой рынок микроводорослей в 2021 году оценивался в 955,1 миллиона долларов США к 2030 году прогнозируется рост на 5,7% в годовом исчислении до 1,6 миллиардов [1]. По оценкам Markets and Markets рынок продуктов из микроводорослей в 2021 году оценивался в 4,7 миллиардов долларов США и прогнозируется рост до 6,4 миллиардов, что составит 6,3% роста в годовом исчислении [2]. Этот рост обусловлен увеличением спроса на натуральные компоненты в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности. В России рынок микроводорослей также начинает развиваться, но пока не сформировался в отдельную сущность, которую можно было бы измерить и оценить. Спрос на микроводоросли в России приводит к развитию инновационных технологий в области их производства и технологических решений. Сферы применения микроводорослей включают сельское хозяйство, аквакультуру, биотехнологии, а также производство биотоплива и биоразлагаемых материалов. Микроводоросли используются в качестве корма для животных и рыб, а также как источник белков и других важных питательных веществ для человека. Они также могут быть использованы в биотехнологии для производства биологически активных веществ и лекарственных препаратов. Таким образом, микроводоросли являются перспективным объектом для исследований.

Биомасса микроводорослей может использоваться как конечный продукт без сложной обработки в пищевой и кормовой промышленности, а также в виде пищевых добавок в формате прессованных таблеток, порошка или суспензии. Однако более продвинутым и технологичным является использование микроводорослей как продуцентов определенных компонентов для косметологии, фармакологии и медицины. Целесообразным является получение различных пигментов и полиненасыщенных жирных кислот из микроводорослей, потому что процесс получения таких компонентов обычно конкурирует за сырьё с другими отраслями. Например, для получения докозагексаеновой кислоты вылавливают океаническую сельдь, что может негативно сказываться на водных экосистемах. Стоит заметить, что в рыбе эти вещества накапливаются именно из-за того, что она питается микроводорослями, которые содержат полезные компоненты. Таким образом, мы можем обратиться к первоначальному источнику данного вещества. Помимо разнообразия полезных компонентов, которые могут продуцировать микроводоросли, они также поддаются генетическим манипуляциям и селекции. То есть возможно получение рекомбинантных белков с помощью микроводорослей, такие белки могут быть использованы для разработки вакцин, лекарств и диагностических тест-систем.

Стадия культивирования в производстве продуктов из микроводорослей будет отличаться в зависимости от целей и задач. Существует несколько технологий культивирования микроводорослей, которые применяются в настоящее время. Первая технология – это открытые системы культивирования, такие как пруды и озера. Эти системы являются наиболее дешевыми и простыми в использовании, но они имеют низкую производительность и могут быть подвержены загрязнению. Вторая технология – это закрытые системы автотрофного культивирования, такие как фотобиореакторы. Эти системы обеспечивают более высокую производительность и контроль за качеством продукции. Однако при культивировании микроводорослей с использованием света оптическая плотность становится лимитирующим фактором, так как при достижении определенной плотности водорослей, свет не может проникнуть в глубину культуры и не может достигнуть всех клеток. Это приводит к ограничению фотосинтеза и роста водорослей. Поэтому, для увеличения производительности культуры, необходимо использовать более эффективные системы освещения или различные стратегии культивирования. Третья технология - культивирование микроводорослей в гетеротрофных условиях, то есть без использования света.

Метод гетеротрофного культивирования микроводорослей является эффективным способом получения биологически активных веществ, так как он позволяет выращивать

микроводоросли без использования света. Это позволяет пользоваться тем, что микроводоросли растут в объеме, а не на площади. Гетеротрофное культивирование позволяет полностью контролировать условия среды, а сам процесс проходит в закрытой системе. Это позволяет лучше предотвращать контаминацию и обеспечивает воспроизводимость полученных результатов. Однако, есть несколько ограничивающих факторов при использовании гетеротрофного культивирования. Использование гетеротрофного культивирования может быть более затратным, так как требуется использование дополнительных источников питания для микроводорослей. Также, требуется тщательно проводить работу по подбору штаммов, которые предрасположены к миксотрофному или гетеротрофному росту. В целом, гетеротрофное культивирование является важным методом для получения биологически активных веществ из микроводорослей, но его использование должно быть оценено с учетом конкретных требований и ограничений [3]. Метод гетеротрофного культивирования предполагается использовать в проведении дальнейших исследований по данной тематике.

При выборе целевых компонентов для производства биологически активных веществ из микроводорослей важны несколько критериев. Возможность получения продукта при гетеротрофном культивировании, высокая добавленная стоимость продукта, наличие спроса на рынке и технологические возможности для масштабирования производства - все эти факторы играют важную роль. Поэтому выбор целевых компонентов должен основываться на анализе всех этих критериев. После анализа научных источников и компаний, которые используют микроводоросли в своей деятельности, были выбраны следующие компоненты: лютеин, астаксантин, бета-каротин, фикоцианин, докозагексаеновая кислота (ДГК) и эйкозапентаеновая кислота (ЭПК). Выбранные вещества относятся к пигментам и полиненасыщенным жирным кислотам. Исследования, посвященные получению полиненасыщенных жирных кислот и пигментов из биомассы микроводорослей, проводятся уже довольно давно. Большинство из них направлены на определение оптимальных условий культивирования микроводорослей, таких как температура, освещение, питательная среда и другие факторы. Так, например при поиске статей про получение полиненасыщенных жирных кислот с помощью микроводорослей в системе Google Scholar результаты за всё время составляют около 29200 работ, а с 2019 года по настоящее время около 17000 работ. Количество статей, которые связаны с получением пигментов из микроводорослей составляет около 77600 работ при поиске в Google Scholar за всё время и 17900 начиная с 2019 года. В целом, исследования, посвященные получению полиненасыщенных жирных кислот и пигментов из биомассы микроводорослей, продолжают и имеют большой потенциал для развития новых технологий и продуктов на основе микроводорослей.

После определения целевых компонентов были сформулированы критерии для выбора штаммов продуцентов для проведения экспериментов. Выбор штаммов осуществлялся из каталога коллекции культур микроводорослей IPPAS (ИФР РАН им. К.А.Тимирязева) [4]. Коллекция культур микроводорослей функционирует в ИФР РАН с 1958 года. В данный момент в каталоге представлены данные о 154 штаммах прокариотических и эукариотических микроводорослей. При выборе штаммов микроводорослей для культивирования в гетеротрофных условиях с целью получения биологически активных веществ, необходимо учитывать несколько критериев. Один из них - способность производить целевые компоненты. Также важно учитывать эффективность роста в гетеротрофных условиях, наличие технологических возможностей для масштабирования производства и низкие затраты на производство. Все эти критерии помогут выбрать оптимальные штаммы микроводорослей для получения биологически активных веществ. После анализа доступной коллекции микроводорослей IPPAS были выбраны девять штаммов, представляющих интерес для дальнейшего исследования (таблица). Среди приоритетных штаммов представлены

следующие роды: *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Dunaliella*, *Cyanidium*, *Galdieria*, *Haematococcus*, *Synechocystis*.

Таблица

Приоритетные штаммы микроводорослей для проведения экспериментов по культивированию в гетеротрофных условиях

Номер в каталоге	Название штамма
IPPAS C-50	<i>Chlorella protothecoides</i> Krüger
IPPAS C-66	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.
IPPAS C-73	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.
IPPAS C-119	<i>Scenedesmus fuscus</i> (Shih. et Krauss) Hegew.
IPPAS D-294	<i>Dunaliella salina</i> (Dunal) Teod.
IPPAS P-512	<i>Cyanidium caldarium</i> u <i>Galdieria partita</i> (природная смесь)
IPPAS P-513	<i>Galdieria sulphuraria</i> (Galdieri) Merola
IPPAS H-629	<i>Haematococcus</i> sp. Flotow
IPPAS B-1400	<i>Synechocystis</i> sp. Näg.

В процессе работы были разработаны критерии выбора целевых компонентов из биомассы микроводорослей, полученных путем гетеротрофного культивирования. Эти критерии включали анализ содержания целевых компонентов в разных видах микроводорослей, а также оценку их потенциала для рентабельного извлечения. Были определены приоритетные виды и штаммы микроводорослей для дальнейшей работы, учитывая их способность производить целевые компоненты и эффективность произрастания в гетеротрофных условиях. Для дальнейших экспериментов была выбрана коллекция, содержащая различные штаммы микроводорослей, и на ее основе были выбраны приоритетные штаммы. Для конкретизации объекта исследования будут проведены эксперименты с выбранными штаммами. Затем следует разработка и адаптация методики культивирования, включая подбор оптимальных условий роста и состава питательной среды для получения максимального выхода целевых компонентов. Оценка возможности масштабирования процесса производства также является важной частью работы. Будет проводиться анализ различных методов культивирования микроводорослей и их применимости в промышленном масштабе. Параллельно с этим будет проводиться адаптация методики экстракции целевых компонентов из биомассы микроводорослей, чтобы обеспечить максимальную эффективность и выход продукта. В итоге, на основе проведенных исследований, будет разработана технология производства целевых компонентов из микроводорослей с высокой эффективностью и экономической целесообразностью.

Литература

1. Polaris market research. Microalgae Market Size Global Report, 2022-2030 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/microalgae-market> (дата обращения: 10.12.2022).
2. Markets and Markets. Algae Products Market by Type, Application, Form, Source, and Region - Global Forecast to 2026 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/algae-product-market-250538721.html> (дата обращения: 10.12.2022).
3. Charis M. Galanakis. MICROALGAE. Cultivation, Recovery of Compounds and Applications. Elsevier. 2020. 441 p.
4. Каталог коллекции культур микроводорослей IPPAS (ИФР РАН им. К.А. Тимирязева). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cellreg.org/Catalog/> (дата обращения: 15.03.2023).

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

Гаврецкая А.В.¹ (студент), **Шестель А.А.¹** (студент), **Николаев Е.М.¹** (аспирант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: gavretskaya@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики», НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодegradации».

Аннотация

В работе рассмотрено получение пленочных покрытий, сформулированы основные требования, предъявляемые к ним. Разработана методика подтверждения бактерицидных свойств пленочных покрытий. Приводится сравнение их свойств с промышленно производимым аналогом, выявлены основные отличия и преимущества.

Ключевые слова

Бактерицидные свойства, пленки, обсемененность, методика, стерильность, хитин, жидкий пластырь.

Ежегодно вылавливают порядка 113 тысяч тонн креветок [1]. При этом порядка 45-55% от общего веса креветки составляют отходы. В итоге ежегодно в России образуется порядка 62 тысяч тонн отходов креветок. Однако данные отходы можно использовать в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР) благодаря их составу. В панцирях ракообразных содержится ценный компонент – хитин, из которого получают хитозан. на основе которого возможно получение защитных покрытий, например, умной упаковки, съедобных покрытий или косметических средств. В данной работе рассматривается возможность получения жидкого пластыря из ВМР. При этом данная разработка позволит не только снизить объем неиспользуемых отходов, но и создавать продукт на основе природных компонентов.

Целью данной работы исследование возможности использования хитозанового покрытия в качестве жидкого пластыря. Для достижения данной цели были выполнены следующие задачи:

1. Определить требования, предъявляемые к покрытию.
2. Разработать методики подтверждения характеристик.
3. Провести опыты, подтверждающие заявленные требования.

Для создания жидкого пластыря, необходимо было обозначить требования, предъявляемые к продукту. Так были сформулированы следующие определяемые характеристики, среди которых способность раствора образовывать пленки, достаточная текучесть раствора. При этом получаемые пленки из раствора должны обладать бактерицидными свойствами, с целью применения данных покрытий в фармацевтике. После подтверждения вышеуказанных требований, пленочные покрытия органолептически исследовались на различные показатели, в том числе эластичность, устойчивость к влаге.

В ходе работы были подобраны наилучшие условия для получения пленочных покрытий. Методика получения в общем виде включает в себя стадии:

- растворение хитозана в органическом растворителе;
- внесение добавок – в данном исследовании использовался глицерин, крахмал и пантенол;

- смешение компонентов;
- стерилизация полученной смеси.

Особенность получения покрытий в данной работе заключалась в стерилизации раствора в автоклаве в течении 20 минут при 121°C.

Полученный стерильный раствор разливали по чашкам Петри и оставляли высыхать под крышкой в течении 24-48 часов. Затем полученные образцы выставляли в обеденной зоне университета ИТМО. Время экспозиции составляло 15, 30 и 60 минут [2-3]. После выдержки поверхность хитозановых пленок смачивали 0,5 мл стерильного физраствора и давали равномерно набухнуть пленке. После этого на поверхность пленки заливали питательные среды Сабуро и ГМФ и оставляли инкубироваться в термостате. Положительным контролем являлись питательные среды, которые также оставались на открытом пространстве, предварительно пройдя провокацию. Для сравнения использовался образец жидкого пластыря «Спецпласт», который является аналогом получаемого продукта, однако значительно отличается составом. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Бактерицидные свойства покрытий

Образец	ГМФ			Сабуро		
	15 минут	30 минут	60 минут	15 минут	30 минут	60 минут
Отрицательный контроль	>5	>15	>20	2	3	3
Жидкий пластырь «Спецпласт»	2	2	~30	0	0	0
Покрытие из хитозана	0	1	0	0	0	0
Покрытие из хитозана и пантенола	0	0	0	0	0	0



Рис. 1. Чашки Петри с образцами покрытий

- 1 – Питательная среда ГМФ, 2 – Жидкий пластырь на питательной среде ГМФ,
- 3 – Пленочное покрытие из хитозана и пантенола на питательной среде ГМФ

Как видно из таблицы 1 наиболее выраженными бактерицидными свойствами обладают полученные образцы из хитозана, при этом аналог уступает полученному продукту.

На рисунке 1 представлены результаты анализов, так выглядели чашки после термостатирования в течении 24 часов. Можно наблюдать существенные отличия в образовании колоний.

Так же был проведен органолептический анализ полученных образцов пленок. Исследовалось время высыхания пленок хитозана и аналога, экспериментальные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исследование времени высыхания образцов

	Время высыхания жидкого пластыря, мин	Время высыхания хитозанового покрытия, мин
Участник 1	6	5
Участник 2	12	10
Участник 3	10	10
Среднее значение	9,3	8,3

Из таблицы 2 видно, что покупной аналог несколько уступает полученным образцам по скорости образования покрытия на коже. Вместе с тем наблюдаются значительные отличия в запахе. Так, образцы хитозановых покрытий обладают слабовыраженным кислым запахом, а пленки на основе покупного пластыря – выраженным спиртовым. Участникам эксперимента было предложено нанести покрытия на руки (рис. 2), было отмечено, что пленочные покрытия на основе хитозана обладают меньшей эластичностью. Однако хитозановая пленка снижает чувствительность кожи, что является несомненным плюсом при их применении в фармацевтической промышленности.



Рис. 2. Образцы пленочных покрытий на коже (слева – хитозановое покрытие, справа жидкий пластырь)

В ходе работы были подтверждены бактерицидные свойства пленочных покрытий. Так же подтверждено, что режим обработки при 121°C в течение 20 минут не изменяет

качества получаемых пленок, он подобран верно, обеспечивает текучесть раствора, сохраняет свойства образования пленки и не влияет на бактерицидные свойства.

Бактерицидные свойства пленочных покрытий на основе хитозана не уступают бактерицидным свойствам приобретённого жидкого пластыря промышленного производства, что делает получаемое покрытие конкурентоспособным.

Литература

1. Перспективы развития сырьевой базы и переработки промысловых ракообразных в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// cyberleninka.ru/ article/n/ perspektivy- razvitiya- syrievoy- bazy-i-pererabotki- promyslovyh- rakoobraznyh-v- rossii/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-syrievoy-bazy-i-pererabotki-promyslovyh-rakoobraznyh-v-rossii/viewer) (дата обращения: 27.03.2023).
2. Антибактериальная активность хитозана [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// www.ncbi. nlm.nih.gov /pmc/articles/ PMC7114974/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7114974/) (дата обращения: 28.03.2023).
3. МУК 4.2.3591 – 19 Методы санитарно-вирусологических исследований пищевых продуктов и смывов с объектов окружающей среды на предприятиях пищевой промышленности, общественного питания и торговли. Подготовка образцов для исследований с применением методов амплификации нуклеиновых кислот (МАНК). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2020. 14 с.

ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЁННОСТИ ГОЛЛАНДСКОЙ БОЛЕЗНИ ВЯЗОВ (ГРАФИОЗА ИЛЬМОВЫХ) В УЛИЧНОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ НА ПРОСПЕКТЕ НАРОДНОГО ОПОЛЧЕНИЯ

Гайдуков Д.А.^{1,2} (учащийся 11 класса)

Научный руководитель – педагог дополнительного образования Ашик Е.В.²

1 – Санкт-Петербургский городской дворец творчества юных

Эколого-биологический центр «Крестовский остров»,

2 – ЧОУ имени Александра Невского

e-mail: dm_gaidukov@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается динамика распространения голландской болезни вязов (графриоза ильмовых) в уличном озеленении на проспекте Народного Ополчения (г. Санкт-Петербург). Исследование проводилось в течение двух лет. Было исследовано 36 участков на зелёной разделительной полосе вдоль проспекта Народного Ополчения с разным количеством деревьев. В ходе исследования обнаружено 535 деревьев из рода *Ulmus*. Из них только 11 вязов (2,1%) не имели внешних признаков заражения. В 2021 году более чем у половины заражённых деревьев было поражено до 15% кроны. В 2022 году самая распространённая стадия заражения – от 30 до 50% поражения кроны. Исследование, проведённое в 2022 году, подтвердило гипотезу о сохранении выявленной в 2021 году негативной динамики.

Ключевые слова

Вязы, графриоз, голландская болезнь ильмовых, ильмовые, озеленение Санкт-Петербурга.

Графриоз ильмовых поражает вязы, которые чаще всего используются при озеленении Санкт-Петербурга. При отсутствии профилактики этой болезни здоровые деревья вскоре могут быть заражены и погибнуть. Деревья вдоль больших трасс выполняют множество важных функций. Например, они борются с шумом, а также с пылью и загрязнением воздуха, поглощая вредные вещества. Поэтому столь важным является сохранение озеленения вдоль крупных улиц, таких как проспект Народного Ополчения. Сравнение результатов мониторинга 2017 года с современным состоянием позволяет предположить ухудшение ситуации и возникновение новых очагов распространения болезни. В этих условиях необходим постоянный сбор актуальной информации о посадках вязов на проспекте и об их состоянии. Выбор мной данной темы обусловлен итогами предыдущего исследования видового разнообразия парка Александрино, где было зафиксировано наличие значительного числа заражённых вязов. Поэтому целью данной работы стало исследование динамики распространённости голландской болезни вязов (графриоза ильмовых) в уличном озеленении на проспекте Народного Ополчения (Кировский район, г. Санкт-Петербург).

В работе были использованы как эмпирические методы (оценка состояния вязов на всём протяжении проспекта Народного Ополчения в Санкт-Петербурге: пересчёт вязов с признаками графриоза), так и теоретические (анализ и систематизация полученных данных их сравнение с результатами мониторинга в 2008-2017 годах).

В городской среде условия обитания для человека малоблагоприятны. Шум, пыль, загазованность негативно влияют на здоровье. Деревья в городе выполняют как санитарно-гигиенические, так и декоративно-планировочные функции. Одно из важнейших свойств деревьев в городах – шумоподавление. Архитекторы, планирующие жилые районы, специально выделяют места под посадки деревьев вдоль трасс, чтобы шум с дорог не оглушал людей. Расстояние до источника шума варьируется в зависимости от высоты домов. При 5-6 этажной застройке рекомендовано расстояние 70

метров при условии наличия деревьев или 110 метров без них, что доказывает эффективность шумоподавления деревьев.

В благоустройстве современного Петербурга используются различные виды деревьев: клён остролистный (платановидный, лат. *Acer platanoides* L.), липа мелколистная (сердцевидная, лат. *Tilia cordata* Mill.), одними из наиболее распространённых деревьев в городе до недавнего времени были вязы (часто встречается вяз шершавый (ильм горный), лат. *Ulmus glabra* Huds.). М.И. Афонина приводит в пример вяз и липу, которые в лесу живут около 300 лет. В уличном же озеленении продолжительность жизни липы составляет 80 лет, а у вяза 45 лет [2, с. 26]. Вяз – быстрорастущее и долговечное растение, иногда достигающее до 30-40 метров в высоту. Он газоустойчив, тенелюбив и морозостоек. Высаживают эти деревья в уличных придорожных насаждениях, аллеиной высадке. В озеленении ценятся за плотную и тенистую крону, ровный ствол, отсутствие корневых отпрысков. Главная проблема вязов в Петербурге, актуальная и для Кировского района, состоит в том, что, как и другие ильмовые, они часто погибают из-за графิโอ́за (голландской болезни вязов).

Графиоз – опасное сосудистое заболевание деревьев. Заболеванию подвержены и европейские, и азиатские виды вязов. Наиболее восприимчив вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), который как раз распространён в Петербурге, наряду с также довольно восприимчивым к заболеванию вязом шершавым (*Ulmus glabra* Huds.). Наиболее устойчивым считается вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.). Чаше гибнут деревья возраста 10-40 лет, хотя болезнь способна поражать вязы любого возраста. Возбудителем голландской болезни является гриб Офиостома вязовая. (*Ophiostoma ulmi* Nannf. с конидиальной стадией *Graphium ulmi* Schwarz). Заражение деревьев при переносе спор возбудителя происходит с помощью ветра, дождя и насекомых. Кроме того, заражение возможно при контакте корней здорового и заражённого дерева. Наибольший вклад в заражение вязов вносят жуки заболонники. Наиболее активные переносчики: разрушитель (*Scolytus scolytus* F.), струйчатый (*Scolytus multistriatus* Marsham), реже — пигмей (*Scolytus rugmaeus* F.) «Быстрота распространения голландской болезни, образование очагов и их рост зависят от численности заболонников. Радиус разлёта заболонников не превышает 400 м, а чаще он достигает лишь десятков метров», – пишет И.Г. Семенкова [3, с. 259-260]. Жаркое тёплое лето способствует наиболее быстрому распространению графิโอ́за. Заболевание приводит к гибели растения, но с разной скоростью.

Самое заметное проявление болезни – усыхание кроны и скручивание листьев. Цвет скрученных листьев может остаться зелёным, но чаще приобретает светло-коричневую или рыжую окраску. Усыхание кроны происходит от верхушки дерева вниз по стволу. Признаком поражения вязов также являются личиночные ходы ильмовых заболонников на голом стволе (см. Приложение 2). Данные признаки обнаруживаются при визуальном осмотре дерева. Более сложно выявляемым признаком является появление темных колец на спиле ствола или ветвей.

Выделяют две формы болезни: острую и хроническую. Острая форма отличается быстрым отмиранием деревьев. Дерево погибает за месяц или за одно лето. Из-за быстрого усыхания дерева цвет листьев часто не успевает измениться и остаётся зелёным. При хронической форме, которая встречается чаще, дерево умирает постепенно, несколько лет. Весной у заражённых деревьев листья распускаются позже и имеют меньший размер. Зачастую присутствуют сухие ветви. Первые заметные признаки графิโอ́за ильмовых проявляются в середине лета. Но наибольшее своё развитие болезнь имеет в середине августа и продолжается осенью до листопада.

Профилактика голландской болезни очень важна, так как заболонники селятся как на сухих, так и на здоровых деревьях, способствуя быстрому распространению спор гриба и возникновению новых очагов. На данный момент способов спасения заражённого дерева не существует, ведь фунгициды и инсектициды дорогостоящие и малоэффективные. Но можно успеть спасти здоровые деревья от заражения. Для этого

применяют санитарные вырубki заражённых деревьев. Основанием для вырубki является поражение более 1/3 кроны вяза или выявление заболонников. При проведении вырубok в первую очередь стоит обратить внимание на возникающие очаги заболевания, так как там количество здоровых деревьев велико и их нужно успеть спасти от заражения.

Важнейшим направлением борьбы с графioзом ильмовых также является поиск устойчивых к болезни видов вязов. В настоящий момент чаще всего высаживается гибрид вязов под названием *Ulmus x resista* (резиста®-вяз) из-за его неприхотливости и устойчивости к графioзу ильмовых. Этот вид уже используется в замещающих посадках на месте вырубok в Санкт-Петербурге. Вяз – второе по распространённости дерево в нашем городе. Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга по результатам мониторинга, проведённого в 2008-2017 гг. был создан портал «Графioз мониторинг» с информацией о заболевании и картой распространения графioза [1].

Материал для моей работы первоначально был собран во второй декаде июля 2021 года на всём протяжении проспекта Народного Ополчения. Для удобства описания вдоль проспекта были выделены участки с посадками вязов; для них осуществлена детальная географическая привязка (указан номер дома). Участки выделялись с опорой на планировку зелёной разделительной полосы, также учитывалось групповое расположение деревьев. На каждом участке проводился полный пересчёт вязов и оценивалось их состояние. В ходе нашего исследования были осмотрены все обнаруженные вязы на проспекте Народного Ополчения на зелёной разделительной полосе, отмечено наличие у них признаков графioза и оценён процент поражения кроны. Повторный осмотр территорий был проведён во второй декаде июля 2022 года. Данные были верифицированы, уточнены границы участков. Зафиксировано, где была проведена вырубka вязов зимой 2021-2022 года. Проведён учёт новых посадок других видов деревьев на разделительной полосе проспекта.

Было исследовано 36 участков на зелёной разделительной полосе вдоль проспекта Народного Ополчения с разным количеством деревьев. В 2022 году было описано 535 вязов. Без признаков поражения выявлено только 11 деревьев (2,1%). По результатам исследования 2021 года эта доля составляла 4,2%. Изменилось и состояние очагов заболевания. Например, около дома 7 количество вязов (2) не изменилось, но увеличились стадии поражения (с 2 и 3 на 3 и 4).

В 2016 году около дома 77 был зафиксирован возникающий очаг, на момент 2021 года этот очаг стал затухающим, в нем было поражено в разной степени 100% вязов. На участке преобладала стадия № 1, однако было отмечено и дерево 6 стадии. Ранее на этом участке было описано 14 деревьев. Сейчас ситуация сильно ухудшилась: сохранилось 4 дерева (1,3 и 5 стадии поражения). Однако на участке присутствуют новые посадки (пять лип), а также густые посадки сирени, которая отчасти решает проблему озеленения данного участка.

На бывшем возникающем очаге в районе угла улицы Подводника Кузьмина (дом 89) ситуация ещё сильнее ухудшилась. Ранее, в 2021 году, на участке было описано 19 вязов, из которых на данный момент присутствуют только 7 деревьев. Остальные были спилены. На данном участке в июле 2022 года преобладали высокие стадии поражения №5-7 (5 деревьев), на вырубку из которых было отмечено 2 дерева.

В 2021 году на участке вдоль домов 93-115 было описано 32 вяза с преобладающей стадией № 1 (12 деревьев). Сейчас же деревьев осталось 22 и чаще встречается стадии №2-3 (12 деревьев). Также увеличилось количество деревьев со стадиями 5,6 и 7. В 2022 году были описаны новые посадки (13 лип, 12 клёнов).

По итогам мониторинга 2016 года очаг вблизи парка Александрино числился как возникающий и занимал небольшую территорию. Но на момент 2021 года это один из самых крупных очагов, количество вязов в котором равно 113, из них процент

заражённых был равен 98%. преобладают стадии № 1 – 58 деревьев, также достаточно часто встречались стадии 5-6 (24 дерева). Во время нашего последнего исследования было описано только 91 дерево. Среди поражённых лидируют стадии № 1 и №2 с показателем в 57 деревьев, на стадии №3 – 16 деревьев. Таким образом, количество деревьев на данном, самом большом участке продолжает быстро сокращаться.

Тенденция по увеличению стадии поражения просматривается и на других участках. Например, на участке около дома 155 количество деревьев (32) не изменилось, но в 2021 году преобладали стадии №1-2 (26 деревьев), а в 2022 – стадии №3-4 (25 деревьев). Аналогично изменилась ситуация около дома 159: преобладание стадий №1-2 (27 деревьев) сменилось преобладанием стадий №3-4 (24 дерева).

В 2021 году на участке рядом с домом 173 было описано 51 дерево, на данный момент из которых осталось 45. Ранее преобладали стадии №1-2 (41 дерево), сейчас же чаще встречаются вязы со стадиями №3-4 (26). Подобным же образом изменился участок около дома 179: в 2021 году в нем насчитывалось 51 дерево, а сейчас присутствуют только 45 из них. Ранее там насчитывалось 7 деревьев без признаков поражения, по результатам исследования 2022 года таких не было обнаружено.

Очаг около дома 185, который имел возникающий характер в 2016 году, по итогам моего прошлогоднего исследования оказался затухающим (100% поражённых деревьев). На этом участке было описано 21 дерево, из которых 14 имели стадию №4-7. Сейчас же ситуация не улучшилась, на участке все ещё преобладают 4-7 стадии. Количество деревьев ожидаемо сократилось до 12 вязов. Ещё 4 дерева помечены на спил. Подсажено всего 8 лип. Сажены летом находились в довольно плохом состоянии. Осень были произведены дополнительные посадки. Состояние данного и соседнего участков на момент зимы 2022-2023.

Около соседнего дома 187 степень поражения деревьев также увеличилась, но сохранилось больше вязов. В 2021 году было 47 деревьев в основном стадий №1-2 (31 дерево), к лету 2022 было насчитано 40 деревьев с преобладанием стадий №3-4 (28 деревьев). Три дерева были отмечены на спил.

А большой очаг, который в 2016 году имел статус «возникающий» (около дома 241), на момент моего исследования имеет статус затухающего очага с 100% заражённых вязов (в 2021 году – 85%). В 2021 году в нем насчитывалось 13 деревьев, из которых 2 имели нулевую стадию, а оставшиеся первую. По итогам исследования 2022 года было обнаружено только 11 деревьев со стадиями с 3 по 7. На этом участке 6 вязов имеют пометки, обозначающие будущую вырубку дерева зимой 2022/2023.

На участке рядом с домом № 245 в 2021 году насчитывалось 8 деревьев со стадиями от 1 по 6, сейчас же ситуация иная: стало 7 деревьев со стадиями 3-7. А на бывшем участке около дома № 249 ранее было 3 вяза, сейчас там этих деревьев нет. Были сделаны новые посадки, однако прижились не все. На участке много пустующих мест для будущих посадок.

Согласно результатам исследования 2021 года, лишь один маленький участок можно было охарактеризовать как участок без признаков заражения (дом 53). Один очаг (дом 249) имел статус действующего очага (33% заражённых деревьев). Остальные участки были охарактеризованы как затухающие очаги с 83-100% количеством заражённых деревьев. Но по результатам исследования 2022 года не было обнаружено действующих очагов. Лишь один был описан как не заражённый очаг, но из-за того, что там всего два дерева, которые были высажены недавно, его можно не учитывать для выявления общей тенденции. Остальные участки имели от 80 до 100% поражённых деревьев (затухающие очаги), из которых 30 участков – 100%.

Наиболее распространённая стадия по итогам исследования 2021 года – №1 – поражение до 15% кроны (53,5%), причём встречалось заражение достаточно молодых деревьев, высаженных в последнее десятилетие. Полностью усохших вязов – 3,6 %. Наиболее распространённая стадия за год наблюдений изменилась с №1 на №3 (23,9%),

также распространены: стадия №2 (21,9%) и №4 (23,7%). Это показывает ухудшение ситуации.

Таким образом, на данный момент распространено поражение от 15 до 70% кроны. Обнаружено 21 полностью усохшее дерево (3,9%). Подсчитано количество вязов, помеченных к вырубке (30 деревьев, 6,4%). Однако мной выявлено ещё 45 деревьев, относящихся к 5-7 стадиям поражения, которые также рекомендованы к вырубке (ещё 8,4%). Карта, составленная по результатам мониторинга 2008-2017 года, оказалась неактуальна, так как на большинстве участков, отмеченных на ней «без признаков заражения», было обнаружено много вязов с различной степенью поражения или вязы уже отсутствуют.

В процессе обследования вязов дополнительно был произведён подсчёт новых посадок на исследуемых участках. Среди посадок преобладают клён остролистный и липа мелколистная.

Часть посадок летом выглядели угнетёнными, стояли практически без листьев. На многих участках остаются большие пустые пространства, требующие дальнейшего озеленения. Около некоторых домов (например, дом 33) озеленение вообще отсутствует. Плановые новые посадки отмечены на проспекте до дома 189. Там преобладают липы и клёны. На последних участках проспекта озеленение достаточно хаотично, много пустых пространств, саженцы разные по размеру, качеству приживаемости и видам деревьев. Вероятно, это связано с различной озеленительной политикой разных городских районов – Кировского и Красносельского.

На основании проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. В ходе исследования на обследованном участке обнаружено 535 деревьев из рода *Ulmus*. Из них только 11 вязов (2,1%) не имели внешних признаков заражения. Полностью усохших деревьев было встречено 21 (3,9%). Самая распространённая стадия заражения – от 30 до 50% поражения кроны.

2. Все исследованные участки, за исключением группы из двух вязов, относятся к затухающим очагам заражения, так как в них отмечено от 80 до 100% заражённых деревьев.

3. Сравнение результатов мониторинга за 2016 год и моей работы свидетельствуют о быстром распространении голландской болезни вязов на проспекте Народного Ополчения. В исследовании 2016 года не отмечено на проспекте затухающих очагов, которые распространены сейчас, что говорит о высокой динамике распространения болезни и недостаточной её профилактики. Появилось много новых очагов заболевания.

4. Сравнение данных, полученных в 2021 и 2022 годах свидетельствует о сильном ухудшении ситуации: если в 2021 году более половины заражённых деревьев относились к стадии №1, теперь эта стадия представлена лишь 14,4% деревьев, а основные отмечаемые стадии – это №2-4.

5. Вырубки в затухающих очагах производятся. Но они уже малоэффективны, так как смысл вырубок в сохранении здоровых деревьев, которых на проспекте осталось очень мало.

Таким образом, исследование, проведённое в 2022 году, подтвердило гипотезу о сохранении выявленной в 2021 году негативной динамики и появлении, вследствие этой динамики, большей доли вязов с более высокими стадиями заражения в сравнении с данными.

Изучение проблемы исчезновения одного из наиболее распространённых в озеленении видов деревьев позволяет предложить несколько направлений её решения. Во-первых, это мониторинг, который необходим для осуществления профилактических мероприятий. При проведении вырубок в первую очередь нужно обращать внимание на возникающие очаги заболевания, так как там количество здоровых деревьев велико и их нужно успеть спасти от заражения. Вырубка на проспекте предпринимается силами управления садово-паркового хозяйства, а также районных администраций и

муниципалитетов. Ситуация осложняется тем, что проспект проходит вдоль территории нескольких муниципалитетов, а сама зелёная разделительная полоса является не муниципальной, а городской собственностью. При этом эта актуальная проблема именно для местных жителей. Исчезновение вязов на проспекте уже заметно увеличило уровень шума и пыли. Фактическая обречённость в скором будущем всех деревьев приведёт через несколько лет к ещё большему ухудшению ситуации. На проспекте возникающих очагов заболевания уже не сохранилось, следовательно, профилактические мероприятия малоэффективны.

Следующее направление – информирование о проблеме. Проведение регулярных зимних вырубок на территории проспекта Народного Ополчения говорит о том, что ситуация на конкретном проспекте отслеживается. Однако результаты общественного мониторинга позволяют взглянуть на проблему глубже, привлечь к ней внимание общественности. Голландская болезнь вязов — серьёзная проблема для всего региона, но в последние годы ей не уделяют достаточного внимания. Похоже, что единственным решением видится вырубка всех вязов в городе. Однако если учесть полезные свойства вяза для городского озеленения, то это решение не очень удачное. Кроме того, часто забывают о восстановлении озеленения после вырубки. При этом показатели озеленения даже в достаточно благополучном Кировском районе города далеки от идеальных. Имеет смысл также информирование местного населения проспекта. У них на глазах каждый год пилят все новые и новые деревья. У людей, которые не знакомы с проблемой, может сложиться впечатление, что местные органы управления идут по самому лёгкому для них пути. Нужно информировать об особенностях заболевания и неизлечимости заражённых вязов, а также о перспективах решения проблемы озеленения участков. Мне, например, как жителю проспекта, это было бы интересно. В процессе исследования я связался с представителями местной общественной экологической организации «Ульянка Экология» с целью выяснить, нет ли перспектив решения замеченной мной проблемы. К сожалению, у организации пока нет планов в этом направлении.

Я вижу решение проблемы, прежде всего, в смешанных посадках. На отдельных наиболее заражённых участках необходимо продолжать осуществлять высадку других видов деревьев. На основе моего исследования качеств разных деревьев, я бы предложил липу мелколистную или клён остролистный. На участках с особо активным движением и автомобильными заторами можно рекомендовать и более плотные посадки, которые могут создаваться, например, высадкой клёна татарского. Этот вид тоже устойчив к городским загрязнениям, морозоустойчив, создаёт плотную зелёную “стену”, но достаточно медленно растёт.

Однако полностью отказываться от посадок вязов в городе в целом, на мой взгляд, не стоит, так как вяз очень неприхотлив и терпим к нагрузкам, которые создаёт уличное движение, очень оживлённое именно на проспекте Народного Ополчения. Поэтому ещё одно решение – высадка устойчивых к графิโอу вязов. Следовательно, перспективным направлением борьбы с графиейом ильмовых является поиск устойчивых к болезни видов вязов. В настоящий момент чаще всего высаживается гибрид вязов под названием *Ulmus x resista* (резиста®-вяз) из-за его неприхотливости и устойчивости к графиюу ильмовых. Этот вид уже использовался в замещающих посадках на месте вырубок в Санкт-Петербурге. Однако мировые исследования, направленные на создание устойчивых к графиюу и при этом пригодных для городского озеленения видов вязов только в самом начале пути. Необходимо, например, адаптировать устойчивые к графиюу гибриды к разным климатическим условиям, сделать их разведение более простым, дешёвым и массовым. Мне бы очень хотелось этим заняться в будущем, так как я планирую заниматься биотехнологиями профессионально, получив соответствующее образование.

Литература

1. Портал «Графиоз мониторинг» – мониторинг голландской болезни вязов. Ресурс Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга. Режим доступа: <https://grafioz2.myopencity.org/site/pages/home> (дата обращения: 01.12.2021).
2. Афолина М.И. Основы городского озеленения: учебное пособие. М.: МГСУ. 2010. 208 с.
3. Семенкова И. Г. Фитопатология: Учебник для студ. вузов / Семенкова И.Г., Соколова Э.С. М.: ИЦ Академия. 2003. 480 с.

ПЫЛЕПОДАВИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ганева Д.С.¹ (магистрант 1 курса)

Научный руководитель – д.х.н., профессор Дягилева А.Б.¹

1 – ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна

e-mail: ganeva.dasha@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР как этап магистерской диссертации по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Аннотация

Рассмотрено принципиальная возможность применения природных композиций на основе лигносульфоната технического и гуминовых веществ в качестве пылеподавителей для обслуживания урбанизированных территорий. Применение этих реагентов основано на их нетоксичности, экологичности, а также существенной эффективности по сравнению с традиционными реагентами в виде воды. Показатели поверхностного натяжения для исследованных препаратов не существенно различаются, преимущество по этому показателю имеет реагент на основе природной воды с лигногуминовыми веществами.

Ключевые слова

Урбанизированная территория, пылеподаватели, природные полимеры, гуминовые вещества, лигносульфонаты технические.

Глубокая и прогрессирующая урбанизация территорий сопряжена со значительной запыленностью мест компактного проживания населения. Причин, связанных с значительной запыленностью атмосферы крупных мегаполисов, достаточно много. Наиболее частой причиной, обсуждаемой в литературе, выделяется процесс интенсивной эксплуатации автомобильного транспорта и дорог. Хозяйственная деятельность предприятий и строительная индустрия также занимает в этом списке значимое место. В качестве механизма увеличения концентрации взвешенных пылевых частиц рассматривается преимущественно износ дорожного полотна и шин, причем частицы в данном случае образуются как минерального, так и органического состава. Тенденция увеличения парка автотранспорта в крупных городах приводит к прогрессированию данного процесса. В арсенале обслуживания этих территорий рассматриваются различные технологии и мероприятия по снижению пылимости дорожного полотна. Предпочтение отдается системам орошения поверхности водой и как правило это вода питьевого качества из систем коммунального водоснабжения, что увеличивает стоимость коммунальных платежей в городе. Однако от этого отказаться нельзя, можно только оптимизировать этот процесс.

В работе [1] отмечается негативное влияние пыли как эффект снижения жизнеспособности растений и животных при накоплении пылевых частиц на поверхности более 58 кг/га·мес. Пыль при вдыхании вызывает острые заболевания верхних дыхательных путей. Накопление в воздухе пыли органического происхождения грозит опасностью возгорания и создания угрозы взрывоопасности. Наличие пыли в воздухе негативно влияет на состоянии техники, вызывает сбои в системе управления, что может приводить к повышенной аварийности и риску для окружающих. Наиболее мелкие частицы, размер которых не превышает 10 мкм аспирируются. Более крупные частицы способны быстро оседать в воздушной среде и их количество во вдыхаемом воздухе сравнительно невелико. Установлено, что на слизистой оболочке дыхательных

путей задерживаются пылинки размером 5-10 мкм, причем пылинки с размером ≤ 5 мкм проникают в авеолы.

Кроме техногенного происхождения пыли на территории жилой застройки можно выделить и природные источники ее происхождения, к ним следует отнести почвы различного происхождения, которые используются для отсыпки газонов при перевалке плодородного грунта при освоении территории. Там, где естественные почвы не закрыты, отмечается перенос этих частиц с определённой пороговой скоростью. Однако на территории мегаполисов доминируют техногенные процессы пылеобразования, которые заслуживают более значимого внимания. Они определяют антропогенные факторы при формировании качества среды обитания населения. Особое внимание заслуживает дорожная пыль, которая содержит частицы до 50 мкм и в большинстве случаев доминирующая часть (50 – 90 %) способна при неблагоприятных метеорологических условиях подниматься вверх потоками ветра. Для ряда городов запыленность воздуха от промышленных предприятий существенно зависит от типа топлива и применяемых технологий производства. До настоящего времени не все промышленные объекты оснащены эффективными пылеулавливающими установками. Следует отметить, что чем меньше размер частиц, тем более сложная система удаления этих примесей требуется. Свободно витающие мелкие частицы легко переносятся на большие расстояния от предприятий и поднимаются на значительные высоты. В качестве примера на рис. 1 приведено скопление пылевых частиц, образующихся в течении 24 часов с момента зачистки поверхности в естественных условиях эксплуатации пластиковых пакетов в весенний период времени при влажности воздуха 59% и температуре 11-17⁰С и скорости ветра 1 м/с преимущественно западного, перпендикулярного по направлению к окну. Стеклопакеты стандартного исполнения для общественных зданий, которые имеют достаточно эффективную систему уплотнение и изоляции от примесей. Данный объект расположен в глубине квартала на расстоянии от магистрали с интенсивным движением более 250 м и на высоте 16 м.



Рис. 1. Распространение пыли непроизводственного происхождения в общественном здании при эксплуатации стандартного стеклопакета

Как видно из представленного рисунка 1, адсорбция пыли на поверхности рамы имеет различную плотность закрепления частиц. В углублении концентрация более значимая и накапливает более крупные частицы. При исследовании под микроскопом образца, снятого на стекло в капле дистиллированной воды (рис. 2.) мелких частиц на единицу поверхности по количеству больше и составляет 63% от общего счетного количества дисперсных частиц.



Рис. 2. Микроскопическое исследование пыли

Для оценки концентрации взвешенных веществ в приземной зоне используют гравиметрический метод, который основан на расчете концентрации, задержанных частиц на фильтры из ткани ФПП. На основе измеренной массы частиц и объема отобранного воздуха определяют концентрацию. Эффективность мероприятий по пылеподавлению оценивается только расчетным путем и прямых методов оценки этого показателя сегодня с учетом счетной концентрации не имеется по аналогии принципа поточной ультрамикроскопии. Кроме того, частицы после обработки реагентами приобретают дополнительные электроповерхностные свойства при контакте с пылеподавителями и это требует дополнительного изучения. Предварительные исследования показали, что они могут закрепляться на любой поверхности, причем при контакте с почвой формируются как позитивные, так и негативные свойства. Эти эффекты в традиционных методиках не рассматриваются, поэтому они требуют некоторой корректировки и доработки по оценке счетной концентрации частиц в приземной зоне.

В связи с этим к решению этих техносферных проблем необходимо подходить комплексным образом при реализации обслуживания урбанизированных территорий. С одной стороны это технологические мероприятия и физико-химическое взаимодействие частиц с новыми пылеподавителями, а с другой стороны – контроль концентрации загрязняющих пылевых частиц новыми методами, которые позволяют оценить процесс их агрегации и закрепления в поверхностном слое. Наша часть работы направлена на разработку композиций для обслуживания территорий и определение механизма взаимодействия частиц различного происхождения.

Традиционно общепринятым способом пылеподавления является орошение проблемной территории путем распыления воды стационарными и мобильными установками. При использовании таких решений отмечаются преимущества в части простоты и экономичности. Однако эффект снижения пылимости остается краткосрочным и не решает задачу по регулированию качества воздуха в приземном слое. В последнее время в научной литературе обсуждают возможность применения новых композиций, содержащие полимерные реагенты. На практике используются для пылеподавления различные связывающие реагенты, такие как поливинилакриловый сополимер, хлористый магний, хлористый кальций, битумные эмульсии, лигносульфанаты и ряд других компонентов [2, 3], но они не решают полностью задачу по снижению риска здоровью населения в зоне влияния пылевых частиц.

В нашей работе был проведен анализ литературы, где рассматривались мероприятия по пылеподавлению с использованием в качестве реагентов, полученных на основе полимеров, преимущественно из воспроизводимого растительного сырья.

Гуминовые вещества – тёмноокрашенные природные высокомолекулярные органические разветвлённые азотсодержащие гетерополимеры арилгликопротеидной структуры. Им свойственно отсутствие постоянства химического состава и молекулярной массы, они способны участвовать в процессе пространственной самоорганизации. Эти вещества – являются нетоксичными соединениями, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76, относятся к IV классу опасности. Они в живых организмах не кумулируются, не имеют местного раздражающего эффекта на коже, не обладают аллергенными и мутагенными свойствами.

Наиболее широко представлены гуминовые препараты, которые входят в состав биологически-активных добавок. На основе способности хелатообразования гуминовые вещества обладают дезинтоксикационным эффектом, поэтому их используют в качестве энтеросорбента при интоксикациях. Таким образом, по этим параметрам они вполне подходят в качестве пылеподавителей в жилой зоне с регулирующим эффектом качества окружающей среды.

Гуминовые кислоты относятся к достаточно распространенным природным биополимерам, обладающими уникальными свойствами, функциями, в связи с чем для них рассматриваются разнообразные области применения. Например, в растениеводстве и животноводстве как стимуляторы роста, в металлургии для изготовления составов для точного литья, а также в нефтедобывающей промышленности в качестве буровых растворов. Они нетоксичны, их молекулярное строение характеризуется исключительным разнообразием функциональных групп и структур, способных к различным химическим и биохимическим превращениям, к акцепторно-донорным и гидрофобным взаимодействиям. Эти свойства востребованы для организации комплексов при взаимодействии с различными частицами, в том числе с пылевыми загрязняющими компонентами при обслуживании магистралей.

Для борьбы с пылью на автомобильных лесовозных дорогах все большее распространение находят лигносульфонаты технические (ЛСТ), представляющие собой разнообразные кальциевые, натриевые, аммониевые солилигносульфоновых кислот. ЛСТ – побочные продукты лесохимической промышленности при производстве целлюлозы сульфитным способом. Перспективность их применения, по мнению авторов [3], определяется дефицитом традиционных вяжущих компонентов, достаточности сырьевой базы для получения продуктов на их основе. Дополнительные преимущества связаны с рациональностью использования ресурсов и обеспечением охраны окружающей среды при использовании побочных продуктов.

Лигносульфонаты технические являются малотоксичным продуктом, не обладающим раздражающим и аллергизирующим действиями.

Лигносульфонаты имеют высокую поверхностную активность, что позволяет использовать их в промышленности и применяется как крупнотоннажный компонент при производстве бетона и буровых растворов, для производства связующих компонентов, красителей и даже для производства пищевого ванилина.

Первые же исследования с производными лигносульфонатов показали, что основным недостатком этих компонентов как обеспыливающих материалов является их легкая растворимость в воде, вследствие чего они относительно быстро вымываются из покрытия. Это свойство ограничивает их применение в качестве материалов для укрепления грунтов и обеспыливания покрытий в чистом виде [3], но не исключает возможность применения в комплексе с другими материалами [4]. Однако при обработке таким образом увеличивают класс опасности нового реагента.

Сама обработка ЛСТ способна уменьшать пылеперенос частиц, но при этом не снижает запыленность достаточно эффективно, отмечается лишь слабое

пылеулавливание, незначительно лучше воды [5]. Однако если правильно составить композиции с использованием золь-гель технологий с ЛСТ, то свойства композиции можно изменить для целевого использования, в том числе для пылеподавления [4].

Анализ литературы и рынка реагентов для пылеподавления показал, что использование природных полимерных реагентов в качестве пылеподавателей крайне мало. Чаще всего применяется вода, что имеет краткосрочный характер и малоэффективна для урбанизированных территорий.

Рассмотренные в роле пылеподавателей производных лигнина имеют больше перспектив в реализации мероприятий по регулированию приземной концентрации пыли, они более экологичные и могут способствовать дополнительным эффектам при регулировании и формировании стока с урбанизированных территорий. Это требует дополнительных исследований и контрольных испытаний, на что и направлена дальнейшая работа.

Безопасность и токсичность данных реагентов является определяющим показателем качества новых реагентов. Ряд новых композиций были исследованы на такие показатели как рН системы, цветность, зольность, сухой остаток и поверхностное натяжение. Динамика изменения значения рН при хранении приготовленных композиций показывают, что происходят физико-химические процессы деструкции органических веществ, однако эти изменения не существенно влияют на другие показатели качества. Из результатов исследований следует, что природная вода с лигноуミノвыми веществами (рис. 3.) наиболее подходит по показателям поверхностного натяжения. Для наглядного представления сравнительных свойств образцов результаты исследования приведены на лепестковой диаграмме, которая показывает, что срок хранения влияет на поверхностное натяжение композиций, а значит следует ожидать и различных эффектов пылеподавления.

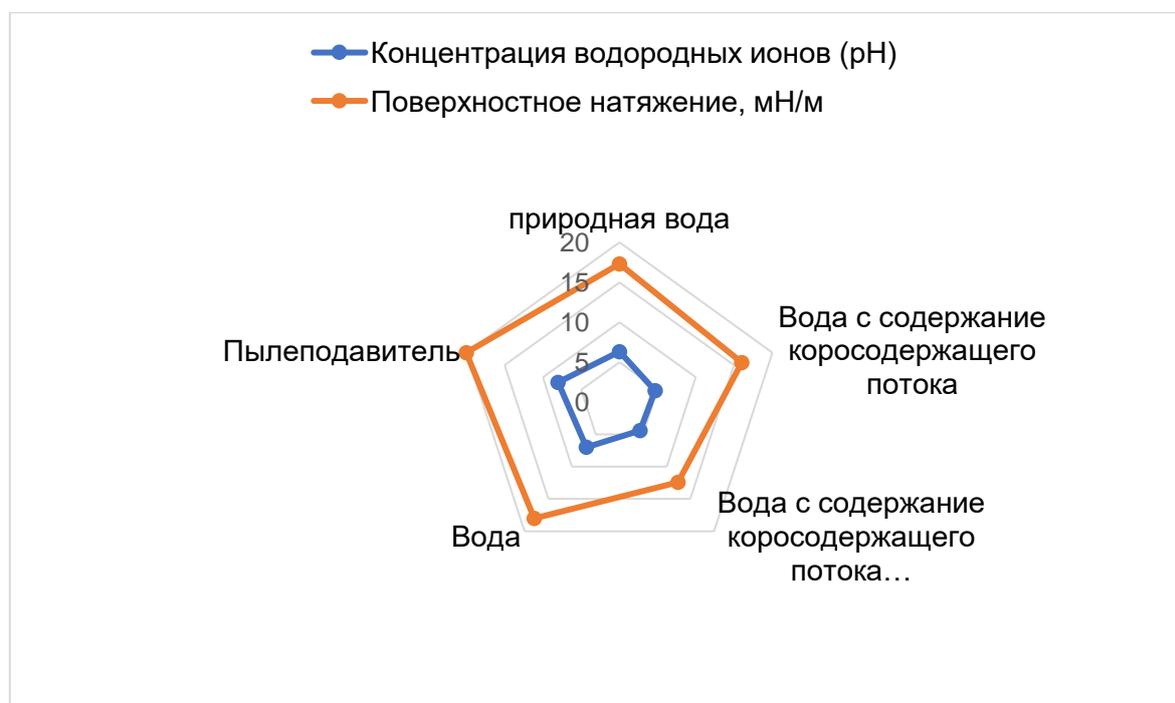


Рис. 3. Физико-химические свойства производных лигнина в качестве смачивателя-пылеподавателя

Таким образом, применимость реагентов для обслуживания территории основано на их нетоксичности по отношению к биоте и высшим растениям. Лигноуミノвые композиции на основе природной воды являются более эффективными по сравнению с водой за счет потенциальной возможности производных лигнина к самоорганизации и

взаимодействия с поверхностью. Показатели поверхностного натяжения для исследованных препаратов не существенно различаются, преимущество по этому показателю имеет реагент на основе природной воды с лигногуминовыми веществами.

Литература

1. Шаров Н.А., Дудаев Р.Р., Крищук Д.И., Лискова М.Ю. Методы пылеподавления на угольных разрезах крайнего севера // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. №2(19). С. 184–200.
2. Комонов С.В., Комонова Е.Н. Ветровая эрозия и пылеподавление. Курс лекций. Красноярск: Изд-во СФУ. 2008. 192 с.
3. Ехлакова Н.Г. Применение сульфитно-бардяных концентратов в дорожном строительстве // Тр. совещ. по теоретическим основам технической мелиорации грунтов. М.: Изд-во МГУ. 1961. С. 306-315.
4. Патент на изобретение RU 2658907 С2. Дягилева А.Б., Смирнова А.И., Присмакова А.Е., Дягилева Д.В. Способ модификации лигнина путем золь-гель синтеза с минеральными компонентами.
5. Самойлов В.В. Анализ результатов исследования пылеподавителя агломерирующего гидросорбционного по параметрам эффективности / Самойлов В.В. Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. 2021. №4. С. 90–93.

GRAVITATION AS A SOURCE OF ENERGY STORAGE

Gimatdinova A.G.¹

Supervisor – prof. Molodkina N.R.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: g_alsu1999@mail.ru

nrmolodkina@itmo.ru

Annotation

This paper is aimed at studying and the possibility of using gravitational batteries for storing energy obtained through renewable energy sources. Renewable energy sources, while a promising technology, are still experiencing difficulties in energy storage. During this research, large and small examples of gravity installations were studied, types were describing, and conclusions were drawn on the most effective in terms of ecology and economy. Considered major projects of companies such as Energy Vault, Gravitricity, Gravity Power made it possible to draw up a decision tree, the algorithm of which allows to select the best appropriate technology for the geographical conditions of the environment and specific requests.

Keywords

Gravitation, energy storage, green energy, gravitational potential energy, hydraulic lifting.

Introduction

This research will focus on the evaluation of energy storage solutions such as batteries. Starting with a description of currently available energy storage systems and progressing through a brief history of gravitational force usage supported by terms, further research will focus on the application of small- and large-scale gravitational storage systems, culminating with a comparison of the described different technologies and their efficiency.

There are several types of energy storage devices available, such as lead acid or lithium-ion batteries. However, they are not perfect from an ecological standpoint, since they have issues with disposal, efficiency, and charging time. Although we have many renewable energy sources, such as solar, wind, and tidal, there are still certain restrictions to their use. Resources are free; however, they cannot be used in all circumstances and are not storable. To solve all these issues, there is a gravity battery. It can store electrical energy in the form of potential energy, which can then be transformed back into kinetic energy and used to power a generator to create electrical energy when needed [3-5].

The study subject aims to take the energy conservation system to a new level by utilizing accessible technologies such as gravity systems. Let us begin our investigation of the subject with history. In early 1656 the pendulum clock was invented by Christiaan Huygens. That was the earliest device, which is used gravity to power mechanical movement. The clock was powered by the force of gravity using an escapement mechanism, that made a pendulum move back and forth. Since then, gravity batteries have advanced into systems that can use the power of gravity and turn it into electricity for large scale energy storage. The first gravity based pumped-storage hydroelectricity (PSH) system was developed in 1907 in Switzerland. As of 2019, the total world capacity for PSH is 168 GW [1].

By summarizing the abovementioned, it possible to identify the primary issue with present renewable energy sources. This is how the problem can be stated. Green energy has found applications in a variety of fields and has enhanced its competitive position in comparison to traditional fossil fuels. On the other hand, it is required to create circumstances and carefully pick the geographical location of future installations for them to be effective. The issue is that such energy sources are volatile and difficult to store for days without the proper meteorological conditions. Gravity energy storage systems chosen as a scope for precise study in this paper.

Materials and methods

Description of the study area. All gravity batteries use the same physical properties to generate energy, but design and structure can differ. Gravitational potential energy is the work required to move an object in the opposite direction of Earth's gravity, expressed by the equation 1.

$$U = mgh, \quad (1)$$

where U is gravitational potential energy, m is the mass of the object; g is the acceleration of the object due to gravity ($9.8 \text{ m (s}^2\text{)}^{-1}$ on earth); h is the height of the object.

Using the work-energy principle, the total amount of energy generated can be expressed by the equation 2.

$$\Delta E = mg(h_1 - h_2), \quad (2)$$

where E is the total amount of energy generated; h_1 and h_2 represent the initial and final heights of an object.

The change in energy is exactly proportional to a mass's vertical displacement; hence, the higher a mass is lifted, the more gravitational potential energy is stored. The change in energy is also directly proportional to an object's mass, the greater the mass, the greater the change in energy.

A mass is displaced or raised in a gravity battery to create gravitational potential energy, which is then converted into electricity. Gravity batteries store gravitational potential energy by raising a mass to a certain height with the help of a pump, crane, or engine. After the mass is elevated, it stores a specific amount of gravitational potential energy dependent on its mass and how high it was lifted. The gravitational potential energy that has been accumulated is subsequently transferred into energy. The mass is reduced to its original height, causing a generator to spin and produce power.

There are different construction types of GESS, which includes: Tower GESS, Shaft GESS, Piston GESS and others, such as Linear Electric Machine-Based GESS, Mountain Cable-Car GESS [2]. In this paper three first types of GESS only considered.

Pumped-storage hydroelectricity (PSH) or pumped hydroelectric energy storage (PHES) is a type of hydroelectric energy storage applied for load balancing in electric power networks. The technology stores energy as gravitational potential energy of water that is pumped from a lower elevation reservoir to a higher elevation reservoir. Pumped-storage hydroelectricity saves energy from intermittent sources (such as solar and wind) and other renewables, as well as surplus power from continuous base-load sources (such as coal or nuclear). PSH has an energy efficiency ranging from 70 to 80%, with some publications reporting up to 87% (Hawaiian Electric: Energy Storage, 2022). PSH does have certain downsides, like the need for water and geographical height. As a sense, ideal locations are likely to be in hilly or mountainous regions, and maybe in natural beauty zones, rendering PSH vulnerable to social and ecological challenges. Figure 1 shows the pumped storage facility at Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant in Tennessee, US.

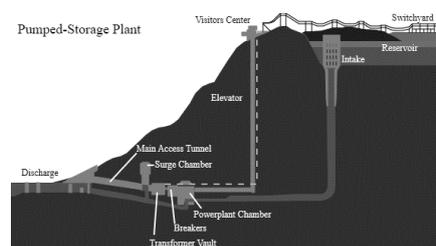


Fig. 1. Pumped storage facility at Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant in Tennessee, US

Tower GESS. Equipment used in Tower GESS, what is clear from its name, are weights, transmission machines, weight-supporting tower, generator units, and rope. Lifting and stacking weights via the tower completes the electrical and mechanical energy transfer, as depicted on figure 2 – Energy Vault’s company unit. Energy Vault is a global energy storage firm established in Switzerland that specializes in long-duration energy storage systems based on gravity and kinetic energy. The principal product of Energy Vault is a gravity battery that stores energy by stacking heavy blocks made of composite material blocks (fig. 2, a) into a tower and catching potential energy in the elevation gain of the blocks. When there is a strong demand for power, the crane lowers these blocks to the ground, with the motors acting as generators and supplying electricity to the grid (fig 2, b). In a similar line, Energy Vault has created a six-arm crane (fig. 2, c) that can hoist 5,000 concrete blocks weighing 35t each up and down a 33-story skyscraper, storing gravitational potential energy when elevated and releasing it when lowered.

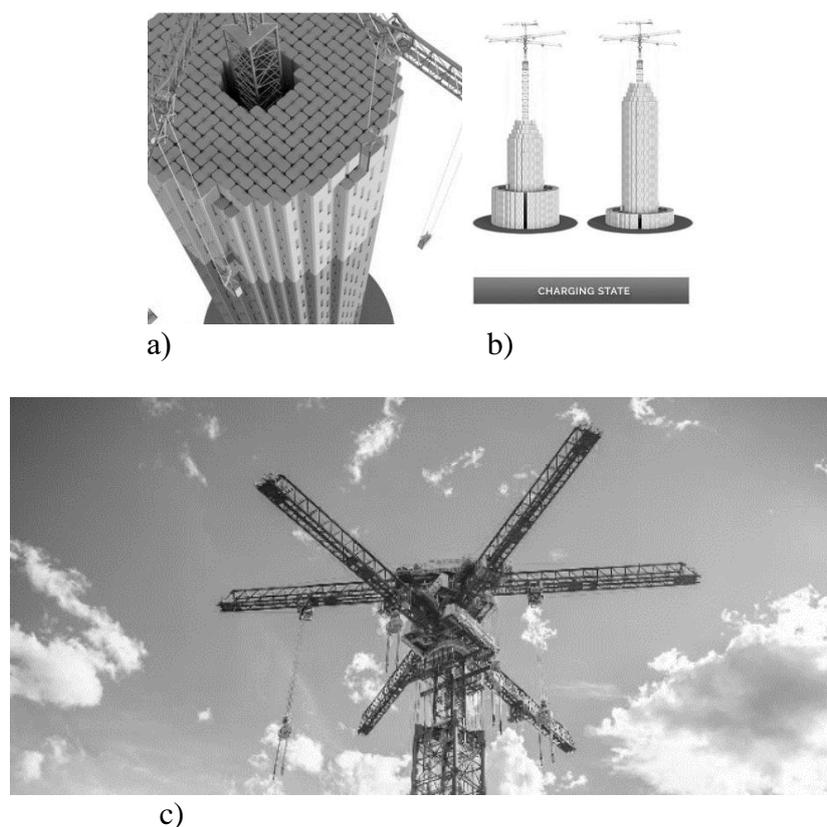


Fig. 2. Energy Vault’s company unit

The following are the system characteristics and attributes:

1. 35 MWh nominal energy capacity and 4 MW peak power; may be modified as needed.
2. Millisecond reaction ramp time with 100% full power obtained in 2.9 seconds, allowing important Ancillary Services to be supported (spinning reserve, frequency response, black start, etc.).
3. A roundtrip efficiency of 90%; zero storage loss over time with no energy waste; a lifespan of more than 30 years with limitless cycles.
4. Disruptive economics: 50% cheaper capital \$ kWh-1 than existing systems, 80% lower when system life, operating, maintenance, and replacement costs are considered in on a levelized cost of storage (LCOS) basis.
5. Environmental sustainability of all materials throughout the product’s lifetime with waste materials that would otherwise be landfilled (Energy Vault, 2022).

The gravity storage units built by Energy Vault cost roughly \$7 million to \$8 million to build and have a lower levelized storage cost of power. In October 2021, Energy Vault announced a US energy storage partnership with DG Fuels to deliver 1.6 GWh of gravity storage capacity to support sustainable aviation fuel projects, with the first project in Louisiana, US, built for 500 MWh and scheduled to open in mid-2022 [3]. Energy Vault inked a deal with Chinese Tian-Ying in January 2022 to construct a 100 MWh T-SGES demonstration project in Rudong, Jiangsu Province, with ambitions to finish and commercialize the project by 2022 [2].

Shaft GESS required a vertical mine shaft, as well as other equipment like, weights, motor-generator units, transmission equipment and ropes what is shown on the figure 3. By moving the weight up and down through the vertical shaft, the technical route converts electrical energy to mechanical energy: when there is excess electrical energy, the motor is driven to lift the weight, converting the electrical energy to the gravitational potential energy of the weight in the shaft, and vice versa. Shaft GESS storage capacity is calculated using equation (3):

$$ES = mg\eta S (Hs - hM), \quad (3)$$

where ES is the storage capacity; ηS is the output efficiency; Hs is the depth of the shaft; hM is the height of the weight.

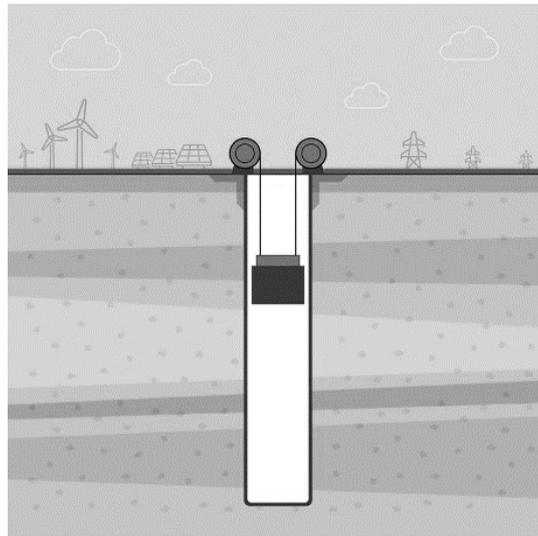


Fig. 3. Schematic diagram of shaft GESS

In contrast to the Tower GESS, which requires multiple mass blocks, vertical shaft gravity storage technology just requires one mass block. As a result, according to the energy storage equation, a deep enough vertical mine shaft is required to improve the storage capacity of Shaft GESS [2].

The Gravitricity company, located in Scotland, uses weight configurations weighing up to 12,000 tons in a deep shaft hung by a few cables, each of which is equipped with an electric winch capable of lifting its portion of the weight. By lifting the weights, electricity is stored as potential energy. The weights are then lowered to operate a generator, generating power. The technique has been demonstrated in 2020 to attain maximum power in less than one second and has a full-scale efficiency anticipated to be between 80% and 90%. Gravitricity may store extra energy and release it as needed, either in quick, brief bursts or over a lengthy period. Each unit can be configured to produce between 1 and 20MW peak power, with output duration from 15 minutes to eight hours. For example, a 10 MW, 25 MWh system could deliver full power (10MW) for 2.5hrs, or 5MW over five hours (Gravitricity, 2022). The Gravitricity system will go from zero to full power in less than a second – which can be extremely valuable in the frequency response and back-up power markets. According to the data provided by the

Gravitricity company, comparison with different companies have made and illustrated on the figure 4.

Gravitricity technology has a distinct set of features:

- a) 50-year design life with no cycle limit or degradation;
- b) response time - less than one second from zero to full power;
- c) efficiency - between 80 and 90%;
- d) versatile - may run slowly at low power or quickly at high power;
- e) simple - easy to install near networks;
- f) cost efficient - levelized prices much below lithium batteries;
- g) size of weights - up to 24 500-ton weights. So, 12,000 tonnes total per system.

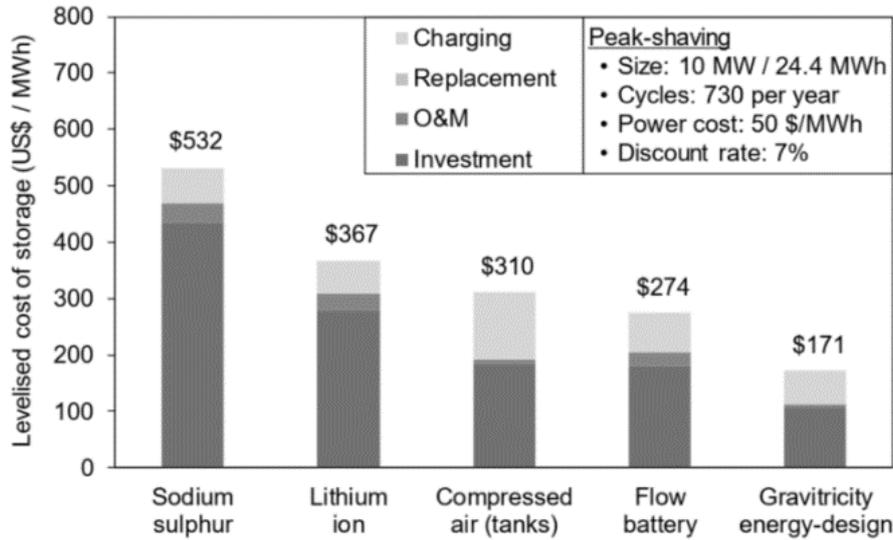


Fig. 4. Comparison of Gravitricity system with other energy storages (summarised data from the company)

Piston GESS requires gravity piston, generator unit, pump-turbine unit, sealed container, transmission equipment, as well as water medium for successful operating. The gravity piston is installed in a hole under the surface in a water-filled sealed tank. The technical path directs the flow of water via the motor and pump-turbine unit, which drives the gravity piston to complete the electrical and mechanical energy conversion. When there is sufficient electrical energy, the pump is operated to press water into the bottom of the gravity piston, causing the gravity piston to rise. Thus, the electrical energy of the gravity piston is turned into gravitational potential energy and vice versa Gravity Power LLC, 2022. The piston GESS capacity is calculated using equation (4), which is comparable to the Shaft GESS technique:

$$E_P = \Delta\rho\pi r^2 h_P g \eta_P (H_c - h_P), \quad (4)$$

where E_P is the energy storage capacity; r is the radius of the gravity piston; h_P is the height of the gravity piston; η_P is output efficiency; H_c is the height of the container.

The Gravity Power company was analysed as an example of piston GESS. An American company is working on a device that stores a vast volume of water underground and utilizes that water to move a massive piston up and down to store energy. A piston weighing more than 8 million tons is required to store 6.4 gigatonnes of energy in this arrangement, which is shown on the figure 5. The Gravity Power Plant functions as a Water Battery. A deep shaft is built using mining industry standard technologies. In the shaft, a reinforced rock piston is constructed. The water is added and capped, resulting in a closed loop system that requires no further water. Thus, the Gravity Power technology is by far the most cost-effective.

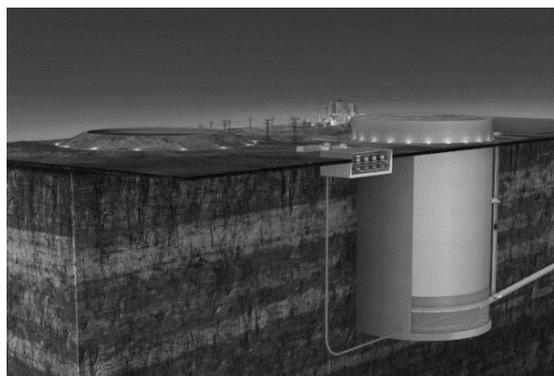


Fig. 5. Gravity Power system unit

LCA and economical aspects

GESSE outperforms other systems in terms of LCA analysis since it is regarded a more ecologically friendly option with less site-specific technology. If such benefits are reflected in the evaluation, this will almost certainly improve the economic performance of this system. Mechanical energy storage, such as GES and GESH, is most affected by changes in the discount rate. This is owing to these systems' technological qualities, which include construction time and longevity. The discount rate has a little impact on other methods of energy storage, such as batteries. The projected LCOE is heavily influenced by the price of energy. The latter ranges from 0.087 € per kWh to 0.137 € per kWh for 1€ per kWh and 5€ per kWh energy tariffs, respectively [4]. Table shows the economic efficiency of different gravity storage systems.

Table

Gravity storage systems' efficiency

Name	Turbine efficiency, %	Usage time, years	Cost, \$	Capacity, MW	Safety	Location adaptation	Technology maturity
PSH	90	40	165 per kWh	22,000	Good	Normal	Projects
Energy Vault	88-92	∞	7-8 mln for the whole system	Up to 80,000	Poor (EV I) Good (EVRC)	Good	Projects
Gravitricity	80-90	25	1.25 mln per the whole system	0.25	Good	Poor	Prototype
Gravity Power	80	40	100 per MWh	200 or 800	Good	Normal	Concept

Results and discussion

Figure 6 shows a proposed diagram for choosing a particular technology among other gravitational energy storage systems that can be used to make the right decision. The diagram is a visual result of the work done comparing the various systems presented in this article. The decision tree principle is presented as follows: "feasible decision problem" is defined as a problem that can divide an existing set into two non-empty sets. Although the decision tree is not unique depending on the actual decision problem. Each valid decision problem consists of two branches (Yes and No), one of which is the "dominant branch". A "dominant branch" is one whose elements are suitable for another branch. For example, to solve the problem "Does

this require specific geographic conditions", the "No" branch is the dominant branch, because even if there are suitable geographic conditions, it is possible to consider a technical route that does not require specific geographic conditions. When there are no specific geographical conditions (such as mines), it is not possible to use a geographically specific route. Since there are several levels of nesting in the admissible solution problem, the complexity of the "dominant branch" analysis grows exponentially. Therefore, the number of correct decision problems should be as small as possible to make the decision tree as simple as possible. The simplest decision tree found is shown below.

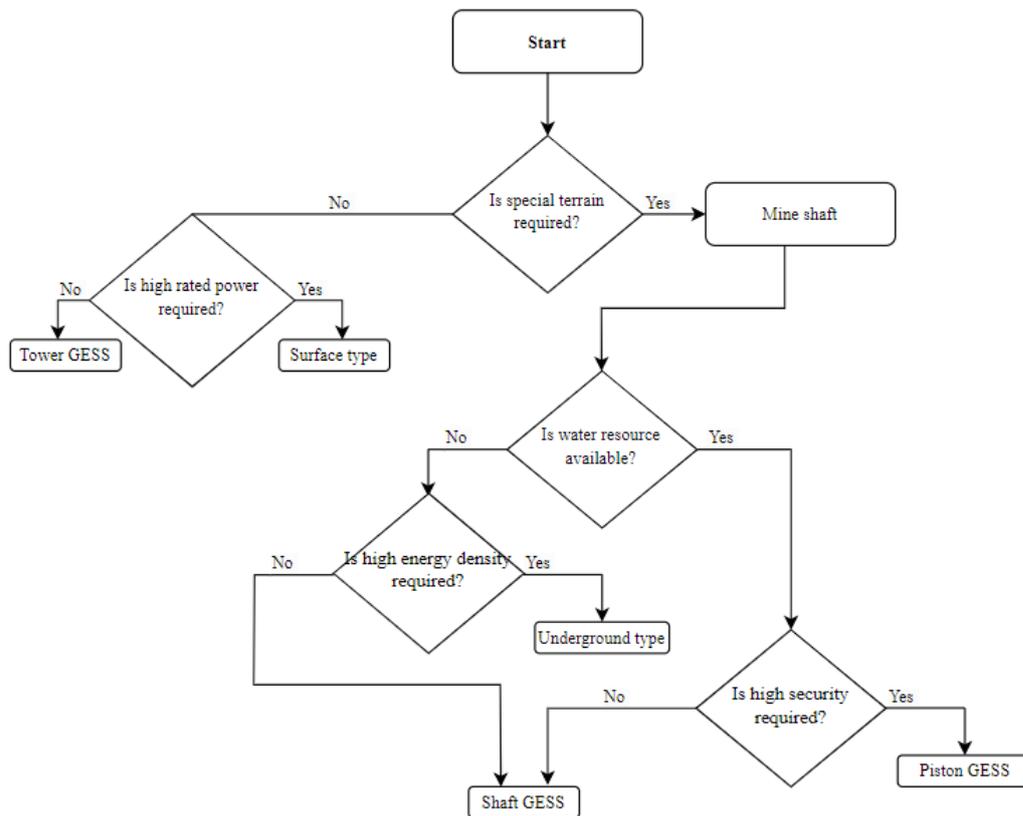


Fig. 6. Decision-making tree

Conclusion

GESS are intended to be used in conjunction with renewable energy alternatives (sunlight, wind, etc). There are positive sides of using gravity batteries on a larger scale, which first of all, would reduce the need for fossil fuels, resulting in significant reductions in CO₂ emissions. Secondly, gravity batteries are more environmentally friendly than lithium-ion batteries because lithium-ion batteries have a shorter lifetime and problems arise when they need to be disposed of.

A piston-powered gravity storage device is a realistic and promising storage technique. To get a more complete knowledge of the problem involved in the maturity and practical development of this concept, research and studies on feasibility, modelling, sizing, and sensitivity analysis are necessary. However, another disadvantage of using renewable energy sources in the open sea, offshore platforms, islands, and atolls is that they are frequently connected to poor or isolated electrical infrastructures. As a result, the energy storage system becomes the deciding factor in whether or not RES technology should be used.

Acknowledgments. Research has no funding. However, the research has been done with the help of professor's from Zittau/Görlitz University of Applied Sciences and based on information provided by Energy Storage company as well as Gravitricity Ltd.

References

1. Chaturvedi, D., Yadav, S., Srivastava, T. & Kumari, T. Electricity storage system: A Gravity Battery; Electricity storage system: A Gravity Battery / Fourth World Conference on Smart Trends in Systems Security and Sustainability. US. // 2020.
2. Tong W., Lu Z., Chen W., Han M., Zhao G., Wang X. & Deng Z. Solid gravity energy storage: A review. / Energy Storage. // V. 53. 2022. 38 p.
3. Wu X., Li N., Wang X., Kuang Y., Zhao W., Qian T., et al. 2021. Day-Ahead Scheduling of a Gravity Energy Storage System Considering the Uncertainty. / IEEE Transactions on Sustainable Energy. // V. 12. 2021. pp. 1020-31.
4. Cazzaniga R., Cicu Marrana T.M., Rosa-Clot P., Rosa-Clot M. & Tina G.M. 2017. DOGES: Deep Ocean gravitational energy storage. / Energy Storage. // V. 35. 2017. pp. 264-270.
5. Botha C., Kamper M. 2019. Capability study of dry gravity energy storage. / Energy Storage. // V. 23. 2019. pp. 159-74.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТЕИНА ИЗ ЛИЧИНОК МУХИ *HERMETIA ILLUCENS* В КАЧЕСТВЕ КОРМА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Горбулина А.Р.¹ (студент), Кузнецова К.Г.¹ (аспирант), Письменная А.П.¹ (студент)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: a.gorbulina@list.ru, kgkuznetsova@itmo.ru, kononovaynew@mail.ru,
nrkh25@hotmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

В последние годы на общемировом рынке белка наблюдается серьезный дефицит, в связи с чем ученые находятся в поиске альтернативных источников протеина. Одним из таких источников являются личинки мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*). Учеными доказано, что протеин из Черных львинок положительно влияет на рост и развитие животных и безопасен для их здоровья. Однако в настоящее время исследований в этой области недостаточно, что делает данное направление актуальным и востребованным для дальнейшего изучения.

Ключевые слова

Энтомологический протеин, муха Черная львинка, личинки, кормовая добавка, циркулярная экономика.

В современном мире отрасль животноводства испытывает определенные трудности в выращивании здоровых сельскохозяйственных животных в нужном для удовлетворения потребностей человечества количестве. Доказано, что для нормального развития животным необходимо ежедневно получать целый комплекс полезных компонентов, которые должны содержаться в корме в достаточном количестве и быть доступными и легкоусваиваемыми для животных. Наиболее простым и распространенным методом кормления на сегодняшний день являются комбикорма, которые за счет своей сбалансированности обеспечивают нормальную физиологию организма и его рост.

Одним из самых ценных и необходимых для роста и развития животного компонентов корма является протеин. В то же время это самая дорогостоящая составляющая корма, что вызвано востребованностью и дефицитом протеина на общемировом рынке. Это приводит к необходимости в поиске альтернативных источников, которые будут не только безопасны, но и полезны для сельскохозяйственных животных.

Доказано, что некоторые виды насекомых в процессе жизнедеятельности способны извлекать из органических субстратов питательные вещества и накапливать их в своих организмах. Впоследствии при переработке насекомых из них можно получать эти компоненты, и в дальнейшем использовать в различных отраслях народного хозяйства.

Одним из таких насекомых является муха Черная львинка (*Hermetia illucens*), жизненный цикл которой состоит из 5 стадий: яйцо, личинка, предкуколка, куколка и взрослая особь. Наибольший интерес для ученых представляет стадия личинки, в ходе которой Черные львинки могут помочь в решении сразу двух глобальных проблем:

1. Личинки мухи Черная львинка могут перерабатывать органические отходы, тем самым уменьшая их массу и превращая в ценное вещество – зоогумус.

2. В личинках содержится большое количество ценных компонентов, среди которых следует выделить протеин, липиды, аминокислоты, хитин и др.

Если комплексно подходить к использованию личинок мухи Черная львинка, или, иными словами, использовать оба ее преимущества, можно говорить о внедрении принципов циркулярной экономики как в сельское хозяйство, так и в пищевую отрасль.

В данной статье основное внимание будет уделено получению протеина из личинок мухи вида Черная львинка и перспективам его использования в качестве кормовой добавки сельскохозяйственным животным.

По различным подсчетам, личинки Черной львинки могут содержать от 32 до 53% сырого протеина [1]. Данное значение варьируется под воздействием таких факторов, как состав питательного субстрата и возраст личинок. При использовании субстрата, богатого протеином, личинки через него будут получать этот ценный компонент и содержание протеина в них будет велико. При этом по мере роста личинок концентрация в них протеина снижается, и только к приближению к стадии предкукулоки массовая доля протеина увеличивается, что вызвано уменьшением в них влаги и жира [2]. Эти факторы важно учитывать при культивировании личинок, нацеленном на получение большого количества протеина заявленного качества.

Преимуществами протеина из личинок мухи Черная львинка по сравнению с другими источниками являются: сбалансированный аминокислотный профиль и высокая степень усвояемости (более 85%) [3]. Все это способствует стремительному развитию данного направления: использование личинок мухи Черная львинка в качестве источника протеина в последние годы уже не просто возможное будущее, а реальное настоящее. Протеин из Черных львинок применяется как дополнение к рациону или его замена для сельскохозяйственных животных и птиц, как компонент корма для домашних животных, как корм для аквакультуры и пр.

На сегодняшний день информации касательно влияния протеина из личинок мухи Черная львинка на здоровье сельскохозяйственных животных недостаточно. В Российской Федерации данное направление исследований стало активно развиваться лишь несколько лет назад.

Так, например, в одном из исследований были получены значения, свидетельствующие о положительном влиянии на животных протеина из Черных львинок [5]. В ходе эксперимента в корм поросят был добавлен энтомологический протеин из личинок Черной львинки в расчете 70 кг на 1 т комбикорма. Было отмечено, что такой корм способствовал протеканию всех физиологических процессов на должном уровне, положительно влиял на продуктивность, а общая стоимость кормления животных была ниже среднестатистической. Все это можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований на молодняках свиней [4]

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Содержание протеина из ЧЛ в корме, %	0	7
Среднесуточный прирост, г	475,92±22,93	504,95±17,94
Затраты комбикорма на получение 1 кг животной массы (к контрольному опыту), %	100,0	93,4
Коэффициент перевариваемости сырого протеина, %	72,27	71,58

Исследования показали, что частичная замена рыбной муки привела к увеличению среднесуточного прироста живой массы молодняка свиней на 6,1% по сравнению с контрольной группой ($p > 0,05$). Однако авторы этого эксперимента утверждают, что протеин из Черной львинки, вводимый в рацион животных, должен содержать весь перечень незаменимых и условно заменимых аминокислот. В противном случае

недостаток этих ценных компонентов может привести плохим показателям роста и развития животных.

Схожие результаты были получены исследователями при проведении экспериментов на цыплятах-бройлерах. Частичная замена (до 15%) соевой муки привела к показателям роста и развития птицы, аналогичным контрольной группы. Более того, учеными было установлено, что добавление протеина из личинок мухи Черная львинка никак не повлияло на несущую способность цыплят. Масса и выход мяса также сильно не различались. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты исследований на цыплятах [5]

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа № 1	Опытная группа № 2
Содержание протеина из ЧЛ в корме, %	0	10	15
Среднесуточный прирост, г	8,25	8,40	8,24
Убойный вес (28 дней), г	222,1	225,3	222,5
Масса мяса грудки, г	43,8	45,0	43,7

Ученые пришли к выводу, что протеин из личинок мухи Черная львинка может служить альтернативой соевой муке и в перспективе может использоваться в качестве частичной замены традиционных источников белка.

В исследовании российских ученых на цыплятах-бройлерах (табл. 3) были также получены положительные результаты среднесуточного прироста массы. В случаях, когда в корм добавляли 5% и 8% протеина из Черной львинки наблюдалось хоть и незначительное, но превышение значений по сравнению с контрольной группой. При добавлении большего количества протеина из Черной львинки (12%) среднесуточный прирост массы снижался.

Таблица 3

Результаты выращивания цыплят-бройлеров [6]

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа № 1	Опытная группа № 2	Опытная группа № 3
Содержание протеина из ЧЛ в корме, %	0	5	8	12
Среднесуточный прирост (к контрольному опыту), %	100,0	104,2	107,4	98,0

Эти и многие другие исследования наглядно показывают необходимость в продолжении работ в данном направлении. Учеными доказано, что протеин, получаемый из личинок мухи Черная львинка, может служить дополнительным источником кормового белка. Он не только не наносит вред сельскохозяйственным животным, но и положительно влияет на прирост их массы. Актуально продолжить проводить исследования, направленные на подбор оптимальной массовой доли протеина из насекомых в составе комбикормов и убедиться в безопасности употребления мяса этих животных человеком.

Однако развитию данного направления в России отчасти препятствует несовершенство отечественного законодательства. В настоящее время в нем регулируется только массовая доля сырого протеина в корме. В нормативных актах

никак не регламентируется качество этого протеина, что усложняет понимание того, каким требованиям безопасности он должен соответствовать. Впрочем, очевидно, что протеин из личинок мухи Черная львинка должен вместе с другими компонентами корма обеспечивать быстрый набор массы животными, их полноценное развитие, а также быть безопасным с точки зрения ветеринарии и экологии [4].

Таким образом, перед отраслью животноводства стоит задача поиска альтернативных источников протеина, подходящих для удовлетворения социальных, экономических и экологических потребностей. Личинки мухи Черная львинка являются экономически выгодным способом переработки органических отходов с получением товарной личинки, богатой протеином и некоторыми другими компонентами. В настоящее время о полной замене традиционных источников протеина речи не идет. По прогнозам специалистов, к 2050 году лишь 15% всего производимого в мире белка может составлять энтомологический протеин [7]. Однако уже доказано, что такой белок способствует хорошему росту и развитию животных и может выступать в качестве кормовой добавки.

Литература

1. Lu S., Taethaisong N., Meethip W., Surakhunthod J., Sinpru B., Sroichak T. Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review // *Insects*. 2022. V. 13. №831.
2. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly // *PLoS ONE*. 2017. V. 12. №8.
3. Insects to feed the world. Bühler Insect Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/homepage.html> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Некрасов Р.В., Чабаяев М.Г., Зеленченкова А.А. Питательные свойства личинок *Hermetia illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней (*Sus scrofa domestica* Erxleben) // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. №2. С. 316-325.
5. Cullere M., Tasoniero G., Giaccone V., Miotti-Scapin R., Claeys, E., De Smet S., Dalle Zotte A. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits // *Animal*. 2016. V. 10. №12. P. 1923–1930.
6. Хафизова Г.Р., Гафарова Ф.М. Эффективность использования личинок Черной львинки в рационах цыплят-бройлеров [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030885> (дата обращения: 22.04.2023).
7. Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountouleki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future // *Animal Feed Science and Technology*. 2015. Vol. 203. P. 1–22.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *TRAMETES VERSICOLOR*

Груздева А.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: angel.gruzdeva1@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодеградаций».

Аннотация

Рассмотрены этапы технологии получения биокomпозитного материала, основанного на мицелии гриба *Trametes versicolor*, который может рассматриваться в качестве замены материалов, получаемых из невозобновляемых природных ресурсов и не поддающихся биологическому разложению. Подобраны оптимальные условия для культивирования чистой культуры мицелия.

Ключевые слова

Биокomпозитные материалы, *Trametes versicolor*, субстрат для культивирования, мицелий, лигноцеллюлозная биомасса.

Традиционные виды пластиков, получаемых из нефти, оказывают все возрастающее негативное воздействие на состояние окружающей среды, ввиду невозможности их биологического разложения. Поэтому разработка устойчивых материалов с использованием возобновляемого и биоразлагаемого сырья является важной задачей при переходе к экономике замкнутого цикла.

Биокomпозиты на основе мицелия состоят из лигноцеллюлозной массы, являющейся армирующим материалом, и мицелия гриба, представляющего собой матрицу с адгезивными свойствами. Все компоненты биокomпозитного материала являются возобновляемым ресурсом и полностью биоразлагаемыми.

Биокomпозитные материалы на основе мицелия уже используются в строительной отрасли в качестве упаковочных материалов, изоляционных панелей, акустической плитки, теплоизоляционных панелей, предметов интерьера и декора, а также рассматривается вариант использования биокomпозитов в качестве строительных блоков [1].

Целью данного исследования является разработка технологии получения биокomпозитного материала на основе мицелия гриба *Trametes versicolor*. В рамках исследования необходимо провести разработку рецептуры и приготовление субстрата, адаптировать методику приготовления посевного материала и условий культивирования.

Технология получения биокomпозита на основе мицелия включает в себя подготовку субстрата, мицелия гриба и получение непосредственно материала в специально подобранных условиях культивирования. Первым этапом получения биокomпозитного материала является выделение чистой культуры мицелия, свободной от бактериального заражения и плесеней, а также создание посевного материала. Затем готовится субстрат и проводится его стерилизация для предотвращения заражения во время колонизации гриба. Далее производится инокуляция субстрата мицелием гриба и его размещение в стерилизованную форму с дальнейшим культивированием при необходимых условиях для роста. По окончании культивирования мицелия производится тепловая обработка для прекращения роста и дегидрирования материала. В результате образуется плотный, однородный биокomпозит с определенными механическими характеристиками.

Так как существует большое разнообразие возможных видов грибов необходим подбор оптимальной комбинации компонентов. Существует три основные группы

грибов, разлагающих древесину, по типу бурой трещиноватой, мягкой и белой волокнистой гнили. Последние обладают наилучшей способностью к полному разложению лигноцеллюлозной биомассы. Поэтому в качестве гриба для колонизации был выбран трутовой гриб *Trametes versicolor*, относящийся к грибам, разлагающим древесину до белой волокнистой гнили.

Субстратом для роста мицелия является состав из различных растительных целлюлозосодержащих типов сырья. Субстрат для получения биокompозитного материала должен содержать лигноцеллюлозу – биополимер, состоящий из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Целлюлозосодержащее сырье является источником питания для растущего гриба, определяет механические свойства полученного биокompозитного материала, а также служит для укрепления и предотвращения деформации и разрушения при сдвиге.

Этап получения посевной культуры. Для выделения чистой культуры базидиомицета был отобран дикий штамм гриба *Trametes versicolor*, выбраны и опробованы несколько питательных сред: картофельный агар, среда сабура, сусло-агар. Кроме того, были опробованы добавки: раствор микрокристаллической целлюлозы в качестве дополнительного источника углерода и антибиотик гентамицин для ингибирования роста посторонних культур. Все использованные питательные среды были стерилизованы в автоклаве. Посевы проводились на среды в чашки Петри методом укола в стерильных условиях в ламинарном шкафу. Инкубация проводилась в термостате при $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение нескольких суток. В результате нескольких этапов инокуляций в качестве среды для хранения культуры для дальнейших исследований была окончательно выбрана питательная среда сусло-агар.

В составе рецептуры для субстрата может быть использовано различное сырье: льняные отходы и волокна [2], хлопковые отходы, кукурузные початки, рисовая шелуха [3], дубовые опилки, зерна сорго [4] и др. Для своей работы мы определили следующие критерии выбора сырья: оно должно быть отходом агропромышленных производств и быть легкодоступным в регионе, имея оптимальную стоимость. На основе этих факторов, были выбраны хвойные опилки, овсяная солома, пшеничные отруби и кофейный жмых. Хвойные опилки и овсяная солома являются источником целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и азота для роста мицелия гриба. Пшеничные отруби содержат в составе большое количество незаменимых факторов роста, обуславливающих нормальное развитие мицелия, а именно микроэлементов и витаминов. Кофейный жмых обладает свойством ускорять рост мицелия [5]. Эти виды сырья легкодоступны в Северо-Западном регионе.

Для подготовки субстрата к культивированию необходимо определить размер измельчения частиц используемого сырья и разработать рецептуру смеси. Механические свойства биокompозитных материалов на основе мицелия не изменяются при изменении размеров волокон в диапазоне от 0.4 мм до 6.7 мм [2]. Руководствуясь этими данными, хвойные опилки и овсяная солома были измельчены до размера частиц 10 ± 5 мм. Пшеничные отруби были измельчены до состояния муки.

В качестве экспериментального состава субстрата мы рассмотрели следующее соотношение компонентов: хвойные опилки – 43,75 %, овсяная солома – 43,75 %, пшеничные отруби – 11,25 %, кофейный жмых – 1,25 %.

После тщательного перемешивания полученный субстрат был увлажнен добавлением воды до значения влажности субстрата около 75 %. После чего субстрат был стерилизован автоклавированием в течение 60 минут при температуре 121°C .

Инокуляция субстрата мицелием может быть осуществлена различными способами, а именно кусочками мицелия с агаром, зерновым субстратом или жидким мицелием. Был выбран зерновой субстрат.

Этап приготовления посевного материала на основе овса включает в себя замачивание зерен водой в соотношении 1:2 с последующей выдержкой при температуре

100±1 °С на протяжении 20 минут. Для набухания зерна после температурного воздействия их оставляли на 60 минут при комнатной температуре. Затем зерно промывали и подсушивали, чтобы избавиться от излишней влаги. Подсушенное зерно помещали в специальные пакеты для культивирования и стерилизовали в течение 90 минут при температуре 121 °С.

Инокуляция зерна проводилась кусочками мицелия с чашки Петри в стерильных условиях. Культивирование посевного материала происходит в термостате при 25 °С в течение 12–14 дней.

Для культивирования биокомпозитного материала также необходима подготовка формы и условий культивирования.

Был предложен трехсекционный сборочный контейнер (рисунок) для выращивания образцов и последующей унифицированной оценки механических свойств. Его размеры были определены в соответствии с ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

Во время процесса культивирования должны соблюдаться определенные условия для обеспечения успешной колонизации мицелия гриба:

- возможность циркуляции воздуха;
- значение относительной влажности в диапазоне от 70 до 100 %;
- значение рН – около 6;
- температура культивирования – 25 °С (рисунок).

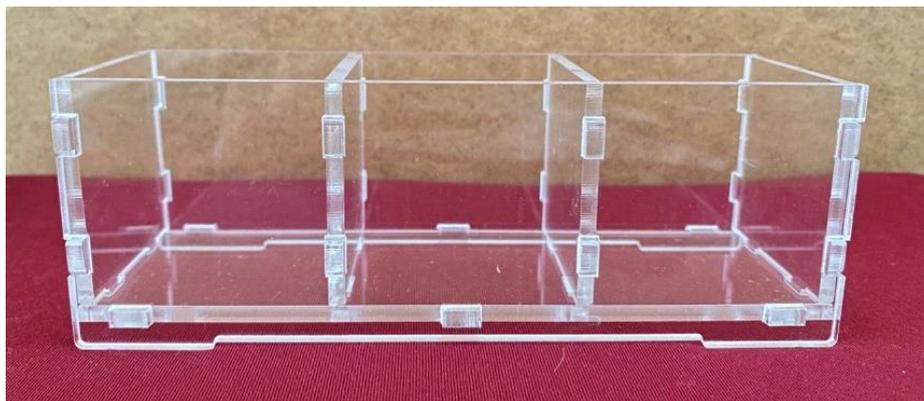


Рисунок. Контейнер для получения биокомпозитного материала

Воздух должен иметь достаточно высокое значение относительной влажности, так как при низком содержании воды рост мицелия ингибируется, поэтому получения биокомпозитного материала это значение должно быть от 70 до 100% [1]. Для гриба *Trametes versicolor* диапазон значений реакций среды, в котором возможен рост гриба, находится от 4 до 9. Однако ферменты лакказы и пероксидазы, ответственные за разложение лигноцеллюлозной биомассы, наиболее активны при слабокислой среде. Поэтому для культивирования было выбрано оптимальное значение рН, равное 6.

Длительность стадии культивирования составила 21 день.

В течение проведенного исследования были проведены обзор и оценка различных типов сырья, подходящих для использования в качестве субстрата для получения биокомпозитного варианта, в результате чего были выбраны четыре вида сырья: хвойные опилки, овсяная солома, пшеничные отруби и кофейный жмых. Был предложен вариант рецептуры субстрата как их комбинации в определенном соотношении: хвойные опилки – 43,75 %, овсяная солома – 43,75 %, пшеничные отруби – 11,25 %, кофейный жмых – 1,25 %. Была адаптирована методика приготовления посевного материала на основе зерен овса и подготовлены условия непосредственного культивирования мицелия с целью получения биокомпозитного материала.

Литература

1. Elsacker E., Vandeloock S., Van Wylick A., Ruytinx J., De Laet L. and Peeters E. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 725.
2. Islam M.R., Tudryn G., Bucinell R., Schadler L. and Picu R.C. Mechanical behavior of mycelium-based particulate composites // *Journal of Material Science*. 2018. V. 53. № 24. P. 16371–16382.
3. Nguyen B.T.T., Van Le V., Nguyen H.T.T., Nguyen L.T., Tran T.T.T. and Ngo N.X. Nutritional requirements for the enhanced mycelial growth and yield performance of *Trametes versicolor* // *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 2021. V. 9. № 1. P. 1–7.
4. González Guerrero D., Esparza Martínez V. and de la Torre Almaráz R. Cultivation of *Trametes versicolor* in Mexico // *Micología Aplicada International*. 2011. V. 23. № 2. P. 55–58.
5. M.-K. Lee, D.-I. Shin, and H.-S. Park Acceleration of the Mycelial Growth of *Trametes versicolor* by Spent Coffee Ground // *The Korean Journal of Mycology*. 2012. V. 40. № 4. P. 292–295.

КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ

Данилов А.В.¹ (магистрант), Тумин Е.И.² (аспирант)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

1 – Университет ИТМО

2 – ВНИИМ им. Д. И. Менделеева

e-mail: undeniable1999@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация

В данной работе проведен анализ методов и способов контроля метрологических характеристик предиктивных систем контроля загрязняющих выбросов с целью создания требований к государственным стандартам для дальнейшего применения в РФ. Также в статье описан зарубежный опыт использования предиктивных систем, сформирован перечень требований для данных систем.

Ключевые слова

Автоматические измерительные системы контроля выбросов, предиктивные системы контроля выбросов, контроль точности, показатели точности, относительная точность.

Промышленные предприятия являются доминирующим источником загрязняющих выбросов и наносят разрушительные воздействия на экологическую систему. Вследствие этого, экологические органы в промышленно развитых странах мира требуют осуществлять контроль уровня выбросов загрязняющих веществ с помощью автоматических измерительных систем. В зависимости от метода получения информации о концентрации загрязняющих выбросов выделяют автоматические измерительные системы контроля выбросов (АИСКВ) и предиктивные системы контроля выбросов (ПСКВ) [1, 2].

АИСКВ – автоматическая измерительная система контроля выбросов, состоящая из средств измерений параметров выбросов, составляющих измерительную часть системы контроля выбросов, и технических средств, обеспечивающих учет и передачу информации о показателях загрязняющих выбросов.

ПСКВ – автоматическая система контроля выбросов, состоящая из математической модели, в которой описана взаимосвязь содержания компонентов отходящих газов с массивами значений технологических параметров установки и данных о химическом составе топлива или сырья моделируемого технологического процесса, и технических средств, обеспечивающих учет и передачу информации о показателях выбросов. То есть, с источника выбросов считываются параметры технологического оборудования, такие как расход топлива, соотношение воздух/топливо, температура сгорания и пр., далее благодаря математической модели расчета выбросов, данная система рассчитывает концентрацию загрязняющих веществ, высчитывая всевозможные зависимости между параметрами, и выводит на экран оператора. Данные системы называют прогнозирующими, так как они предсказывают информацию о показателях выбросов, не используя аналитическое оборудование.

Так как точность характеризует близость результатов к истинному значению измеряемой величины, тем самым является главным показателем при проведении измерений. Контроль точности является важнейшим требованием для системы производственного экологического мониторинга при измерении концентрации загрязняющих веществ в промышленных выбросах для достижения высокой степени доверия к результатам измерений.

В Российской Федерации требования к точности измерений концентрации загрязняющих веществ в выбросах, полученных с помощью автоматических измерительных систем описаны в нормативно-правовых документах, устанавливающих требования к измерениям, которые относятся к сфере государственного регулирования, а методы контроля точности, в частности, при проведении испытаний и поверке, в национальных стандартах.

В основе испытаний АИС лежат следующие принципы:

- определение соответствия метрологических характеристик испытываемых измерительных каналов АИС требованиям нормативно-правовых документов;
- проведение испытаний газоаналитических измерительных каналов на газовых средах, параметры которых соответствуют таким характеристикам реальной среды промышленных выбросов, как температура, влажность, многокомпонентный состав;
- оценка суммарной погрешности газоаналитических измерительных каналов АИС, с учетом параметров реальной среды, а также с учетом влияния на результат измерения всех технических устройств, входящих в состав испытываемого измерительного канала (в частности, для АИС с пробоотбором – систем пробоотбора, транспортировки и преобразования проб).

В настоящее время в Российской Федерации не имеется опыт применения предиктивных систем контроля загрязняющих выбросов, следовательно законодательная и нормативная база, регламентирующая применение данных систем, в том числе методы контроля точности предиктивных систем, что ограничивает их применение.

В Соединенных Штатах Америки еще в 1990-х г. было построено 36 промышленных систем предиктивного контроля [3]. В настоящее время, в США применение предиктивных систем для учета и передачи информации о показателях загрязняющих выбросов предусмотрено разделом 40 свода федеральных нормативных актов. В данном документе содержится техническая спецификация PS-16 «Технические характеристики и процедуры испытаний для систем предиктивного мониторинга выбросов в стационарных источниках», в которой находятся сведения о требованиях к ПСКВ. Согласно требованиям данной технической спецификации, для первоначальной сертификации предиктивные системы обязаны пройти тест на определение относительной точности, а также дополнительные статистические тесты [4].

Тест на определение относительной точности (RA) представляет процедуру сравнения результатов, полученных с помощью эталонного метода (RM), с результатами, полученными с помощью предиктивных систем. Для оценки относительной точности (RA) необходимо определить доверительный интервал среднего значения расхождения между данными, полученными двумя вышеперечисленными методами, для определенного числа пар измерений с учетом коэффициента Стьюдента при уровне доверительной вероятности 95 % и заданном числе степеней свободы ($n-1$).

$$RA = \frac{|\bar{d}| + k_{\text{дов.}}}{\overline{RM}}, \quad (1)$$

где \overline{RM} – среднее значение результатов измерений с использованием эталонного метода; $k_{\text{дов.}}$ – доверительный коэффициент, рассчитанный по формуле:

$$k_{\text{дов.}} = t_{0,025} \times \frac{S_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

$S_{\bar{d}}$ – среднее квадратичное отклонение среднего значения различий.

Результаты прямых измерений загрязняющих веществ в выбросах, полученных благодаря эталонным (RM) методам измерений, лежат в основе процесса контроля

точности предиктивных систем. Данный подход аналогичен процедуре калибровки автоматических измерительных систем и занимает важнейшую роль в решении проблемы контроля достоверности и точности результатов, полученных с помощью прогнозирующих систем. Перечень эталонных методов (RM) приведен в приложении А части 60 свода федеральных нормативных актов.

Важно отметить, что испытания для определения относительной точности (RA) необходимо проводить для первоначальной сертификации при трех рабочих уровнях работы (производительности) установки:

- на низкой нагрузке (между минимальной безопасной и 50% от максимальной нагрузки);
- на средней нагрузке (промежуточный уровень между низким и высоким уровнями);
- на высокой нагрузке (80% и выше от максимальной нагрузки).

Дополнительные статистические тесты для первоначальной сертификации ПСКВ:

Во-первых, определяют показатель смещения полученных результатов путем сравнения доверительного коэффициента, со средним арифметическим разности.

Во-вторых, определяют существенность различий результатов расчета ПСКВ и результатов измерений с помощью RM, т.е. определяют факт принадлежности одной генеральной совокупности. Данную проверку проводят с помощью F–критерия Фишера.

В-третьих, рассчитывают коэффициент корреляции результатов ПСКВ и RM, допустимое значение коэффициента $r \geq 0,8$.

Также, Европейским союзом была разработана техническая спецификация CEN/TS 17198:2018 «Выбросы из стационарных источников – Системы предиктивного мониторинга выбросов – Применимость, исполнение и обеспечение качества» [5]. В обосновании по разработке данного документа указывается, что использование предиктивных систем во многих странах–членах ЕС в настоящее время невозможно, поскольку отсутствуют нормативные стандарты в этой области и что эти системы возможно использовать для контроля выбросов, где инструментальные системы контроля не могут быть применены, например, при необходимости измерений выбросов загрязняющих веществ в труднодоступных местах (например, на шельфе) или при экстремальных условиях окружающей среды. При этом, особо отмечается, что ПСКВ могут являться альтернативой АИСКВ при контроле выбросов какого-либо технологического процесса в случае, если существует надежная и предсказуемая связь между условиями и рабочими параметрами данного процесса и содержанием загрязняющих веществ в выбросах.

На основании технической спецификации CEN/TS 17198:2018 использование ПСКВ для контроля выбросов допускается при исполнении перечисленных требований:

- подтверждение пригодности для последующего применения;
- определение функциональных возможностей;
- контроль входных датчиков;
- контроль целостности;
- соответствие требованиям технической спецификации;
- применение сертифицированного ПО.

Процедура испытаний ПСКВ включает два этапа: лабораторные испытания и испытания в полевых условиях.

Кроме того, осуществляется текущий контроль качества ПСКВ в период между ежегодными проверками, который заключается в тестировании датчиков на пригодность к эксплуатации, установленных на контролируемой установке, и проведения проверок целостности модели выбросов.

Выполненный анализ зарубежных нормативных документов, содержащих требования к техническим характеристикам предиктивных систем и методам их испытаний, показывает невозможность применения существующей отечественной

нормативной базы для ПСКВ без существенной доработки с учетом результатов теоретических и экспериментальных исследований. Для успешного внедрения новых перспективных технологий мониторинга промышленных выбросов необходима нормативно-техническая база, разработанная с учетом природоохранного законодательства и нормативно-правовых актов Российской Федерации, включая законодательство об обеспечении единства измерений.

Литература

1. ИТС НДТ 22.1–2021. Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1647&etkstructure_id=1872. (дата обращения: 02.02.2023).
2. Костылева В.М., Скобелев Д.О., Пронин А.Н., Медведевских С.В. Оснащение предприятий промышленности системами автоматического контроля эмиссий // Справочник эколога. № 5. 2022. С. 92–98.
3. Hung W.S.Y., Langenbacher F. PEMS: Monitoring NO_x emissions from gas turbines // International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. 5-8 June 1995 Houston Texas. P. 1–9.
4. U.S. Code of Federal Regulations. Title 40. Protection of Environment.
5. CEN/TS 17198:2018. CEN/TS 17198-2018 Stationary source emissions. Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS). Applicability, execution and quality assurance.

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА В МИКРОБНО-ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Желначева П.В.² (студент), **Кулешова Т.Э.**¹ (научный сотрудник)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.²

1 – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Агрофизический научно-исследовательский институт

2 – Университет ИТМО

e-mail: polina.zhelnacheva@mail.ru, kuleshova@agrophys.ru, nrkh25@hotmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

В настоящее время актуальным является поиск альтернативных регенеративных энергетических источников, снижающих ущерб окружающей среде. К таковым может относиться производство биоэнергии из отходов, которое может привести как к сокращению загрязнений, так и снизить затраты на их утилизацию. В статье рассмотрен механизм работы микробно-топливного элемента (МТЭ), позволяющего производить электроэнергию.

Ключевые слова

Альтернативная энергия, микробно-топливный элемент, активный ил, микроорганизмы, электроактивные бактерии.

В связи с поиском альтернативных возобновляемых источников энергии, повышенный интерес вызывает изучение возможностей использования микробного топливного элемента для получения электричества в процессе обработки органических отходов пищевой промышленности, сельского хозяйства, муниципальных сточных вод. Микробный топливный элемент представляет собой биотехнологическое устройство, преобразующее энергию химических связей органических веществ в электричество посредством микроорганизмов. В качестве субстрата в МТЭ могут быть использованы сточные воды городов, предприятий, что делает их весьма эффективными средствами не только для производства электрической энергии, но и защиты окружающей среды от загрязняющих веществ. Системы микробных топливных элементов обладают огромным потенциалом и возможностями для производства электроэнергии и очистки сточных вод. Микробные топливные элементы находят широкое применение в различных областях [1]. Преимущество этих МТЭ заключается в том, что они работают в условиях окружающей среды и подходят для использования в качестве субстрата широкого спектра источников отходов.

Задача разработки и эколого-экономического обоснования целесообразности применения ресурсосберегающей технологии получения биоэлектричества направлена на повышение эффективности вторичного использования природных ресурсов, получение электроэнергии при утилизации бытовых отходов, улучшение качества окружающей среды. В технологии микробно-топливных элементов одним из перспективных поднаправлений является использование активного ила. В зависимости от типа сточных вод, МТЭ могут применяться в качестве основного процесса очистки некоторых промышленных сточных, бытовых сточных вод из децентрализованных населенных пунктов или как часть существующего процесса очистки крупномасштабных бытовых сточных вод. Применение технологии МТЭ может потребовать нового строительства инфраструктуры, особенно для промышленной или децентрализованной очистки сточных вод, что потребует значительных капиталовложений. Более быстрый и экономичный способ применения МТЭ – их

интеграция в существующие очистные сооружения. Микробно-топливные элементы могут быть объединены с процессами активного ила для очистки первичных сточных вод или связаны с анаэробными метантенками для очистки сброженной жидкости [4]. Первичные стоки с низкой концентрацией органических веществ могут быть более подходящим субстратом для МТЭ, чем высокоактивные отходы, поскольку не было доказано, что МТЭ более эффективны, чем анаэробные метантенки, с точки зрения производства биоэнергии из высокоактивных отходов. Поэтому существует большой интерес к изучению возможности работы МТЭ в аэротенках процессов с активным илом.

Системы МТЭ обрабатывают отходы с помощью окислительно-восстановительных реакций с высвобождением электронов, которые передаются по электрической цепи для выработки тока. Микробно-топливные элементы также имеют компоненты, аналогичные традиционным топливным элементам, которые включают анодную камеру, катодную камеру, подложку, ионообменную мембрану, микробы, электрическую цепь и электроды для соответствующих камер. Мембраны представляют собой полупроницаемые мембраны, используемые в МТЭ для разделения анодной и катодной камер. Эти мембраны обычно называют ионообменной мембраной (ИОМ) или протонообменной мембраной (ПОМ), которая обеспечивает поток протонов из анодной камеры в катодную камеру. Кроме того, эти мембраны должны ограничивать пересечение субстрата из анодной камеры и кислорода, водорода из катодной камеры. Принципиальная схема двухкамерной системы МТЭ представлена на рисунке [2].

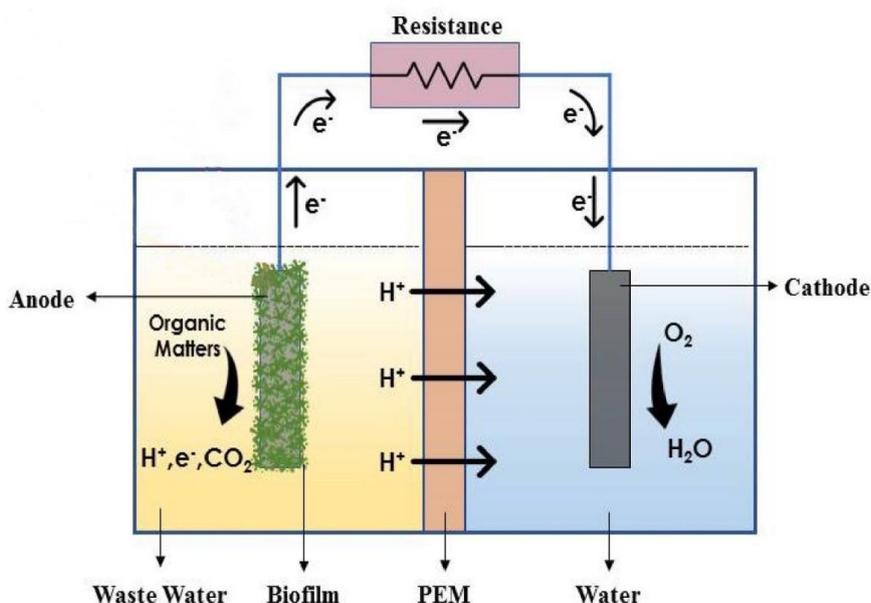


Рисунок. Схематическое изображение двухкамерной системы МТЭ

Resistance – резистор; Cathode – катод; Water – вода; PEM – ПОМ; Biofilm – биопленка;
Waste Water – сточные воды; Organic Matters – органические вещества; Anode – анод

Катионообменная мембрана представляет собой протонообменную мембрану, используемую в различных типах топливных элементов. Большинство протонообменных мембран изготовлены из фторированных или нефторированных материалов на основе полимеров. Протонообменные мембраны считаются важным фактором производительности МТЭ. Большинство исследований предназначены для идентификации новых мембранных материалов в качестве альтернативы коммерчески доступным ПОМ. Для улучшения свойств мембраны делают определенные модификации мембран, которые называются композитными мембранами. Эти композитные мембраны в основном изготавливаются путем введения или легирования специальным наполнителем в оптимальной концентрации с использованием метода

литья из растворителя. Керамические мембраны также готовят аналогично методу литья из растворителя, при котором глиняный грунт с достаточной пластичностью формируют до определенной формы и размера с помощью формы и сушат. Методы модификации поверхности и послойной сборки используются для изготовления композитных мембран на основе керамики [3].

Несмотря на многочисленные преимущества использования систем МТЭ, они имеют определенные ограничения, которые включают более низкую выходную мощность, потребность в эффективной микробной культуре, температурные условия, ограничивающие производительность микробов, стоимость производства и материалов, высокое внутреннее сопротивление, низкий уровень переноса электронов, пересечение субстрата и биообрастание мембраны. В настоящее время большинство исследований МТЭ были связаны с повышением их производительности и снижением стоимости материалов. Основная стратегия, используемая при расширении системы МТЭ, заключается в штабелировании отдельных блоков МТЭ вместе с непрерывным потоком сточных вод. Многочисленные конструкции МТЭ тестируются в лабораторных условиях, но лишь очень немногие конструкции адаптируются в процессе масштабирования. Исследования масштабирования сталкиваются с рядом проблем, которые необходимо решить, чтобы использовать системы МТЭ для практической деятельности. Основные проблемы или ограничивающие факторы включают потери при активации, массообменные потери. Помимо этого, пересечения субстратов, связанные с этим затраты и технические барьеры, такие как надежность и стабильность, накладывают определенные ограничения на масштабирование системы МТЭ.

Идентификация новых мембранных материалов и методов модификации считалась ключевой областью исследований для улучшения характеристик системы МТЭ с ПОМ. Недавние исследовательские работы по МТЭ показывают разработку многочисленных новых мембранных материалов с улучшенными характеристиками по сравнению с обычными материалами. Керамические материалы определены как один из недорогих и натуральных биоматериалов для использования в системе МТЭ. Тем не менее, исследования систем микробных топливных элементов показывают постепенное улучшение выработки электроэнергии и очистки сточных вод, затраты, связанные с разработкой и масштабируемостью, ограничивают использование. Микробно-топливные элементы еще не были разработаны с экономически оправданными ценами за кВт установленной мощности и с высокой номинальной мощностью (эквивалентной возобновляемым электростанциям порядка МВт), исследования МТЭ, тем не менее, быстро и непрерывно развиваются. Это связано с тем, что плотность выходной мощности на единицу площади анода в настоящее время составляет от 10 до 50 мВт/м³ для сточных вод, в то время как плотность мощности на единицу объема городских сточных вод колеблется от 40 мВт/м³ до 54 Вт/м³ при типичном значении около 10 Вт/м³ в зависимости от субстрата [5]. Системный научный подход к устранению проблем масштабирования и других проблем может сделать МТЭ устойчивым производителем энергии в будущем.

Литература

1. Решетилов А.Н., Пономарева О.Н., Решетилова Т.А. Генерация электрической энергии в биотопливном элементе на основе клеток микроорганизмов // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. 2005. Т.1. №2. С. 54–63.
2. Santoro C. et al. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review //Journal of power sources. 2017. Vol. 356. P. 225-244.
3. Kouzuma A., Kaku N., Watanabe K. Microbial electricity generation in rice paddy fields: recent advances and perspectives in rhizosphere microbial fuel cells. Appl Microbiol Biotechnol. 2014. Vol.98(23). P. 9521–6.

4. Марков С.А., Протасов Е.С., Быбин В.А., Стом Д.И. Получение водорода с помощью микроорганизмов и микробных топливных элементов на основе утилизации ингредиентов сточных вод и различных отходов. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2013. № 01/2. С. 180.
5. Tharali A.D., Sain N., Osborne W.J. Microbial fuel cells in bioelectricity production //Frontiers in life science. 2016. Vol. 9. №. 4. P. 252-266.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХЛАДАГЕНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Зарипова Е.А.¹ (аспирант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

Университет ИТМО

e-mail: kat.zarif@mail.ru, marinakustikova@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИРМА №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация

В работе проведен анализ влияния хладагентов на образование парникового эффекта и рассмотрена возможность использования различных видов хладагентов с целью снижения парникового эффекта. Рассмотрены также критерии, которые необходимо учитывать при выборе хладагента.

Ключевые слова

Парниковый эффект, хладагенты, озоноразрушающий потенциал, фреоны, потенциал глобального потепления.

В докладе Всемирной метеорологической организации (далее ВМО) от 21 апреля 2023 года было отмечено непрерывное протекание климатических изменений. Так, отмечено, что последние 8 лет стали наиболее теплыми за период наблюдения с середины девятнадцатого века. Помимо роста температуры стабильно меняются и другие показатели, такие как содержание парниковых газов в атмосфере, толщина и площадь ледников, глобальный средний уровень моря, сигнализирующие о существенных климатических сдвигах. Эти процессы влекут за собой экологические, а вследствие этого и социально-экономические потрясения, вынуждающие перемещаться большие массы людей в поисках более безопасных для проживания территорий. Вопросы продовольственной безопасности и безопасности экосистем в целом ставят задачу по сдерживанию роста температуры на планете [1].

Регулирование эмиссии парниковых газов (ПГ) в атмосферу закреплено несколькими международными соглашениями. Галогенированные углеводороды с высоким потенциалом разрушения озонового слоя (ОРП) были запрещены Монреальским протоколом (1987), парниковые газы, используемые в современных системах охлаждения, кондиционирования воздуха, ограничены в использовании по времени Киотским протоколом (1997). В Парижском соглашении (2016) настоятельно подчеркивается необходимость постепенного отказа от использования опасных синтетических хладагентов.

Хладагент – вещество или смесь, используемое в качестве рабочего агента в тепловых циклах, способное совершать обратимый фазовый переход из жидкости в газ. Широко применяются хладагенты в холодильной технике, где выполняют роль жидкости-посредника, передающего тепло от источника поглотителю [5]. Для селективного охлаждения и нагрева выбираются хладагенты с подходящими свойствами.

Дж. М. Калм в своей работе разделил историю развития индустрии хладагентов на 4 этапа, охарактеризовав каждое поколение и основную идею, которое оно несет.

«Все, что работает» - так можно коротко охарактеризовать первое поколение хладагентов. Наиболее распространенными хладагентами в течение первых ста лет были растворители и другие летучие жидкости – все, что было доступно и работало. Эти вещества зачастую обладали токсичностью, высокой реакционной способностью или

легко воспламенялись [2].

«Безопасность и долговечность» - второе поколение хладагентов, отличающееся наличием галогенсодержащих веществ. Хлорфторуглероды (ХФУ) и гидрохлорфторуглероды (ГФУ) заняли устойчивое лидирующее место по использованию в быту: небольшие кондиционеры и тепловые насосы [2].

«Защита озонового слоя» – главный посыл в развитии третьего поколения хладагентов. Убедившись в прямой связи между разрушением озонового слоя и выбросами ХФУ и приняв ограничительные меры, научное сообщество начало разработку третьего поколения хладагентов. Обязательства по сокращению выбросов ХФУ и замещению их на ГХФУ возобновило интерес к использованию «природных хладагентов» [2].

«Глобальное потепление» - так обозначился главный вектор развития четвертого поколения хладагентов. Доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) обозначил единую точку зрения сообщества на проблему повышения мировых температур воздуха и океана, и признал эмиссию ПГ наиболее значимым фактором [2].

Потенциал глобального потепления (ПГП) — коэффициент, присваивающийся газам и определяющий степень их воздействия на парниковый эффект. Эффект оценивается за промежуток времени, а в качестве эталонного газа принят диоксид углерода с величиной ПГП 1. Величина ПГП парниковых газов сильно различается, например ПГП аммиака равен 0, а ПГП трифторметана (R-23) достигает 14800. Рассматривать хладагенты необходимо одновременно с позиции потенциала к образованию парникового эффекта и озоноразрушающего потенциала.

Озоноразрушающий потенциал (ОРП) – коэффициент, отражающий степень влияния хладагента на озоновый слой. За единицу принят потенциал ОРП хладона R11. Структура молекулы определяет разрушающий потенциал фреона: наличие атомов галогенов (хлора, брома) увеличивают коэффициент ОРП, а молекулы водорода наоборот – снижают данный показатель, так как имеют достаточную реакционную способность и начинают реагировать в нижних слоях атмосферы, не достигая озонового слоя.

ОРП снижается при переходе от ХФУ к ГХФУ, ГФУ и УВ, но их ПГП увеличивается. Солнце – это главный источник, который питает планету своим излучением. Более 30 % солнечного излучения отражается обратно, тогда как остальное проходит через атмосферу и достигает поверхности Земли. После поглощения солнечного излучения поверхность земли действует как черное тело, испускающее инфракрасное излучение обратно в атмосферу. Из-за присутствия парниковых газов, таких как CO₂, CH₄, N₂O и галогенированных хладагентов (ХФУ, ГХФУ, ГФУ), они задерживаются и, следовательно, не могут проходить через атмосферу [3].

Экологический рейтинг хладагентов с использованием метода диаграмм Хассе – это математический метод для оценки взаимосвязи между различными химическими веществами. Этот рейтинг был составлен с учётом потенциала разрушения озонового слоя, потенциала глобального потепления и продолжительности жизни в атмосфере. Было обнаружено, что углеводороды и аммиак являются наименее проблематичными в отношении вышеуказанных трех свойств. Каждый хладагент был оценён при одинаковой тепловой нагрузке испарителя и температурах слива. Три наиболее безопасных хладагента - R1234yf, R32 и R1270. Срок жизни большинства ПГ составляет менее одного столетия, но некоторые из них остаются в атмосфере в течение нескольких тысяч лет. Даже при строгом соблюдении сроков поэтапного отказа уже выделяющийся ХФУ был бы ответственен за 4–10 % общего глобального потепления [4].

Хладагенты можно классифицировать согласно ГОСТ Р 12.2.142–99 по показателям взрыво- и пожароопасности или по степени опасности для озонового слоя. Обобщённо, хладагенты представляют собой несколько групп веществ неорганической

или органической основы либо азеотропные или неазеотропные смеси из них. Для удобства разделим хладагенты на две группы: природные и синтетические.

Природные хладагенты участвуют в химических и биологических циклах природы без вмешательства человека. К природным хладагентам относятся аммиак (R-717), диоксид углерода (R-744), диоксид серы (R-764), воду (R-718), воздух (R-728) и этиловые эфиры (R-610). Природные хладагенты были основой индустрии с 1800-х по 1930-е годы, пока не были изобретены высокоэффективные синтетические хладагенты. Потенциал использования природных хладагентов очень велик, однако, их повсеместное использование не представляется возможным ввиду специфических требований к хладагентам для различных агрегатов [3]:

1. Вода (R-718) не токсична, не воспламеняется, широко доступна. Обладает высокой эффективностью охлаждения по сравнению с ХФУ, но требует в десять раз большего объемного расхода для заданной холодопроизводительности, что увеличивает стоимость осевых или центробежных компрессоров. Имитационное исследование с использованием пара R-718 в качестве хладагента в многоступенчатой компрессорной установке со стратегией взаимного охлаждения показало, что пар R-718 обладает КПД на 30 % выше по сравнению с синтетическим R-134a при полной нагрузке. Теплофизические свойства R-718 позволяют достичь энергетической эффективности, однако его высокая критическая температура (373,95 °C) и давление (221 бар), высокая начальная стоимость осевых или центробежных компрессоров, большой объемный расход, длительный процесс сжатия, использование теплообменников прямого контакта являются ограничивающими факторами, делающими R-718 менее привлекательным для применения в тепловых насосах.

2. Углеводородные хладагенты включают метан (R-50), этан (R-170), пропан (R-290), бутан (R-600), изобутен (R-600a), этилен (R-1150) и пропилен (R-1270). Гидрокарбонаты обладают превосходной смешиваемостью с синтетическим маслом, меньшим расходом хладагента и совместимы с материалами существующих систем охлаждения и тепловых насосов. Метан (R-50) и этан (R-170) являются легковоспламеняющимися криогенными жидкостями с чрезвычайно низкой температурой кипения. Они используются для охлаждения при экстремально низких температурах (-80 °C). R-290 и R-600 имеют те же характеристики, что и галогенированные УВ, но являются легковоспламеняющимися материалами. Замена атомов водорода хлором, фтором и бромом, снижают воспламеняемость, но начинают оказывать нежелательное воздействие на окружающую среду, которое больше не позволяет им быть природными хладагентами.

3. Воздух (R-729) является экологически чистым хладагентом с нулевым ОРС и ППП при широком диапазоне температур (от -213,15 до 1726,85 °C). Воздух имеет низкое критическое давление 37,2 бар, но чрезвычайно низкую критическую температуру – 140,32 °C. R-729 используется в самолётах, системах кондиционирования воздуха высокоскоростных поездов и промышленных системах охлаждения при сверхнизких температурах (от -50 до -100 °C). Низкий КПД, высокая стоимость и большой размер системы являются потенциальными проблемами при использовании R-729 в качестве промежуточной жидкости.

4. Аммиак (R-717) использовался в качестве хладагентов для охлаждения и кондиционирования воздуха в течение нескольких десятилетий до изобретения электричества. R-717 обладает нулевым содержанием ОРС и ППП, превосходными термодинамическими свойствами и высоким коэффициентом теплопередачи. R-717 широко используется в средней и крупной пищевой промышленности, производстве напитков и консервов. В фазе заливки газ R-717 легче воздуха и легко смешивается с водой. Использование аммиака в качестве хладагента ограничено в жилых и коммерческих системах. Конструкция с плохой герметичностью может дать его утечку. Плохая смешиваемость аммиака требует отдельного механизма возврата масла в

компрессор.

5. Диоксид углерода (CO_2) – это старый природный хладагент с нулевым ОРП и самым низким эффектом ПГП. Он тяжелее воздуха, нетоксичен, негорюч, в избытке содержится в воздухе и является побочным продуктом многих промышленных производств. До 1950 года он использовался в морских установках, позже заменен синтетическими хладагентами из-за более низких рабочих давлений. R-744 недорог, обладает низкой плотностью жидкости, что приводит к уменьшению размера системы и количества загрузки.

6. H_2 (R-702) имеет низкое критическое давление (13 бар), но чрезвычайно низкую критическую температуру ($-239,95\text{ }^\circ\text{C}$). Помимо высокой критической температуры и низкого давления, перед окончательным выбором необходимо учитывать другие параметры, такие как токсичность, воспламеняемость и холодопроизводительность.

Выбор хладагента для теплопередачи зависит от широкого спектра технических, экологических, химических, экономических соображений. Ряд технико-экономических и экологических проблем ограничивают выбор хорошо известных хладагентов с оптимальными эксплуатационными характеристиками. Хладагент может подходить для охлаждения или кондиционирования воздуха, но может не подходить для систем отопления.

Широкое использование хладагентов является неотъемлемой частью хозяйственной деятельности человека и строго регламентируется, как национальными, так и международными документами. Современные тенденции в области обращения с хладагентами имеют выраженную направленность на повышение экологической безопасности, а именно осуществляется постепенный переход от хладагентов с высоким потенциалом глобального потепления и озоноразрушающим потенциалом к более безопасным. И делают экологический фактор определяющим.

Несмотря на весомые обоснования в пользу применения природных хладагентов в виду их низких ПГП и ОРП осуществление полномасштабного и быстрого перехода к ним невозможно, так как остается ряд затрудняющих факторов (конструкционные особенности холодильных систем, потребность в производстве новых агрегатов, токсичность хладагентов, высокое энергопотребление и пр.). Поэтому при подборе вещества необходимо учитывать его термодинамические и физико-химические характеристики во избежание утечек и нанесения ущерба окружающей среде, а также учитывать риски для здоровья человека при возможном контакте, что оставляет необходимым процессы контроля за обращением и идентификацией холодильных агентов.

Литература

1. Доклад ВМО [Электронный ресурс]. Режим доступа: State of the Global Climate in 2022 | World Meteorological Organization (wmo.int) (дата обращения: 22.04.2023).
2. Calm J.M. The Next Generation of Refrigerants. Refrigeration Creates the Future (proceedings of the 22nd International Congress of Refrigeration, Beijing, 2007.08.21-26), Chinese Association of Refrigeration (CAR), Beijing, PRC, and International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, paper ICR07-B2-534.
3. Abas N, Kalair A, Khan N, Kalair AR. Review of GHG emissions in Pakistan compared to SAARC countries. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 80:990–1016.
4. Ko MKW, Sze ND, Molnar G, Prather MJ. Global warming from chlorofluorocarbons and their alternatives: time scales of chemistry and climate. *Atmos Environ Part A Gen Top* 1993; 27:581–7.
5. Naeem Abas, Ali Raza Kalair, Nasrullah Khan, Aun Haider, Zahid Saleem, Muhammad Shoaib Saleem. Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. P. 557-569.

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, НА ПРИМЕРЕ
ИБУПРОФЕНА, В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ**

Извекова А.А.¹ (аспирант)

Научные руководители – к.х.н. Квиткова Е.Ю.¹, д.х.н., доцент Гушин А.А.¹

1 – ФГБОУ ВО “Ивановский государственный химико-технологический университет”

e-mail: annaizvekova98@gmail.com

Работа выполнялась в рамках государственного задания на выполнение НИР: тема №FZZW-2023-0010.

Аннотация

Фармацевтические препараты, поступающие в результате хозяйственной деятельности человека в водные объекты, представляют серьезную проблему для окружающей среды. Очистка сточных вод от этих соединений традиционными методами малоэффективна. В представленной работе приведены результаты исследования процессов деструкции ибупрофена, присутствующего в сточных водах, с использованием плазмы диэлектрического барьерного разряда. Приведены вероятные механизмы разложения ибупрофена и оценены кинетические параметры и энергетический выход процесса. Использование плазменной технологии является новым и перспективным подходом для очистки сточных вод от фармацевтических препаратов. Результаты этого исследования имеют большое значение для научного сообщества, специалистов-экологов и фармацевтических производств.

Ключевые слова

фармацевтические препараты, ибупрофен, очистка сточных вод, загрязнение водных объектов, диэлектрический барьерный разряд, окислительные методы очистки.

Фармацевтические препараты (ФП), присутствующие в природных водах, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, включая водные экосистемы и здоровье человека. Источником поступления ФП и их производных в объекты окружающей среды являются сточные воды фармацевтических производств и медицинских учреждений. Для предотвращения вреда, наносимого окружающей среде ФП, необходимо совершенствовать методы утилизации просроченных и использованных препаратов, осуществлять более эффективную очистку сточных вод. Очистка сточных вод от фармацевтических препаратов является сложной задачей, поскольку многие из этих соединений не поддаются удалению с помощью традиционных методов, включая физико-химические (такие как фильтрация, флотация, осаждение и окисление) или биологические методы.

В качестве альтернативы для очистки сточных вод могут быть предложены плазменные технологии, которые хорошо себя зарекомендовали, так как они могут эффективно разрушать широкий спектр органических соединений, включая фармацевтические препараты [1, 2]. Плазма – это ионизированный газ, который содержит свободные электроны, ионы и нейтральные частицы. Плазма может быть сформирована различными методами, включая использование диэлектрического барьерного разряда (ДБР). Плазма ДБР известна своей способностью генерировать множество активных частиц, таких как гидроксильные радикалы, озон, супероксид-анион, атомарный кислород, и др., которые способны эффективно окислять органические соединения [3].

В работе приведены результаты исследования процессов деструкции ибупрофена с использованием ДБР. Для приготовления рабочих растворов ибупрофена с концентрацией 8,6 мг/л, 21,4 мг/л и 42,8 мг/л соответствующие навески предварительно

измельченной таблетки ибупрофена растворяли в дистиллированной воде, после чего раствор фильтровали.

Концентрация ибупрофена в водном растворе до и после очистки контролировалась спектрофотометрическим методом с помощью спектрофотометра UNICO 2804 ("United Products & Instruments, Inc.", США). Определение альдегидов и карбоновых кислот (в пересчете на CH_3COOH) как продуктов деструкции исследуемого ФП осуществлялось флуориметрическим (анализатор жидкости "Флюорат-02" (Люмэкс, Россия)), и фотометрическим (спектрофотометр UNICO 2804) методами соответственно. Выход CO_2 в газовой фазе контролировался при помощи газовой хроматографии на хроматографе "Хроматэк- Кристалл 5000" (Хроматэк, Россия). Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Эксперимент по обработке модельных растворов ибупрофена проводился на установке, основным элементом которой является плазмохимический реактор с коаксиальным расположением электродов (рис. 1) [4].

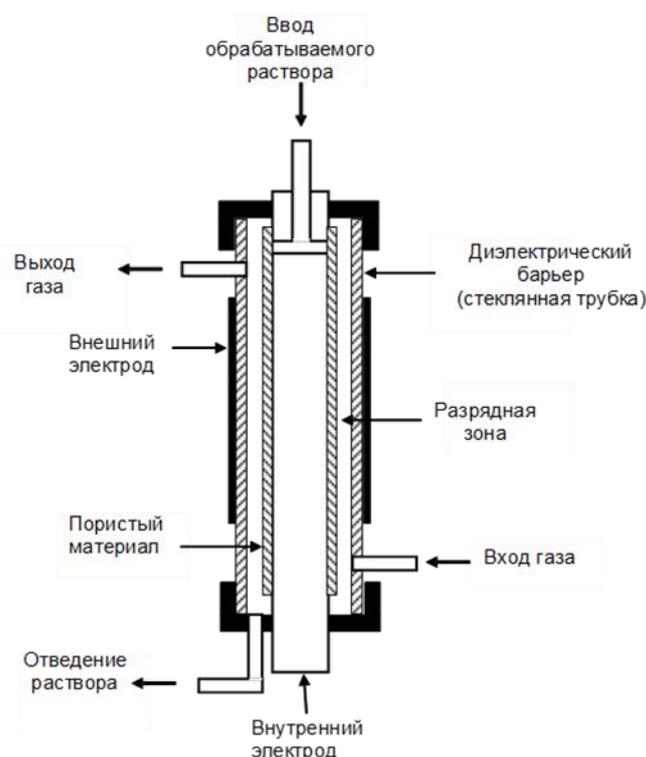


Рис. 1. Элемент реактора с коаксиальным расположением электродов

Наружная трубка реактора была изготовлена из молибденового стекла (внутренний диаметр 23 мм, длина 720 мм), расстояние между изолированным и неизолированным электродами составляло 6 мм. Для подачи плазмообразующего газа и удаления газообразных продуктов в стеклянный корпус реактора (диэлектрик) были вварены два патрубка на расстоянии 520 мм друг от друга. Внутри стеклянной трубки размещался алюминиевый электрод (\varnothing 10 мм). В нём было высверлено отверстие, через которое осуществлялся ввод подвергаемого очистке водного раствора. Внутренний электрод для создания ламинарного течения обрабатываемого раствора был покрыт слоем пористого гидрофильного материала (толщина 1 мм). Исследуемый раствор после обработки выводился из системы через патрубок, расположенный в нижней части электрода.

Для возбуждения разряда использовался трансформатор, характеризующийся следующими параметрами: величина переменного напряжения - 13,8 кВ, $f = 50$ Гц.

плазмообразующим газом являлся технический кислород, который подавался в разрядное устройство с расходом равным $3 \text{ см}^3/\text{с}$.

Экспериментально показано, что эффективность ибупрофена в ДБР может оставлять 98 % при мощности, вкладываемой в разряд равной $04, \text{ Вт}/\text{см}^3$ и временах контакта более $7,2 \text{ с}$ (рис. 2.б).

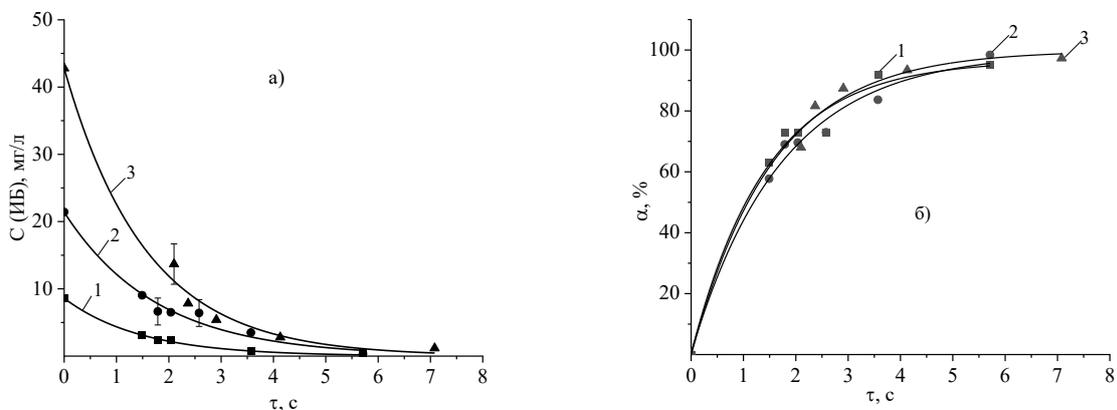


Рис. 2. Кинетика (а) и степень разложения (б) ибупрофена в ДБР.

1, 2, 3 – концентрации 8,6; 21,4 и 42,8 мг/л соответственно

В ходе выполнения эксперимента было проведено измерение показателя ХПК (рис. 3), отражает полноту минерализации исходного соединения (окисление органических веществ в CO_2). Было установлено, что величина ХПК растворов после обработки в плазме снижается с 70 % в до 34 %, что подтверждает высокую окислительную способность метода очистки, т.е. процессы окисления исходного ФП препарата протекают не до конечных продуктов, которыми являются CO_2 и H_2O .

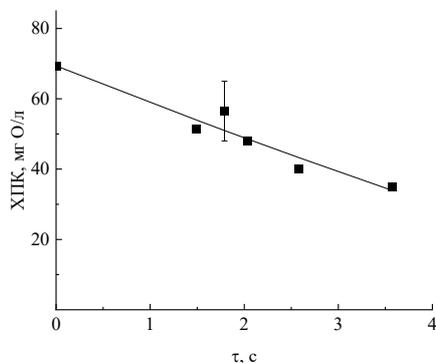


Рис. 3. Изменение показателя ХПК при обработке раствора ибупрофена ($C_n = 21,4 \text{ мг}/\text{л}$) в ДБР

Согласно ранее проведенным исследованиям [5], возможными продуктами разложения ибупрофена в окислительных условиях могут быть альдегиды, карбоновые кислоты и оксиды углерода. Процесс окислительной деструкции любых органических соединений протекает по схеме (рис. 4).



Рис. 4. Процесс окислительной деструкции

Полученные нами продукты окисления ибупрофена в ДБР не противоречат сказанному выше. В растворе после обработки присутствовали альдегиды и карбоновые кислоты, а в газовой фазе – диоксид углерода. Оценка кинетических параметров процесса показала, что средний коэффициент скорости составляет $0,62 \text{ с}^{-1}$, а скорость процесса разложения изменяется в диапазоне ($10,5 \div 48,3$) мкмоль/л·с и зависит от начальной концентрации ФП в растворе. Кинетические параметры соизмеримы с величинами, процесса деструкции тетрациклина гидрохлорида при аналогичных условиях обработки [5]. Энергетическая эффективность процесса, оцениваемая по параметру, характеризующему количество разложившихся молекул вещества при величине приложенной энергии 100 эВ, составила ($0,002 \div 0,009$ молекул) / 100 эВ на в 10 раз меньше величины, характеризующей процесс разложения в ДБР тетрациклина ($0,020 \div 0,056$ молекул / 100 эВ), что свидетельствует о крайней устойчивости ибупрофена к окислительным процессам.

Таким образом, по результатам работы можно сделать вывод, что процесс деструкции ибупрофена в реакторе ДБР протекает достаточно эффективно (степень деструкции достигает 98 %, а степень минерализации снижается в два раза) и этот метод можно использовать для очистки сточных вод фармацевтических производств.

Литература

1. Jiang et al. 2014 B. Jiang, J. Zheng, S. Qiu, M. Wu, Q. Zhang, Z. Yan, Q. Xue Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation Chem. Eng. J. 236 (2014). pp. 348-368.
2. Magureanu M., Mandache N.B., Parvulescu V.I. Degradation of pharmaceutical compounds in water by non-thermal plasma treatment. Water Res. 2015. 81, 124–136.
3. Гущин А.А. Деструкция 2, 4-дихлорфенола, растворенного в воде, в плазме диэлектрического барьерного разряда/ Гущин А.А., Шулык В.Я., Гусев Г.И., Извекова Т.В. //Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. № 4. (153). С. 23-26.
4. Gushchin A.A., Grinevich V.I., Izvekova T.V., Kvitkova E.Y., Tyukanova K.A., Rybkin V.V. 2019. The Destruction of Carbon Tetrachloride Dissolved in Water in a Dielectric Barrier Discharge in Oxygen. 39,461–473. <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09958-9>.
5. Gushchin A. et al. Reducing the Toxicity of Tetracycline Solutions and the Kinetics of Decomposition under the Action of DBD in Oxygen //Plasma Medicine. 2019. Т. 9. № 2.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кисарова М.Ю.¹, Юльметова Р.Ф.¹

Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.¹

1– Университет ИТМО

e-mail: kisarovam@yandex.ru

Аннотация

В работе рассмотрена деятельность предприятия по производству полиграфической продукции, проведена оценка технологического процесса и образующихся отходов на каждом этапе производства. В ходе оценки была выявлена необходимость в оптимизации производственных процессов с целью переработки отходов, образующихся из-за высокого процента брака при печати и послепечатной обработке. В статье предлагается решение, способствующее переработке образующихся отходов без отрыва от производства.

Ключевые слова

Полиграфическое производство, отходы в виде брака, переработка отходов, внедрение оборудования, прессованная макулатура.

Полиграфическое производство – развитая отрасль промышленности, выполняющая виды полиграфических работ по выпуску печатной продукции. Из-за особенностей технологических процессов используемые материалы и полученные в ходе производства отходы могут быть вредными для окружающей среды [1]. Именно поэтому существует необходимость в оптимизации процессов производства.

Совершенствование технологических процессов полиграфической промышленности должно быть направлено на сокращение количества поступающих в атмосферу и сточные воды вредных веществ, а также максимальное использование переработанных отходов.

В связи с этим вопрос переработки отходов становится важной задачей. Офсетные типографии производят множество различных отходов, потенциально пригодных к переработке. К ним относятся обрезки, бракованная продукция, бумажный срыв, остатки ролей, которые могут применяться для производства прочной высококачественной бумаги со вторичными волокнами [2].

Было рассмотрено современное полиграфическое предприятие полного цикла, осуществляющее полноцветную офсетную печать. Типография оснащена современными высокоскоростными печатными машинами.

В ходе оценки технологического процесса предприятия было выявлено, что в процессе хозяйственной и (или) иной деятельности в соответствии с федеральным классификатором отходов образуется 12 (двенадцать) наименований отходов I-V классов опасности (табл. 1).

Структурно-технологическая схема и виды образующихся отходов на каждом этапе производства изображены на рисунке 1. Помимо отходов производства были выявлены отходы, образующиеся в процессе хозяйственной деятельности предприятия: лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства, мусор от офисных и бытовых помещений организации несортированный (исключая крупногабаритный), смет с территории предприятия малоопасный, прочая продукция из натуральной древесины, утратившая потребительские свойства.

**Перечень видов отходов, образующихся в процессе хозяйственной
и (или) иной деятельности**

№ п/п	Наименование отходов	Код по ФККО	Класс опасности	Отходообразующий вид деятельности, процесс	Количество образовавшихся отходов, тонн/год
1	Тара из черных металлов, загрязненная лакокрасочными материалами (содержание менее 5%)	4 68 112 02 51 4	4	Использование лакокрасочных материалов в таре из черных металлов	0,4
2	Лом и отходы алюминия несортированные	4 62 200 06 20 5	5	Изготовление офсетных пластин	44,5
3	Отходы полиэтиленовой тары незагрязненной	4 34 110 04 51 5	5	Растаривание	1,9
4	Отходы конвейерные, приводные ремни, утратившие потребительские свойства, незагрязненные	4 31 120 01 51 5	5	Использование по назначению с утратой потребительских свойств	0,2
5	Отходы растворителя на основе спирта изопропилового	4 14 126 34 10 3	3	Использование растворителя	7
6	Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами	9 19 204 02 60 4	4	Осмотр оборудования	0,2
7	Отходы потребления обойной, пачечной, шпальной и других видов бумаги	4 05 403 01 50 5	5	Использование бумаги	0,4
8	Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства	4 71 101 01 52 1	1	Замена отработанных ртутьсодержащих ламп	-
9	Мусор от офисных и бытовых помещений организации несортированный (исключая крупногабаритный)	7 33 100 01 72 4	4	Офисная деятельность	3,4

продолжение таблицы

№ п/п	Наименование отходов	Код по ФККО	Класс опасности	Отхообразующий вид деятельности, процесс	Количество образовавшихся отходов, тонн/год
10	Смет с территории предприятия малоопасный	7 33 390 01 71 4	4	Уборка территории предприятия	1,5
11	Прочая продукция из натуральной древесины, утратившая потребительские свойства	4 04 190 00 51 5	5	Использование по назначению с утратой потребительских свойств	-
12	Использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги	4 05 122 01 60 5	5	Списание бракованных изделий	413,4

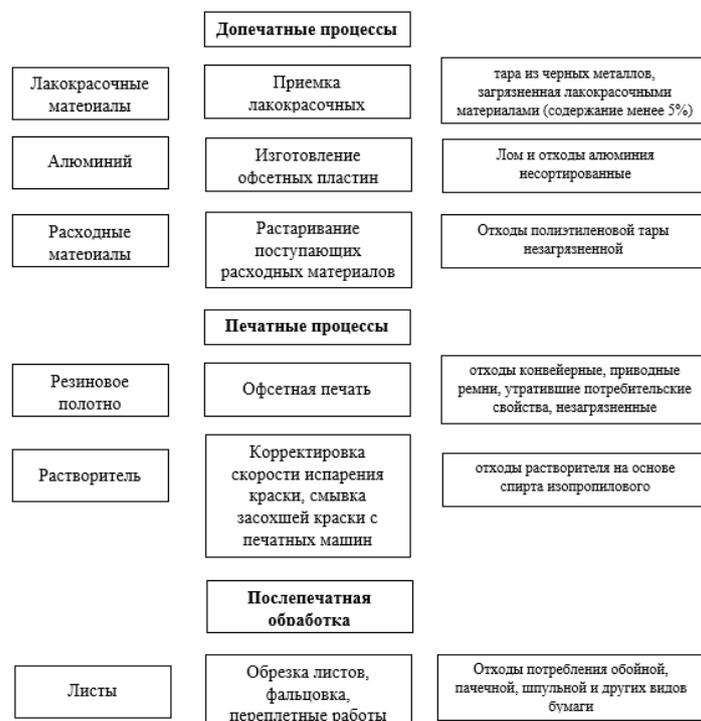


Рис. 1. Структурно-технологическая схема производства

Кроме того, на этапе печатных процессов и послепечатной обработки образуются отходы из-за высокого процента брака, классифицируемые как «Использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги». Данные отходы формируют большую часть в доле образующихся отходов и составляют около 413,4 т/год. На рассматриваемом объекте отсутствует оборудование и установки по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов производства и потребления, поэтому у предприятия заключен договор со сторонними организациями на вывоз вторсырья для утилизации. Предприятие вносит плату за негативное воздействие на окружающую среду в размере 9012,12 руб./год. Плата за негативное воздействие рассчитывалась следующим образом [3].

Ставки платы при размещении отходов V класса опасности (практически неопасные) в 2023 году:

$$17,3*1,26=21,8 \text{ руб.}$$

Следовательно, плата за негативное воздействие на окружающую среду:

$$\text{Потх}=21,8 \text{ руб.} * 413,4 \text{ т/год}=9012,12 \text{ руб./год.}$$

В связи с этим предлагается установить необходимое оборудование с целью прессования макулатуры и дальнейшей продажи вторсырья целлюлозно-промышленным предприятиям, либо пунктам сбора.

Проект предполагает внедрение дополнительного оборудования, а именно Пресс ППП-5 (380 В). Общий вид Пресса представлен на рисунке 2 [4].



Рис. 2. Общий вид Пресса ППП-5 (380 В)

Оборудование подбиралось из расчета среднего количества образующихся отходов в день: приблизительно 1, 6 т/день. Технические характеристики оборудования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики оборудования Пресс ППП-5

Характеристика	Ед. измерения	Значение
Усилие прессования	тН	5
Вес тюка	кг	40
Производительность	кг/8ч	2000
Размер загрузочного окна	мм	500x750
Размер готового тюка	мм	700x750x500
Габариты	мм	2300x1000x600
Мощность двигателя	кВт	1,5
Напряжение питания	В	380
Масса	кг	460
Стоимость	руб.	169000

На предприятии образуются отходы бумаги одного вида, поэтому этап сортировки допускается пропустить. При этом, так как отходы бумаги не контактируют с другими отходами, нет необходимости устанавливать установки для их очистки.

На территории предприятия организованы места временного хранения (накопления) отходов. В связи с тем, что пресс уплотняет отходы в 5-7 раз, часть места для размещения отходов можно переоборудовать для размещения установки.

Приобретение дополнительного оборудования требует некоторых инвестиционных затрат. Структура инвестиционных затрат представлена в таблице 3.

Таблица 3

Структура инвестиционных затрат

№п/п	Наименование статьи затрат	Стоимость, тыс. руб	Примечание
1	Приобретение оборудования	169	[4]
2	Разработка проекта	16,9	10–40 % от п.1
3	Транспортно-заготовительные расходы	11,8	3–7 % от п.1
4	Обучение	5,07	3–5 % от п.1
5	Прочие расходы	3,38	2–3 % от п.1
	ИТОГО: I_0	206,15	

В среднем в год образуется 413,4 т/год отходов бумаги, образующихся из-за большого процента брака, соответственно, чтобы перерабатывать его равномерно в течении года при производительности оборудования до 2000 кг за 8 часов, потребуется 1 сотрудник со стандартным графиком работы – 5 дней в неделю при 8-часовой смене. Средняя заработная плата сотрудника – 40000 руб./мес., следовательно годовая заработная плата с учетом единого социального налога:

$$\text{Фонд оплаты труда} = (1 \cdot 40000 \cdot 12) + (1 \cdot 40000 \cdot 12) \cdot 0,302 = 624960 \text{ руб./год.}$$

Затраты на электроэнергию рассчитывались следующим образом:

1. Общая потребляемая мощность оборудования – 1,5 кВт.
2. Тариф за плату 1 кВт*ч электроэнергии составляет 5,70 руб./кВт*ч, тогда, при условии, что оборудование работает $22 \cdot 8 \cdot 12 = 2112$ ч./год, то за год будет затрачено на электроэнергию:

$$\text{Затраты на электроэнергию} = 5,70 \cdot 2112 \cdot 1,5 = 18057 \text{ руб.}$$

Для обвязки одной кипы шириной 0,75 м и высотой 0,7 м требуется ~3,2 м ленты одной стропы. Расчет проводится следующим образом:

$$(0,70 \text{ м} \cdot 2 + 0,75 \text{ м} \cdot 2) + 0,3 \text{ м на узелок} = 3,2 \text{ м.}$$

В мотке 2000 метров ленты, соответственно одного мотка ленты хватит примерно на 625 тюков.

$$2000 \text{ м} / 3,2 \text{ м} = 625 \text{ тюков.}$$

На предприятии ежедневно образуется примерно 1,6 т отходов брака, вес тюка = 40 кг, следовательно, в день будет образовываться примерно 40 тюков. В год будет образовываться примерно 10560 тюков. Следовательно, в год будет необходимо 17 мотков ленты. Один моток ленты стоит 3500 руб., 17 мотков: $3500 \cdot 17 = 59500$ руб.

Рассчитанные эксплуатационные затраты представлены в таблице 4.

Структура эксплуатационных затрат

№п/п	Наименование статьи затрат	Стоимость, руб.	Примечание
1	Электроэнергия	18057	
2	Техническое обслуживание и ремонт	8450	5-10% от ст-ти оборудования
3	Оплата труда	624960	
4	Лента для обвязки кип 2000м	59500	
	Итого	710 967	

Внедрение проекта предполагает переход на переработку отходов бумаги непосредственно на производстве. На данный момент предприятие передает на утилизацию отходы сторонним организациям. После переработки предприятие сможет продавать прессованную макулатуру по более выгодным ставкам. Компания ООО «Корона» принимает прессованную макулатуру по 5,8 руб/кг [5], транспортные расходы берет на себя. Следовательно, прибыль от продажи вторсырья будет составлять:

$$413\,400 \text{ кг/год} * 5,8 \text{ руб/кг} = 2\,397\,720 \text{ руб/год.}$$

Чистая годовая экономия (В) с учетом исключения платы за негативное воздействие на окружающую среду и эксплуатационных затрат составит 1 677 740,88 руб.

Срок окупаемости проекта составляет:

$$PB = \frac{I_0}{B} = \frac{206,15}{1\,677,740} = 0,12 \text{ лет}$$

Показатели, характеризующие проект, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Основные показатели проекта

Название проекта	Экономический эффект, (годовая чистая экономия) тыс. руб./год	Экологический эффект, т/год (% снижения)	Инвестиции (стоимость проекта), тыс. руб.	Срок окупаемости, год
Установка пресса для отходов бумаги	1 678	413,4 (100)	206,15	0,12

Для реализации проекта предлагается использовать собственный капитал в размере 104 тыс. руб., а также капитал, полученный в результате заема средств на 2 года с процентной ставкой 20 % (r), в размере 104 тыс. руб. План выплат представлен в таблице 6.

Таблица 6

План выплат, тыс. руб.

Основные события	Дата	Выплата		Проценты на выданную сумму	Выплата и проценты
		Заемщик	Банк		
Заем долга	01.04.2023	-	104	-	-
Возврат долга	01.04.2024	52	-	20,8	72,8
Возврат долга	01.04.2025	52	-	10,4	62,4
Всего		104	104	31,2	135,2

При внедрении на предприятие проекта необходимо уплатить следующие виды налогов:

1. Налог на имущество - 2% от стоимости имущества без НДС:

$$\text{Налог на имущество} = (I_0:1,2) \times 0,02 = (206\ 150/1,2) \times 0,02 = 3435 \text{ руб./год.}$$

2. Налог на прибыль - 20% от суммы прибыли:

$$\text{Налог на прибыль} = B \times 0,2 = 1\ 755\ 265,12 \times 0,2 = 351\ 053 \text{ руб./год.}$$

Итого: налоги - 354 488 руб./год.

Внутренняя норма рентабельности IRR была найдена графическим способом (рис. 3). Проект рентабелен, если внутренняя норма рентабельности $IRR > r$. Из графика видно, что $IRR = 31,5 \%$, из чего можно сделать вывод о рентабельности проекта ($IRR > r$).

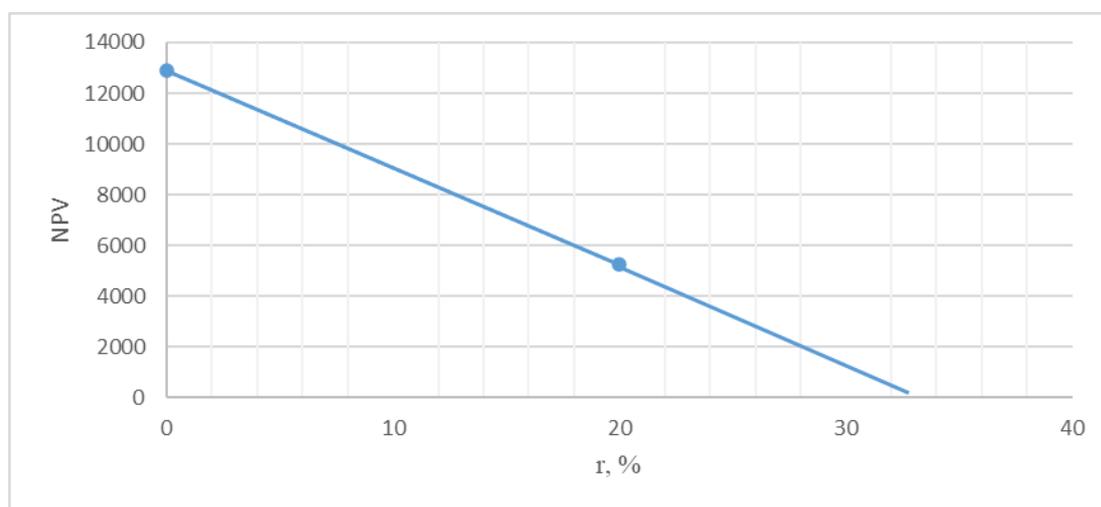


Рис. 3. Внутренняя норма рентабельности проекта

Таким образом, на основании проведенного исследования были предложены мероприятия, способствующие переработке образующихся отходов без отрыва от производства. Предложенный проект позволит: сократить количество размещаемых отходов, а следовательно, количество мест для временного хранения отходов; снизить плату за негативное воздействие на окружающую среду (исключит необходимость платы за размещение отходов в виде брака); получить прибыль с продажи прессованной макулатуры.

Полученные данные могут быть использованы на предприятиях, на которых образуется большое количество макулатуры вследствие особенностей технологических процессов или в процессе хозяйственной деятельности.

Литература

1. Маркова Д.Г. Анализ вопроса экологичности в полиграфической промышленности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №12. С. 582–584.
2. Ледницкий А.В., Куприян С.В., Сильванович И.А. Рациональное использование ресурсов и вторичная переработка как фактор устойчивого развития предприятий полиграфической промышленности // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. 2017. №1(196). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ratsionalnoe-ispolzovanie-resursov-i-vtorichnaya> (дата обращения: 04.03.2023).

3. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 24.01.2020) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах". [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/24bedf438cb57_123e864ba598a271912f8736b86/ (дата обращения: 25.02.2023).
4. Национальная торговая компания. Пресс ПРГП-5 (360В). Режим доступа: <https://www.n-t-c.ru/catalog/pressy/seriya-standart/press-pgp-5-380v/> (дата обращения: 06.03.2023).
5. ООО «Корона». Калькулятор расчета стоимости вторсырья. Режим доступа: <https://koronaspb.ru/service/priem-vtorsyrya/buy/> (дата обращения: 06.03.2023).

ХИМИЧЕСКИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОСЕЛКА ТОКСОВО

Кондратьева С.А.¹ (школьник)

Научный руководитель – педагог дополнительного образования Ширяев В.А.¹

1 – Государственное бюджетное нетиповое общеобразовательное учреждение

"Санкт-Петербургский городской дворец творчества юных

"Эколого-биологический центр "Крестовский остров"

e-mail: sony_245@mail.ru

Аннотация

Данная исследовательская работа посвящена химическому анализу водных объектов с точки зрения содержания жесткости, биогенных соединений и тяжелых металлов. В ней описаны методы отбора и обработки проб воды, а также методы определения концентрации интересующих веществ. Автор проводит сравнительный анализ результатов для различных водных объектов и оценивают степень их загрязнения. Также в работе обсуждаются возможные причины и последствия загрязнения водных объектов биогенными соединениями и тяжелыми металлами. В заключении делаются выводы о необходимости контроля качества водных ресурсов и предлагаются рекомендации по их охране и очистке.

Ключевые слова

Анализ вод, загрязнение вод, биогенные элементы, тяжелые металлы, титриметрия, фотометрия.

Вода в природных объектах может менять свои свойства из-за воздействия человеческой деятельности. Это называется загрязнением воды. Основная причина этого – выброс в воду разных веществ из бытовых и промышленных источников (например, растворов удобрений).

В водных объектах всегда присутствовали разные вещества, но их концентрации были намного меньше до начала сбросов отходов в воду. Для некоторых живых организмов (включая некоторые микроорганизмы) органические и биогенные вещества являются основным источником питания, а не загрязнителями, а для других – наоборот. Таким образом, одни водные организмы активно развиваются и увеличивают свою численность, а другие перестают расти и размножаться и постепенно вымирают.

Под качеством воды понимают характеристику ее состава и свойств, которая определяет, для каких целей ее можно использовать. Качество воды зависит от множества показателей, среди которых особое значение имеют жесткость, биогены и содержание некоторых тяжелых металлов.

Интерес к контролю качества воды неуклонно возрастает. Это объясняется несколькими причинами, основная из которых – продолжающееся загрязнение окружающей среды, что приводит к востребованности информации о качестве окружающей среды со стороны общественности.

В данной работе проведены измерения концентраций жесткости, биогенных элементов и некоторых ионов металлов искусственного котлована и речки, протекающей немного поодаль, в поселке Токсово, дабы выяснить экологического состояние этих водных объектов, влияние веществ из речки на котлован и в дальнейшем определиться с пригодностью использования этих водных объектов для хозяйственно-бытовых нужд населения поселка.

Для определения состояния водных объектов были взяты нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (в последующем – ПДК), потому что жители Токсово рыбачат в этой речке.

Цель работы: определить качества воды из котлована и речки поселка Токсово.

Для определения концентрации жесткости был выбран метод титриметрии [1, 2]. Для определения концентраций биогенных соединений и тяжелых металлов – методы фотометрии [3-5]. Такие методы отличаются доступностью оборудования и достаточно точной достоверностью результатов.

Проведена визуальная оценка водных объектов (рис. 1, 2). Искусственный котлован характеризуется повышенной вегетацией, что может свидетельствовать о небольшом содержании биогенных соединений. Речка отличается сильной пенистостью, это может указывать на большое содержание фосфатов, а соответственно и полифосфатов. Стоит отметить, что два этих водных объекта на местности никак не связаны, а также что рядом с речкой проходит автодорога, которая может оказывать отрицательное воздействие.



Рис. 1. Фотография котлована Токсово



Рис. 2. Фотография речки Токсово

Жесткость воды определяется количеством ионов кальция и магния, которые растворены в ней. Эти два иона из группы щелочноземельных оказывают наибольшее влияние на этот показатель.

В природных условиях катионы кальция и магния могут попадать в водные объекты в результате растворения карбонатных минералов под действием углекислого газа или других процессов химического выветривания горных пород. Кроме того, источником этих катионов могут служить микробиологические процессы, протекающие в почвах и донных отложениях. Неестественное содержание солей, обуславливающих

жесткость воды, может изменяться в результате соответствующей обработки или сброса определенных видов сточных вод в водотоки.

Карбонатная жесткость воды определяется как количество катионов кальция и магния, эквивалентное количеству карбонатных и бикарбонатных анионов. Некарбонатная жесткость определяется как разность между общей и карбонатной жесткостью и показывает количество катионов щелочноземельных металлов, соответствующих анионам минеральных кислот.

По результатам титриметрии (рис. 3) вода в котловане и в речке является мягкой (концентрации общей, кальциевой и магниевой жесткости не превышают ПДК).

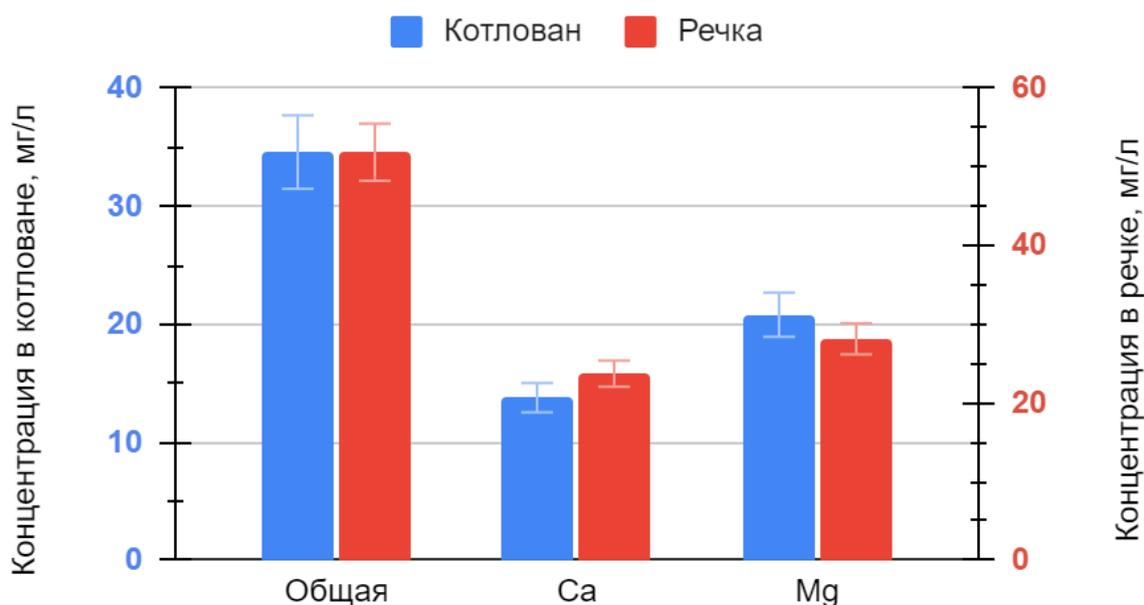


Рис. 3. Концентрации жесткостей

Биогенными элементами традиционно считаются элементы, которые входят в состав живых организмов в значительных количествах. К ним относятся азот, фосфор, сера, железо, кальций, магний и калий. В связи с проблемами экологической оценки водных объектов понятие биогенных элементов было расширено: к ним относят соединения, которые возникают в процессе жизнедеятельности различных организмов или которые являются основой для живых организмов. В основном к ним относят соединения азота (нитраты) и фосфора (ортофосфаты).

Нитраты могут попасть в пруд или речку из разных источников. Они могут проникнуть в воду из удобрений, которые используются в сельском хозяйстве и растворяются в земле. Кроме того, нитраты могут попасть в воду из промышленных отходов или бытовой химии. Вредные соли азота часто обнаруживаются в водных источниках, которые обслуживают частные хозяйства.

Фосфаты могут попасть в воду из разных источников. Одним из основных источников является избыточное применение неорганических минеральных удобрений, преимущественно фосфорных. Кроме того, фосфаты могут попадать в воду из сточных вод, которые содержат фосфорсодержащие соединения. Эти соединения могут быть использованы в различных отраслях промышленности и бытовой химии. Например, фосфаты используются как добавки в пищевой промышленности и как компоненты моющих средств.

По результатам фотометрии биогенных соединений (рис. 4) концентрация каждого биогена в котловане очень мала. Нитраты и полифосфаты не превышают ПДК, фосфаты же хоть и немного превышают ПДК, но значение их концентрации лежит близко по

значению к ПДК. Это подтверждает гипотезу, выдвинутую при визуальной оценке котлована. В речке же только концентрация нитратов лежит в пределах нормы, но вот концентрации фосфатов и полифосфатов сильно превышают ПДК (фосфаты - в 10 раз, полифосфаты – в 3 раза), что также подтверждает гипотезу, выдвинутую при визуальной оценке речки. Высокая концентрация фосфатов и полифосфатов в речке может быть вызвана применением жителями фосфорных удобрений, которые в результате их растворения в земле дождевой водой, попадают в речку и там образуют различные соединения.

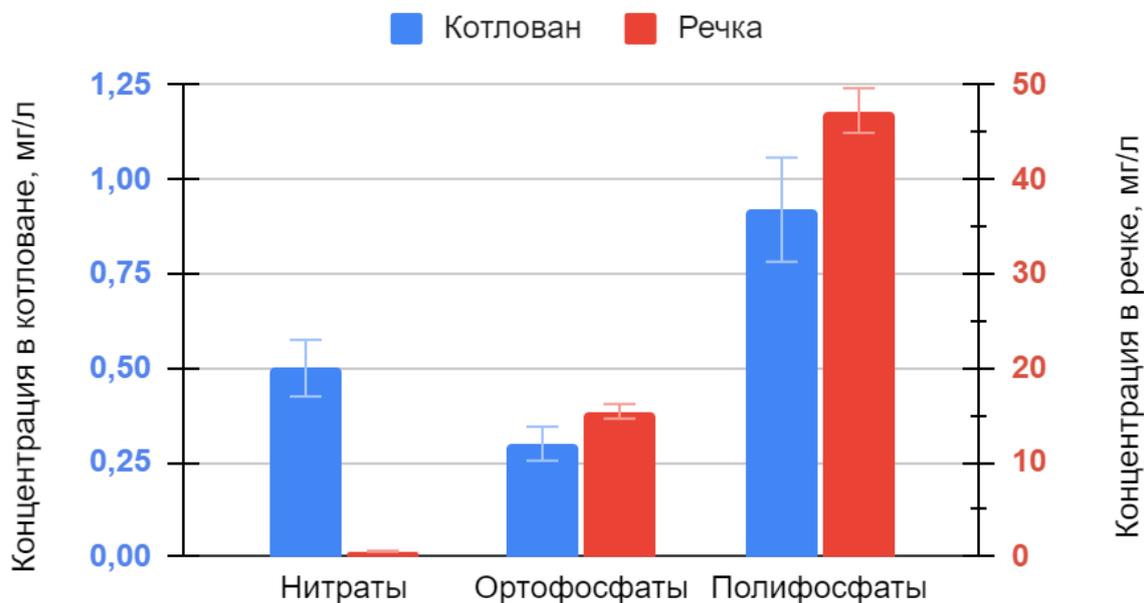


Рис. 4. Концентрации биогенных соединений

Наблюдения за загрязнением тяжелыми металлами являются обязательными во всех средах, так как они являются приоритетными загрязняющими веществами. Существует более 40 элементов с атомной массой более 50 а.е.м., которые относятся к тяжелым металлам, согласно периодической системе Д.И. Менделеева. Это включает в себя элементы, такие как V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg и Pb. Хотя большинство из них являются микроэлементами и необходимы для нормального метаболизма живых организмов, при высоких концентрациях они могут стать токсичными.

Основными источниками загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами являются сточные воды предприятий горнодобывающей промышленности, металлургических комплексов и машиностроительных заводов. Кроме того, тяжелые металлы содержатся в составе удобрений и пестицидов, которые могут проникать в водоемы через стоки с сельскохозяйственных угодий. Увеличение концентрации тяжелых металлов в природных водах часто коррелирует с другими видами загрязнения, такими как закисление.

В нашем случае были выделены следующие элементы для проверки на допустимые концентрации, потому что они наиболее распространены в качестве загрязнителей водных объектов: Co (III), Fe (III), Al (III), Cu (II).

Железо является одним из наиболее распространенных элементов в природе. Основными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, которые сопровождаются механическим разрушением и растворением. В результате взаимодействия с минеральными и органическими веществами, содержащимися в природных водах, образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в растворенном, коллоидном и взвешенном

состояниях. Значительные количества железа поступают также с подземным стоком, со сточными водами предприятий различной промышленности и сельскохозяйственными стоками. Этот элемент является биологически активным элементом и оказывает влияние на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоемах.

Алюминий является одним из наиболее распространенных элементов в земной коре и содержится практически во всех природных водах. Он попадает в природные воды естественным путем при частичном растворении алюмосиликатов, а также в результате выбросов отдельных производств, с атмосферными осадками или сточными водами.

Кобальт является биологически активным элементом и всегда присутствует в организмах животных и растений. Соединения кобальта попадают в природные воды в результате выщелачивания из различных руд, из почв при разложении организмов и растений, а также со сточными водами различных заводов.

Медь является важным элементом для всех живых организмов при низких уровнях потребления. Однако превышенная концентрация меди в воде может негативно сказаться на ее использовании в быту: вода может приобрести голубоватый оттенок, а на поверхностях из нержавеющей стали может образоваться темный несмываемый налет. Медь часто попадает в окружающую среду через свалки, бытовые сточные воды, сжигание топлива и отходов, производство древесины или фосфорных удобрений.

По результатам фотометрии тяжелых металлов (рис. 5) концентрация ионов Co (III) в обоих водных объектах превышает норму. В речке это может быть связано с проходящей рядом автодорогой, так как кобальт входит в состав красок для машин. А из-за того, что речка и котлован могут быть как-то связаны под землей (например, грунтовыми водами), то повышенная концентрация кобальта в речке переходит в котлован и там накапливается – это подтверждает предположение о влиянии речки на котлован. Концентрация ионов Fe (III) в водных объектах не превышает ПДК. Концентрация ионов Al (III) в котловане сильно превышает ПДК, это объясняется повышенной вегетацией, из-за которой можно сделать вывод, что в котловане большое количество водорослей, в жизненных процессах которых участвует алюминий. В речке алюминий не превышает ПДК. Ионы Cu (II) в котловане не превышает норму, но вот её концентрация в речке сильно превышает ПДК. Это может быть связано с используемыми жителями средствами, в состав которых скорее всего входит медный купорос, против жуков для защиты своих огородов.

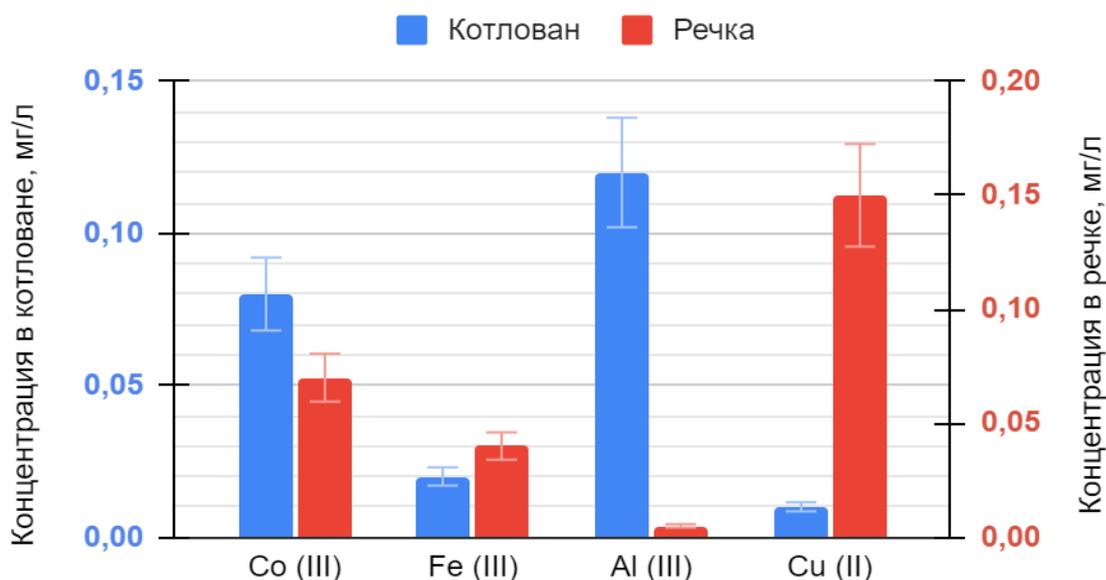


Рис. 5. Концентрации тяжелых металлов

Итак, по итогам анализа водных объектов, котлован имеет приемлемый экологический профиль для использования его жителями для хозяйственно-бытовых нужд поселка. Речку же не рекомендуется использовать в хозяйственно-бытовых нуждах из-за большой концентрации ионов меди, которые негативно влияют на здоровье человека и состояние садового инвентаря. Кроме того, повышенное содержание фосфатов в речке также пагубно влияет на ее экологическое состояние.

Литература

1. ГОСТ 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. Введен 01.01.2014. М.: Стандартиформ. 2018. 18 с.
2. ГОСТ 23268.5–78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния. Введен 01.01.1980. Государственный комитет СССР по стандартам. 1978. 15 с.
3. ГОСТ 33045-2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Введен 01.01.2016. М.: Стандартиформ, 2019. 24 с.
4. Мельникова Е.А. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. М.: Стройиздат, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР, 1973. 272 с.
5. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина. 1990. 400 с.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ БОКСИТОВ

Лекомцева М.В.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: liekomtsieva1999@mail.ru

Аннотация

Активное развитие алюминиевой промышленности оказывает негативное влияние на окружающую среду. Наибольшее воздействие обусловлено такими процессами как добыча и транспортировка бокситов. В работе подробно рассмотрены причины загрязнения окружающей среды, их основные источники, а также мероприятия по снижению негативного воздействия.

Ключевые слова

Алюминий, бокситы, бокситовая пыль, железнодорожный транспорт, открытая разработка месторождения, спецтехника.

Развитие алюминиевой промышленности является одной из стратегических задач России. Необходимость добычи и транспортировки алюминиевой руды увеличивает экологические риски, с которыми всегда сопряжено промышленное производство алюминия. К ним относятся выбросы вредных веществ в атмосферу, образование отходов, нарушение почвенного покрова, высокое потребление энергии. Данная проблема актуальна, так как в настоящее время алюминиевая промышленность активно развивается во всем мире.

На рисунке 1 представлены данные государственного баланса запасов бокситов в РФ, актуальные на 01.01.2021. Они составляют 1373,5 млн т бокситов, заключенных в недрах 36 месторождений. Еще 20 месторождений содержат только забалансовые запасы [1]. Таким образом, Россия обладает достаточно большим потенциалом для продолжения активного развития алюминиевой промышленности.



Рис. 1. Месторождения бокситов на территории Российской Федерации

Производство алюминия включает в себя большое количество этапов, начиная от разработки месторождения бокситов и заканчивая получением готовой продукции на

алюминиевом заводе. В рамках данной статьи были подробно рассмотрены этапы обращения с исходным сырьем – бокситами. Добыча бокситов в большинстве случаев осуществляется открытым способом. На рисунке 2 представлена подробная схема технологического процесса, который проходит бокситовая руда до момента ее транспортировки на завод по производству глинозема.



Рис. 2. Технологический процесс добычи и транспортировки бокситовой руды

Открытая разработка месторождения включает в себя:

- подготовительные работы;
- буровзрывные работы;
- добычу руды;
- транспортировку;
- обращение с породами.

Процесс разработки начинается со снятия слоя почвы с помощью бульдозера. Далее почва грузится экскаваторами или погрузчиками и вывозится во временный отвал или к месту использования. Затем проводятся вскрышные работы, благодаря которым обеспечивается доступ к руде. Вскрытие производится экскаваторами, которые разрушают породу с помощью рабочих элементов роторного колеса и транспортируют ее в отвалы или склады. Буровзрывные работы проводятся для подготовки скального массива к экскавации. Далее осуществляется добыча руды с помощью экскаватора, полученную руду разгружают в автосамосвалы или железнодорожные думпкары, после чего ее отправляют на первичную подготовку.

Добыча бокситов открытым способом приводит к выбросу большого количества бокситовой пыли, в которой содержатся оксиды алюминия, железа и кремния, а также остаточные количества тяжелых металлов.

При накоплении всех этих веществ в атмосфере заметно ухудшается качество воздуха. У рабочих, постоянно взаимодействующих с бокситовой пылью, развиваются заболевания легких. Также большое количество пыли значительно снижает видимость и становится угрозой безопасности для человека.

Также негативное влияние добычи бокситов сказывается на почву и водную среду. Разработка бокситового карьера приводит к уничтожению почвенного покрова, эрозии почв и просадочным явлениям [2]. Водная среда часто страдает от загрязнения бокситовой пылью. Такое загрязнение приводит к накоплению вредных веществ в организмах рыб и других водных обитателей.

Кроме того, при добыче бокситов происходит загрязнение атмосферы выхлопными газами от автотранспорта и спецтехники. Основными источниками загрязнения являются двигатели тяжелого оборудования: бульдозеры, экскаваторы, буровые станки,

погрузчики, грузовые автомобили, дробилки и обогатительное оборудование, конвейеры [3].

В таблице приведены данные по мощности спецтехники, которая чаще всего используется при добыче бокситов.

Таблица

Основные характеристики транспорта, используемого при добыче бокситов

Наименование	Марка	Мощность кВт (л.с.)
Бульдозер	CAT D10T2	447 (600)
Автосамосвал	БелАЗ-75131	1 194 кВт (1 600)
Экскаватор	ЭКГ-15	1250
Буровой станок	БТС-150	114
Трактор	T-170	125 (170)

При транспортировке бокситов помимо загрязнения окружающей среды бокситовой пылью (например, при перегрузке или отгрузке сырья) оказывается негативное воздействие и от железнодорожного транспорта.

Сравнение мощностей двух наиболее распространенных типов локомотивов – тепловоза 2ТЭ70 и электровоза 4ЭС5К показывает, что более энергоэффективным является тепловоз. Рассмотренный тепловоз при мощности часового режима 3000 кВт и удельном расходе топлива 195 г/кВт·ч потребляет в 4 раза меньше электроэнергии [4], чем электровоз 4ЭС5К с мощностью часового режима 13120 кВт [5].

Для уменьшения негативного воздействия при добыче и транспортировке бокситов обычно проводятся следующие мероприятия:

- использование современного технологического оборудования, которое оказывает минимальное негативное воздействие на окружающую среду;
- применение технологического режима, который ограничивает выброс загрязняющих веществ в атмосферу;
- орошение водой дорог, отвалов;
- использование буровых станков, в которых есть система водо-воздушного пылеподавления;
- проведения техосмотров и техобслуживания используемой техники;
- обеспечение полноты сгорания топлива;
- сокращение холостых пробегов и работы двигателей без нагрузок;
- организация и соблюдение санитарно-защитной зоны;
- соблюдение правил промышленной безопасности, которые позволяют избежать возникновения аварийных ситуаций и загрязнения окружающей среды аварийными выбросами.

Таким образом, развитие алюминиевой промышленности неизбежно приводит к загрязнению окружающей среды, однако верно выбранные мероприятия по снижению негативного воздействия вредных факторов позволяют повысить экологичность добычи алюминиевого сырья. В дальнейшем планируется проведение сравнительной оценки экологического воздействия для различных наборов мер управления с учетом условий добычи и транспортировки бокситовой руды.

Литература

1. Энциклопедия технологий 2.0. Производство металлов / гл. ред. Д. О. Скобелев; ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». М.; СПб. 2019.
2. Производство алюминия / Юрков А.Л., Курошев И.С., Доброхотова М.С. М. 2020. 107 с.

3. Kuznetsova E.G., Pystina T.N., Zhangurov E.V. Assessment of soil and vegetation contamination in the zone affected by Middle Timan Bauxite Mine (Komi Republic, Russia) // 9th international congress Soil of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas. 2017. P. 139–140.
4. Коломенский завод: Грузовой тепловоз 2ТЭ70 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kolomnadiesel.com/catalog/detail.php?ID=56>. (дата обращения:01.03.2023).
5. Софрино Электротранспорт: Электровоз 4ЭС5К [Электронный ресурс]. URL: <https://seltrans.ru/ru/blog/elektrovoz-4es5k>. (дата обращения:01.03.2023).

СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Мазурик Д.И.¹

Научный руководитель – д.х.н., профессор Дягилева А.Б.¹

1 – ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна
e-mail: mazurikdi@mail.ru

Аннотация

В работе приводится исследование по изучению ростостимулирующей активности водной вытяжки коры, подготовленной специальным образом, которая может использоваться при обслуживании урбанизированных территорий. Эффективность новых композиций в качестве стимуляторов обусловлена наличием веществ, схожих с природными гуминовыми веществами, что позволяет им естественным образом вписываться в процесс накопления органического вещества почвенного слоя. В материалах приведены результаты анализа водной вытяжки и сделаны выводы на основе положительных эффектов стимуляции роста различных растений, используемых для обслуживания урбанизированных территорий.

Ключевые слова

Стимуляторы роста, урбанизированные территории, ростостимулирующая активность, природные реагенты.

Для обеспечения безопасности передвижения по дорогам и тротуарам в технологии их обслуживания предусмотрено использование антигололедных реагентов. Их применение регламентировано, а в качестве реагентов предусматривается использование пескосоляной смеси, технической соли и солевых растворов [1], которые при попадании в почвенный слой вызывают стресс у растений, контактирующих с этими компонентами. Например, в химический состав технической соли входит 96,5% хлорида натрия, 0,1% калий иона и 0,5% сульфат иона [2]. Использование этих реагентов в большом количестве приводит к увеличению солевой нагрузки на почвенный слой, сезонной гибели биоты на ограниченных участках и угнетению зеленых насаждений городов. Присутствие хлорида натрия в большой концентрации на обрабатываемой территории приводит к изменению функции корневой системы: снижается поглощение воды из грунта. И начинает превалировать, как правило, обратный поглощению процесс, что не желательно для развития растений. Для того чтобы активизировать процесс защиты экосистемы в урбанизированных условиях, можно использовать различные стимуляторы и регуляторы, которые, кроме основных свойств в виде стимуляции роста, еще абсорбировать подвижные ионы металлов и создавать органоминеральные комплексы, что способствует сохранению плодородия почвы.

В связи с этим, на данном этапе работы были поставлены задачи изучить описанные в научной литературе результаты исследований в данной области и провести предварительные исследования возможности применения различных реагентов органического происхождения, образующихся в процессе переработки воспроизводимого сырья, которые могут выступить регуляторами обменных процессов при восстановлении почвенного слоя на урбанизированных территориях.

В качестве реагентов органического происхождения, образующихся в процессе переработки растительной биомассы, могут применяться коросодержащие сточные воды, в состав которых входит комплекс активных органических компонентов. Известно, что при взаимодействии древесины с водой в результате гидролиза из наиболее активного слоя камбия в воду переходят биологически активные вещества, такие как: моно- и полисахариды, фенольные соединения, фрагменты лигнина,

экстрактивные соединения [3]. Исходя из этого, данные компоненты могут быть использованы в качестве стимуляторов роста. Принципиальная схема подготовки таких компонентов фактически внесена в справочник ИТС [4] и представлена на рисунке 1. В рамке выделена существующая схема, предполагается, что коросодержащие сточные воды идут в централизованную систему очистки. Но в качестве перспективного направления деятельности предприятий, связанной с повышением их экологической эффективности, необходимо предусмотреть локальную систему очистки, которая она может быть совмещена с технологией получения стимуляторов роста, где некоторые технологические решения вынесены за рамку традиционной очистки. В концентрированном виде, когда сточные воды образуются при реализации НДТ, они не могут быть использованы и являются субстратом для подготовки и дополнительной обработки. Одним из способов подготовки является разбавление сточных вод. В данном исследовании одним из вопросов, который необходимо решить, является определение зависимости степени разбавления концентрированных сточных вод, которая необходима для решения конкретной поставленной перед исследователем задачи. По полученным данным, сточная вода после короотжимного пресса используется в качестве стимулятора роста при кратности разбавления в диапазоне 1-100 по аналогии со способом применения по патенту [5].

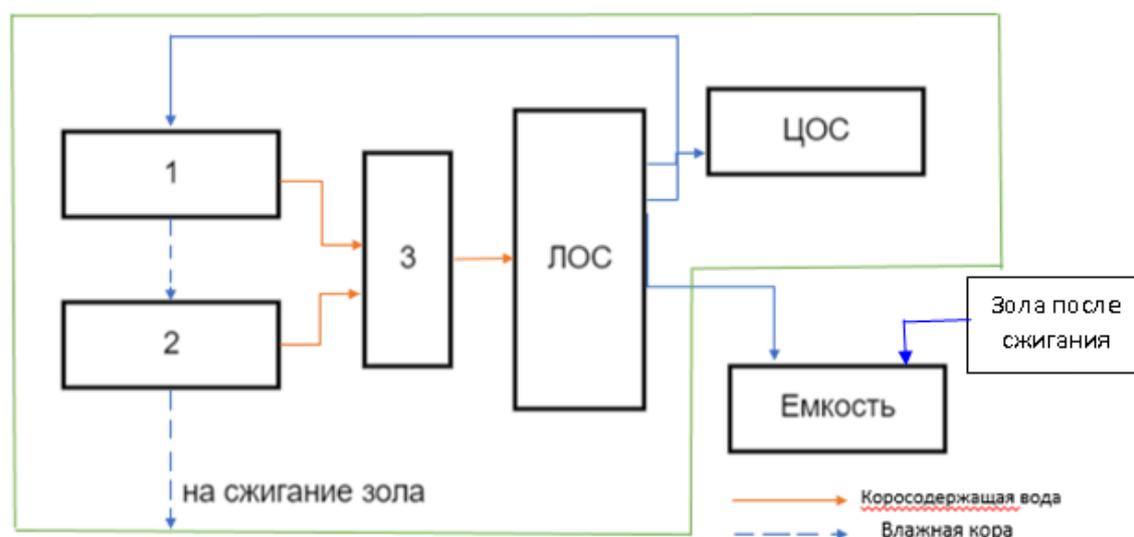


Рис. 1. Схема образование коросодержащей сточной воды: 1 – ванна с водой и окорочное оборудование; 2 – короотжимной пресс; 3 – усреднитель

В данном случае в качестве минеральной составляющей используется только внутренний резерв композиции после отжима коры, зольность которого составляет 0,001-0,06 масс % по сухому остатку из водной вытяжки. Сделано предположение, что ряд компонентов, которые выделились в результате гидролиза в виде органических соединений, могут является прекурсорами для новых стимуляторов роста растений и обладать собственной ростостимулирующей активностью. Проверить, верно ли данное предположение, предполагается в процессе выполнения исследований в рамках гранта, поданного на конкурс российского научного фонда. Однако в настоящий момент, по условию конкурса, необходимо искать новые источники финансирования и соисполнителей высокотехнологичных исследований этого этапа.

В качестве прототипа для разработки новых технологических решений используется вышеуказанный патент, который позволяет правильно подготавливать стимуляторы роста для сельскохозяйственных культур. Необходимо учесть, что эти культуры растут в благоприятных условиях на специально подготовленных почвах с

соблюдением севооборота. Мы же рассматриваем это решение для специфических растений, которые будут произрастать в стрессовом режиме с сезонными нагрузками. Это также касается полигонов, которые идут на рекультивацию, и особенно актуальным данное техническое решение будет для эксплуатации обочин дорог и карьеров в режиме сбора и отвода ливневых сточных вода. В зоне внимания этих исследований также будут территории с повышенной зольностью, которая формируется, например, после пожаров.

Применение стимуляторов роста на основе производных переработки древесины и гуминовых веществ – актуальное и перспективное направление для сохранения ландшафтов урбанизированных территорий. Этот тип стимуляторов является естественным продуктом круговорота веществ в окружающей среде, обладает способностью не только активировать рост и развитие живых организмов, но и эффективно связывать и трансформировать токсичные соединения, поступающие в почву. Технология получения и использования стимуляторов роста для высших растений позволяет расширить спектр «зеленых» продуктов предприятий деревообработки. Стимуляторы способны обеспечить более высокую продуктивность ряда культур и дают им преимущества на ранней стадии вегетации [6]. Это свойство при подготовке наших реагентов мы переносим в технологию рекультивации урбанизированных территорий.

На этапе предварительных исследований проводится анализ двух водных вытяжек с разной датой отбора пробы. Первая проба была получена преимущественно из хвойных пород (А), а вторая – преимущественно из лиственных (Б). По величине цветности модельных растворов в дальнейших экспериментах концентрацию органических компонентов в системе определяем по этому показателю. В результате разбавления также изменяется рН системы, и чтобы было понятно, какому состоянию соответствует раствор композиционного реагента при использовании в качестве стимулятора роста, был применен метод планированного эксперимента. Результаты исследования приведены на рисунке 2.

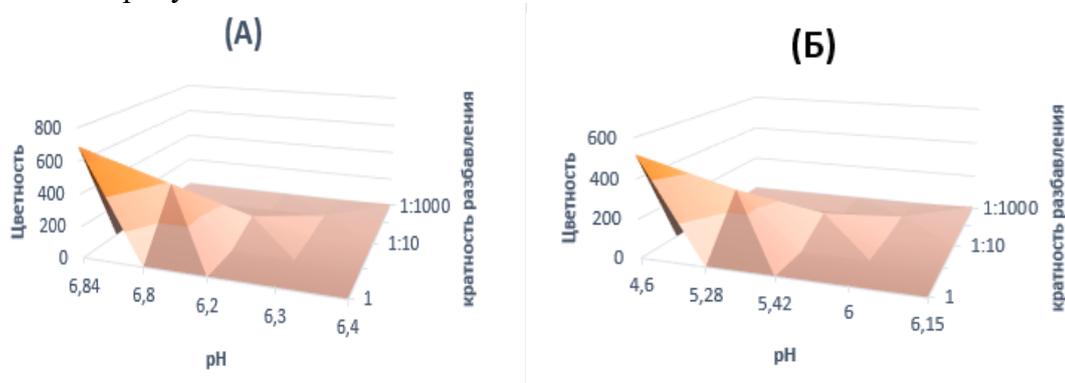


Рис. 2. Зависимость цветности и рН анализируемых проб от разбавления

Сегодня эффективность использования гуминовых кислот привлекает внимание многих промышленных компаний, производящих удобрения, которые используют разнообразные гуматы из органического сырья. Кроме того, в качестве основы наиболее целесообразно использовать органические отходы. Такие технологические решения по переработке пищевых отходов были представлены на форуме «Экология большого города 2023». Однако использование многотонажных коросодержащих отходов в этом направлении на сегодняшний день недостаточно. Возможности использования сточных вод, формирующихся при хранении коры и ее переработке, совершенно очевидны, так как в этих водах содержатся компоненты, способствующие ростостимулирующей активности в определенных дозах, которые необходимо исследовать и обосновать, причем с обеспечением доступности микроэлементов, необходимых для полноценного развития растений.

Моделирование процесса заложения плодородного почвенного слоя сопряжённо с соблюдением требований и правил закладки соответствующих слоев, которые участвуют в системе накопления биомассы высших растений, как заключительной стадией рекультивации полигона. Адаптация этих растений, изучение их возможностей участвовать в рекультивации полигонов являются важной частью проведенного исследования и фактически оценкой фитотоксичности используемых реагентов для активации их ростостимулирующей активности. В работе использовался способ заложения слоев по принципу формирования биофильтра согласно ГОСТу 59057—2020 [7]. На рисунке 3 представлена последовательность укладки слоев в несколько уровней с определением наиболее оптимальной высоты слоев.

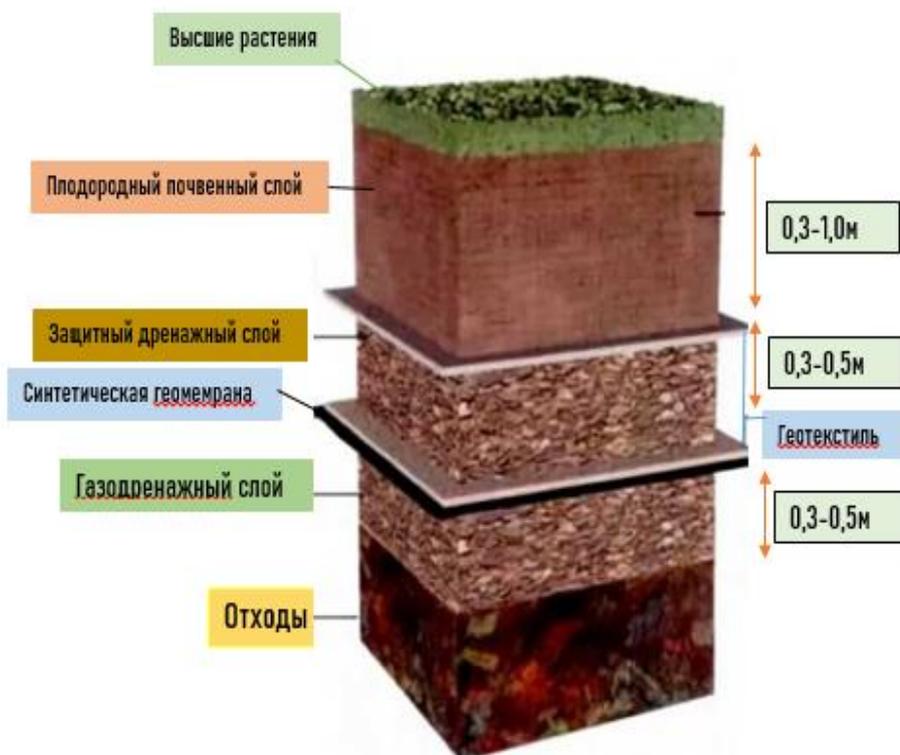


Рис. 3. Закладка слоев при рекультивации полигона ТБО

Плодородный слой может варьироваться от 0,3 до 1 метра. По мере накопления биомассы он будет увеличиваться. Начальная допустимая величина - 0,3 м. Как правило, плодородный слой почвы составляет естественную зону аэрации, и здесь происходят важные биохимические процессы и формирование почвенной воды. При правильном проектировании тела полигона на стадии рекультивации эти воды должны проходить естественные системы очистки, и на различных стадиях эксплуатации могут менять свой состав, в том числе и по сезону. Фильтрация в нижний слой на стадии биологической рекультивации проходит до гидроизоляции, которая на схеме показана как геотекстиль. Система дренирования и сбора воды фактически будет осуществляться между дренажным слоем и геотекстилем. В нашем исследовании основное внимание уделено верхнему слою в системе рекультивации, где главное место отводится растениям, занимающим всю поверхность объекта.

Поскольку полигоны распространены на всей территории РФ в разных климатических зонах, то выбор культур существенно варьируется в зависимости от климатической зоны. На рисунке 4 приведены обобщенные данные о целесообразности применения видов растений в разных климатических зонах.



Рис. 4. Рекомендуемые растения при рекультивации полигона

Для средней полосы преимущественно используется клевер луговой (*Trifolium pratense*) (рис. 5а), люцерна желтая (*Medicago falcata*) (рис. 5б), которые являются основными объектами нашего исследования для последующего посева.

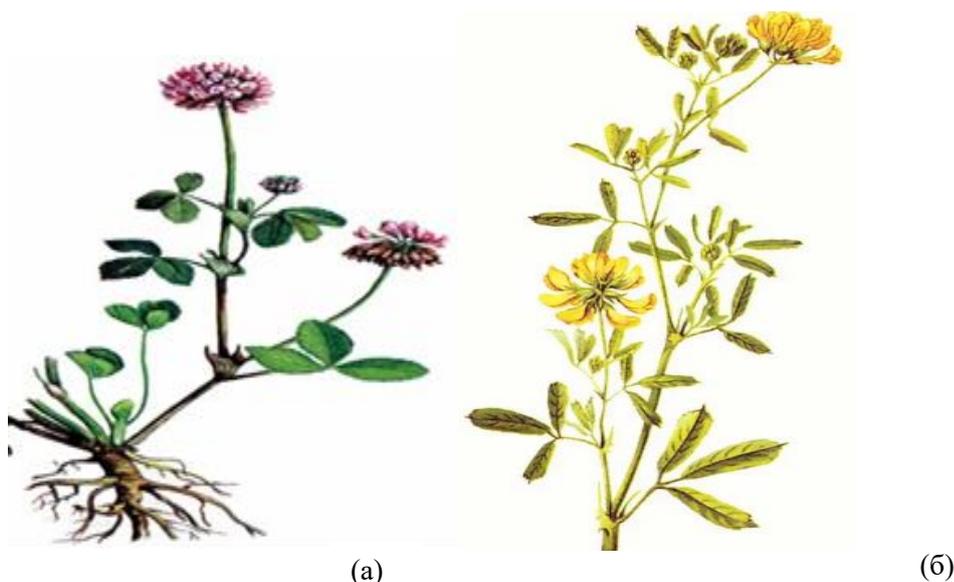


Рис. 5. Клевер луговой (*Trifolium pratense*) (а), люцерна желтая (*Medicago falcata*) (б)

Еще одним важным элементом в системе рекультивации являются растения, которые занимают всю поверхность объекта. Как упоминалось выше, технологическое решение было предложено на основе сельскохозяйственных культур. Но применение стимуляторов для рекомендуемых растений [8] (рис. 5) для полигонов необходимо изучить и экспериментально доказать. Решением этого вопроса мы занимаемся в данный момент.

Таким образом, проведя анализ литературных источников, можно прийти к заключению, что в качестве реагента органического происхождения возможно использование различных сточных вод, которые формируются при переработке

биомассы древесины. К таким реагентам относятся как сами коросодержащие сточные воды, формирующиеся в основной технологии переработки, так и сточные воды, образующиеся при переработке отхода в виде коры. Для проведения нашего исследования сточные воды подлежат специальной подготовке. Применение разбавленных сточных вод в качестве стимуляторов роста возможно ввиду генетического сродства с гуминовыми кислотами, однако технология их подготовки требует дополнительных исследований. Предварительные исследования позволили уточнить ряд свойств новых композиций, но механизм их участия в процессе восстановления почвенного слоя, механизм воздействия на физиологические процессы растений необходимо дополнительно исследовать с целью оценки эффективности использования сточных вод при восстановлении и в качестве защиты природных экосистем урбанизированных территорий.

Литература

1. Технологический регламент производства работ по содержанию автомобильных дорог регионального значения в Санкт-Петербурге № 74-р от 28.03.2022: сайт комитета по благоустройству Санкт-Петербурга. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/blago/documents/>. (дата обращения: 03.03.2023).
2. ГОСТ 33387-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Противогололедные материал. Технические требования: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2016 г. N 1003-ст: дата введения 2016-09-08. Москва: Стандартинформ. 2016. 11 с. Текст: непосредственный.
3. Дейнеко И.П. Исследование химического состава коры сосны/ Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П. Текст: непосредственный// Химия растительного сырья. Барнаул. 2007. № 1. с. 19-24.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИСТ 1-2015 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона// Росстандарт 15.12.2015.
5. Патент № 2734634 Российская Федерация, МПК C05F 11/00 (2006.01), A01N 65/06 (2009.01). Способ получения стимуляторов роста из водной вытяжки коросодержащей массы: 2019118614: заявл. 17.06.2019: опубл. 21.10.2020 / Дягилева А.Б., Смирнова А.И., Михайлова С.Б., Дягилева Д.В. 7 с.: ил. Текст: непосредственный.
6. Смирнова А.И. Дружественные сельскому хозяйству стимуляторы роста на основе ресурсосберегающей технологии древесно-подготовительного производства / Смирнова А.И., Дягилева А.Б., Иванова Е.В. Текст: непосредственный //Сборник материалов XXI Международного экологического Форума «День Балтийского моря» Санкт-Петербург, 23-24 марта 2021 г.,: Сборник издан при поддержке Хельсинкской комиссии по защите морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) и Санкт-Петербургского государственного геологического унитарного предприятия «Специализированная фирма «Минерал» 2021 г. С. 251-256.
7. ГОСТ 59057– 2020 ЗЕМЛИ Общие требования по рекультивации нарушенных земель: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2020 г. N 709-ст: дата введения 2021-04-01- Москва: Стандартинформ. 2020. 18 с. Текст: непосредственный.
8. Концепция биологической рекультивации с использованием техногенного грунта из коммунальных отходов. Текст электронный// Информационный ресурс для инженеров – изыскателей (сайт). 2018. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1669294713&tld=ru&la>. (дата обращения: 03.03.2023).

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОБНОГО
ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВА,
АККУМУЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Максименко Н.И.¹ (магистрант 1 года обучения)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹
1 – Университет ИТМО
e-mail: maksimenkoITMO@gmail.com; molodkinanelli@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

В данной работе рассматривается изучение микробного топливного элемента (МТЭ) как одного из видов источников альтернативной энергетики. Рассматриваются перспективы использования определенного вида МТЭ в системе растение-почва с целью частичной компенсации энергетических затрат на выращивание растений. Оценены существующие на сегодняшний день научные работы и патенты, связанные с данной технологией. Перспективой исследования стало проведение эксперимента по выбору наиболее эффективной конструкции установки и разработка технических требований для предполагаемой системы выращивания. В будущем станет возможным использование данной технологии также и в других областях исследований, например, для питания удаленных датчиков в процессе мониторинга окружающей среды.

В работе рассмотрено изучение микробного топливного элемента (МТЭ) – современной технологии маломощной альтернативной энергии. В исследовании рассмотрены перспективы использования определённого вида МТЭ – растительно-почвенного – для компенсации энергозатрат при выращивании растений. Дальнейшая работа будет заключаться в реализации эксперимента по подбору наиболее эффективной конструкции установки и разработки технических требований. В будущем будет возможно применение данной технологии в других сферах исследования, например для питания дистанционных датчиков в процессе экологического мониторинга.

Ключевые слова

Микробный топливный элемент; экотехнологии; биотехнологии; альтернативная энергетика; выращивание растений.

Актуальностью данной работы стал поиск энергоэффективных решений для выращивания растений при высокой энергоёмкости данного процесса. По данным исследования компании «Городские теплицы» о потреблении электроэнергии при выращивании даже при использовании уникальных эффективных технологий (вертикальные теплицы специальной конструкции) выращивание светолюбивого растения – салата «Романо» – использует 76,55 кВт*ч в месяц. Также важным аспектом стал возрастающий интерес к технологиям альтернативной энергетики, способной компенсировать такие затраты, в том числе и к микробному топливному элементу.

Таким образом, была сформулирована цель нашего исследования – разработка энергосберегающей системы выращивания растений с применением микробного топливного элемента с возможностью производства, аккумуляции и использования электроэнергии. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценка современной базы исследований и патентов.
2. Разработка схемы собственного эксперимента для исследования МТЭ.
3. Сбор и апробация установки, и проведение лабораторных испытаний.

Микробный топливный элемент (МТЭ) – это маломощный источник альтернативной энергии, продуцирующий напряжение от жизнедеятельности бактерий. На аноде формируется анаэробная среда, вследствие чего в процессе обмена веществ бактерий электроны выходят в электрическую цепь и создают напряжение. На рисунке 1 представлена схема однокамерного микробного топливного элемента. Эта технология может быть применена в выращивании растений, в качестве компенсации энергопотребления данного процесса.

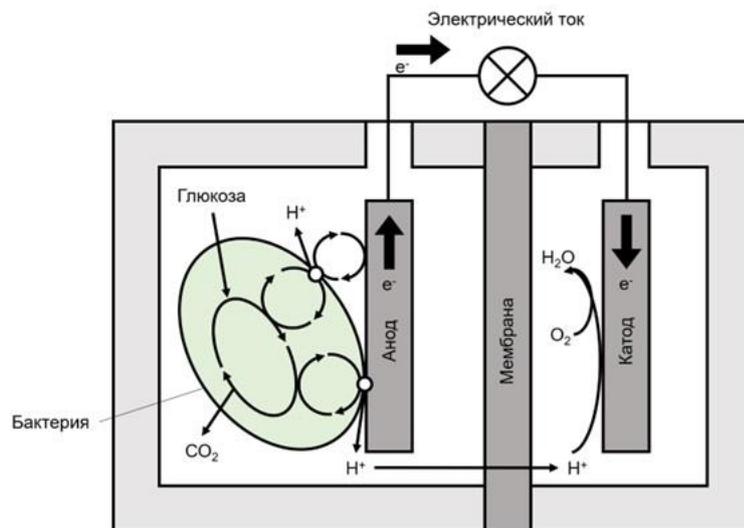


Рис. 1. Схема двухкамерного микробного топливного элемента

Оценка существующей литературной базы показала, что для исследования подходит определённый тип микробных топливных элементов – растительно-почвенный [1-2], что существующие разработки уступают по полезному использованию энергии и наличию возможности анализа состояния системы [3-5], а также что выдаваемое напряжение может зависеть от технических параметров МТЭ [1, 2]. Таким образом, целью исследования стало создание энергоэффективного микробного топливного элемента для внедрения в систему выращивания растений для частичной компенсации энергопотребления.

Следующим шагом в исследовании стал выбор культуры для выращивания. Существуют исследования, посвящённые применению технологии МТЭ в выращивании растений. Одно из них посвящено салату Латук посевной (*Lactuca sativa L.*) [1], другое – рису (*Oryza Sativa Japonica*), выращиваемому на заливных полях. Обе эти культуры используются в пищевых целях. Поскольку целью исследования была не оценка культур в качестве их способностей влиять на мощность выдаваемой энергии, а именно подбор подходящего для внедрения в систему с МТЭ растения, было принято решение выбрать одну культуру. Для этого были использованы следующие критерии:

- 1) простота выращивания (неприхотливость и способность культуры всходить на переувлажнённых почвах, поскольку для правильного функционирования МТЭ это необходимое условие);
- 2) использование выбранной культуры в промышленности;
- 3) наличие разнообразных корневых экссудатов (веществ, выделяемых растениями, которые обеспечивают микробные популяции почвы источниками углерода, микроэлементами и ферментами), способных увеличивать мощность МТЭ.

Следуя всем выбранным критериям, был выбран лён вида Лён обыкновенный или Лён посевной (*Linum usitatissimum*).

Для достижения цели исследования была разработана схема эксперимента – было решено провести серию опытов с отслеживанием выдаваемого напряжения для разных технических параметров системы. Поскольку были найдены исследования, посвящённые оценке жизнедеятельности растений в конструкции микробных топливных элементов [2], было решено изменять и оценивать именно конструктивные параметры системы, которые определяют микробный топливный элемент: это объём почвы (от 2 до 16 литров), площадь электродов из карбонного войлока (от 0,04 до 0,16 м²) и режима ирригации и внесения удобрений. Данная схема проведения эксперимента поможет выяснить, при каких параметрах система будет выдавать большее напряжение. После определения наилучших параметров для работы, будет полностью спроектирована и выполнена установка, где МТЭ включён в систему аккумуляирования и распределения энергии на нужды выращивания. На рисунке 2 представлено оборудование для проведения эксперимента.

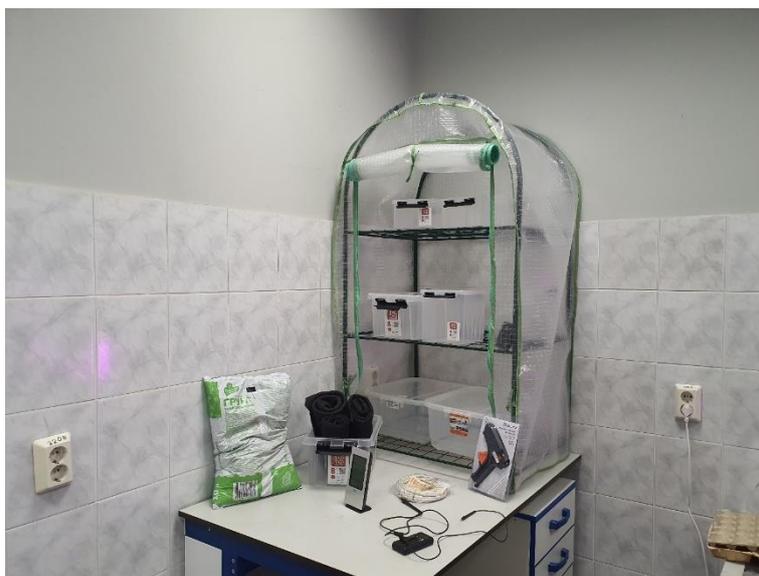


Рис. 2. Материалы и оборудование для проведения эксперимента

Дальнейшая работа будет заключаться в реализации эксперимента, затем будет выполнен подбор подходящей конструкции и разработки полной установки с регламентированными техническими требованиями. На рисунке 3 представлена теоретическая схема установки, примерами полезного использования энергии в которой показаны датчик состояния почвы и фитолампа.

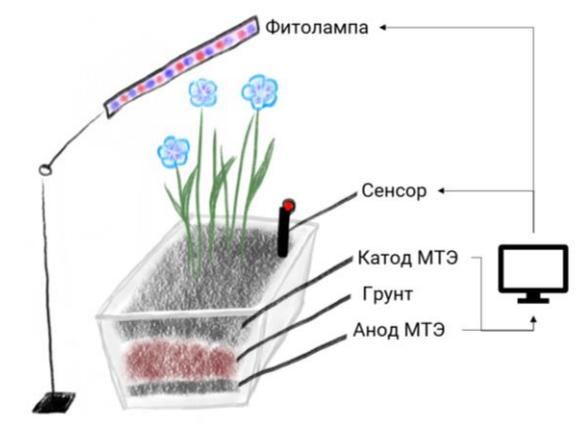


Рис. 3. Схема предлагаемой к разработке установки

В будущем будет возможно применение данной технологии в других сферах исследования, например для питания дистанционных датчиков в процессе экологического мониторинга.

Литература

1. Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Галушко А.С., Панова Г.Г. Электрогенез растительно-микробного топливного элемента при параллельном и последовательном соединении ячеек // Журнал технической физики. 2021. Т. 91. № 3. С. 510.
2. Kabutey F.T. et al. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2019. Vol. 110. P. 402–414.
3. Кулешова Т.В., Галль Н.Р., Галушко А.С., Панова Г.Г. Растительно-микробный топливный элемент: pat. RU205912U1 USA.
4. Лашин А.Ф., Стом Д.И., Протасов Е.С., Быбин В.А. Микробный топливный элемент: pat. RU 151764 U1 H01M 8/16 USA. 2015.
5. Самков А.А., Волченко Н.Н., Барышев М.Г. Биотопливный элемент: pat. RU 2657289 C1 USA. 2018.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ДЕКЛАРИРОВАНИЮ ПРОДУКЦИИ

Миниахметова А.В.¹, Сергиенко О.И.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: minaigul86@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены требования, предъявляемые к добровольной экологической маркировке продукции по типу III – Экологической декларации продукции (EPD), изложенные в соответствующем международном стандарте и его российском аналоге ГОСТ Р ИСО 14025-2012. Приводится обзор требований к экологическому декларированию определенных групп однородной продукции – Product category rules (PCR), российские аналоги которых на данный момент отсутствуют, что может послужить определенным нефинансовым барьером для международной торговли.

Ключевые слова

Экологическая декларация продукции EPD, правила категории продукции PCR, оценка жизненного цикла, стандарты серии ИСО 14000, верификация, экологический аспект.

Экологические декларации продукции типа III находят все более широкое применение в электронной коммерции как инструмент маркетинга для информирования об экологических характеристиках продукта или услуги, в том числе по схеме B-to-C (бизнес для потребителя) и B-to-B (бизнес для бизнеса). Наличие маркировки EPD продукта не означает, что заявленный продукт обладает лучшими экологическими показателями по сравнению с альтернативами. Как нормативно-технический документ, Декларация об экологической продукции (EPD) представляет собой зарегистрированный и подтвержденный независимым экспертом документ, который передает достоверную и сопоставимую информацию о воздействии продукции на окружающую среду в течение всего жизненного цикла [1].

Оператором международной системы регистрации экологических деклараций является компания EPD International AB, клиенты и партнеры которой находятся в разных странах мира, например, в Италии, Греции, США, Чехии, Испании и др. странах, с главным штабом в Швеции. Держателем информации по зарегистрированным EPD является Международная система The International EPD® System, а ее единственным официальным представителем в России является Ассоциация «НП КИЦ СНГ» [1, 2].

Как показывает выполненный литературный обзор, в настоящее время отсутствуют зарегистрированные PCR и, соответственно, EPD на продуктовую группу «Функциональные пищевые ингредиенты». На сайте базы данных EPD указано, что данная продуктовая группа находится в разработке [2].

Разработка экологической декларации осуществляется согласно требованиям международного стандарта ISO 14025:2006, аналогом которого в России является ГОСТ Р ИСО 14025-2012. Согласно ИСО Р ИСО 14020-2011 выделяют следующие базовые принципы разработки EPD разработки экологической декларации продукции:

- 1) Точность и актуальность информации;
- 2) Процедуры и требования не должны препятствовать международной торговле;
- 3) Данные должны быть основаны на реальных научных методах и дисциплинах;
- 4) Доступность информации для заинтересованных лиц;
- 5) Учет всех этапов жизненного цикла продукции;
- 6) Предоставление возможности для совершенствования экологических характеристик продукции;

7) Использование таких требований и информации, которые позволяли бы организациям иметь равные возможности для их использования;

8) Обеспечение согласия заинтересованных сторон;

9) Информация об экологических характеристиках продукции должна быть доступна и понятна потребителю.

В Европейском Союзе разработка и проектирование производства продуктов и товаров, в том числе и пищевых продуктов, сопровождается выполнением оценки жизненного цикла согласно стандартам ISO 14044:2006 и связанным с ним иным стандартам серии ИСО 14040 (аналоги присутствуют в РФ, соответственно, ГОСТ Р ИСО 14044-2019 и др.). Требования к разработке EPD приводятся в Правилах категории продуктов PCR, создаваемых для определенной продуктовой группы, которые можно найти на официальном сайте представительства компании EPD International AB. Правила групп однородной продукции должны включать:

- определение и описание технических характеристик, области применения и назначения продукции;
- сбор данных для оценки жизненного цикла (ОЖЦ): описание функциональной единицы, границы системы, критериев включения входных и выходных данных, требований к их качеству, единицам измерения;
- сбор данных, процедур расчета и распределения потоков в инвентаризационном анализе жизненного цикла;
- приведение информации о содержании в продукции материалов и веществ, влияющих на окружающую среду;
- инструкции по сбору данных и дополнительной экологической информации для разработки декларации типа III;
- указание срока действия [3].

Для возможности сравнения экологических деклараций определение и описание групп однородной продукции, функциональные единицы, критерии и единицы измерения должны быть идентичны. В инвентаризационном анализе эквивалентными должны являться методы сбора данных, процедуры вычислений, распределения потоков и другие правила групп однородной продукции.

Согласно правилам групп однородной продукции в экологическую декларацию типа III должны быть включены сведения об организации-заявителе декларации, описание продукции и групп однородной продукции, данные для их идентификации, сведения о стадиях ОЖЦ и результатах инвентаризационного анализа, декларация о веществах и материалах, входящих в состав продукции, название программы и адрес программного оператора, верифицировавшего EPD, дата публикации и срок действия. Для удобства разработки документа PCR предложен шаблон для формирования правил однородных продуктов [4].

Дополнительная экологическая информация должна отражать экологические аспекты продукции: негативное токсическое воздействие на человека и окружающую среду, изменение биоразнообразия, экологически значимые эксплуатационные характеристики, расположение предприятия и наличие системы экологического менеджмента, проведение организацией экологически значимой деятельности, участие продукции в других программах экологической сертификации, предпочтительные варианты утилизации продукции, вред от потенциальных происшествий.

Предоставляемая дополнительная информация должна быть достоверной, доказуемой и проверяемой, соответствовать продукции и не вводить в заблуждение вследствие неправильной интерпретации, что безусловно соответствует российскому законодательству о защите прав потребителей.

На сегодняшний день в России слабо продвигается идея экологического декларирования продукции. Существуют актуальные EPD только для строительных материалов. Другая ситуация обстоит с экологической сертификацией систем

экологического менеджмента согласно ИСО 14001. Данный инструмент экологического менеджмента дает эффективные и стандартизированные методы и способы контроля и управления экологическими аспектами на территории предприятия. Экологическая декларация, как инструмент экологического менеджмента, служит способом открытого, прозрачного, достоверного информирования покупателей и других внешних заинтересованных сторон непосредственно о воздействиях компании на окружающую среду, категориях экологического воздействия, их количественных показателях на этапах жизненного цикла продукции, а также о возможных способах снижения воздействия на окружающую среду, которые компания должна предусмотреть. Она предоставляет собой стандартизированный инструмент экологического менеджмента, который позволяет сопоставить аналогичную продукцию на рынке товаров и услуг и принять решение при выборе и покупке.

Потенциальные негативные экологические воздействия продукции можно снизить путем включения экологических аспектов в стандарты на продукцию. На сегодняшний день существует Руководство по включению экологических аспектов в стандарты на продукцию - ГОСТ Р 56268-2014/ISO Guide 64:2008. Действие данного стандарта направлено для использования всеми сторонами, занимающимися разработкой стандартов на продукцию. Его цель - привлечь внимание этих сторон к вопросам экологии в поддержку устойчивой международной торговли. Данный стандарт позволяет на ранней стадии разработки обеспечить выполнение оценки возможного негативного воздействия продукции на окружающую среду на различных стадиях ее жизненного цикла, установить экологические аспекты. Применение данного стандарта является актуальным вопросом в современных реалиях экологизации хозяйственной деятельности в РФ [5].

В России продвижение политики применения экологического декларирования может стать инструментом для развития экологической и социальной ответственности компаний перед обществом в сфере пищевого производства и, тем самым, способствовать реализации целей Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Данная стратегия в качестве одной из задач предусматривает внедрение различных организационно-управленческих механизмов и создание системы управления качеством пищевой продукции [6].

Наряду с требованиями о пищевой безопасности, предъявляемыми Техническими регламентами, ГОСТами, Сан-ПиНами и др. законодательными и нормативными требованиями, включение экологической декларации позволит создать конкурентные условия для развития технологических цепочек поставок пищевой продукции. Такой механизм воздействия на пищевые компании будет связан не с контрольно-надзорной системой со стороны государства, но вызван требованиями рынка, законом спроса и предложения. Внедрение в РФ экологического декларирования требует времени и ставит главной целью развитие устойчивой системы функционирования пищевой безопасности страны в будущем.

Современные требования к экологическому декларированию продукции заключаются в выполнении оценки жизненного цикла и предоставлении сведений о продукции, в соответствии с Правилами групп однородной продукции PCR, не имеющих пока российских аналогов, но предусматривающих верификацию результатов ОЖЦ третьей независимой стороной. Выполнение данных требований на стадии проектирования и разработки позволит успешно пройти процедуру регистрации экологической декларации в международной системе EPD в ее официальном представительстве на территории России для выбранного типа пищевого продукта или функционального пищевого ингредиента.

Литература

1. Что такое экологическая декларация? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://epdrussia.org/> (дата обращения: 12.01.2022).
2. Search the EPD Library. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.environdec.com/library> (дата обращения: 15.01.2022).
3. ГОСТ Р ИСО 14044-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации. М.: Стандартиформ. 2020. 50 с.
4. The PCR: a standardized LCA recipe. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.environdec.com/product-category-rules-pcr/the-pcr> (дата обращения: 13.01.2022).
5. ГОСТ Р 56268-2014/ISO Guide 64:2008 Национальный стандарт Российской Федерации. Руководство по включению экологических аспектов в стандарты на продукцию. М.: Стандартиформ. 2014. 36 с.
6. Распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 N 1364-р “Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года”. М.: Стандартиформ. 2016. 17 с.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ОБУЧЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ В ОАО «РЖД»

Некрасова А.С.¹(студент)

1 – Университет ИТМО

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

e-mail: 338014@niuitmo.ru

Аннотация

В обзорной статье проводится анализ нормативно-правовых документов по обучению и повышению квалификации сотрудников в Компании РЖД, а именно рассмотрены: Трудовой кодекс Российской Федерации № 197, Федерального закона № 273, Распоряжение № 907р, Распоряжение № 1143р, Коллективный договор ОАО «РЖД». Каждый документ подтверждает, что обучение является неотъемлемым фактором.

Ключевые слова

ОАО «РЖД», ФЗ, обучение, повышение квалификации, профессиональное обучение, ЕКТ, корпоративное.

Крупнейшая транспортная компания мира, единственное в железнодорожной отрасли масштабное предприятие в Российской Федерации (далее – РФ) является Компания ОАО «РЖД». Для того чтобы уменьшить вероятность возникновения «человеческого фактора» в трудовой деятельности, Компания предъявляет важные требования к подбору кадров. На основе этого применяются единые корпоративные требования (далее – ЕКТ), включающие в себя четыре раздела: компетенция, возможности, мобильность, опыт работы. Каждый кандидат при трудоустройстве сдает общее тестирование в системе ЕКТ, после чего отправляется на собеседование с руководителем. ЕКТ включает себя также тестирование в зависимости от должности сотрудников, который проводится на регулярной основе для всех.

В Федеральном законе № 273 «Об образовании в РФ» дается следующее определение обучению и повышению квалификации [4].

Обучение – является целенаправленным процессом, где человек овладевает знаниями, навыками, умениями, а также развивает способности и приобретает опыт, как новые, так усовершенствует ранее полученные.

Дадим определение повышению квалификации – это обучение, направленное на совершенствование профессиональных знаний и навыков, в рамках имеющей квалификации.

В обязанности руководителя входит создавать условия для обучения, самообразования сотрудников и повышения ими профессиональной квалификации [3].

Целями подготовки и повышения квалификации являются:

1. Расширение кругозора, самообучение сотрудника.
2. Карьерный рост сотрудника.
3. Улучшение качество жизни сотрудника.
4. Повышение безопасной производительности труда для компании.
5. Формирование компетентного состава и развитие кадров.
6. Высокая конкурентоспособность компании.

Нормативно-правовые документы в ОАО «РЖД» в сфере трудовых отношений/подготовки/обучений сотрудников:

1. Коллективный договор РЖД – это локальный документ, регулирующий социально-трудовые отношения в Компании РЖД. Данный договор заключен между работниками и работодателем (сторонами) в целях:

- 1) создания системы социально-трудовых отношений, способствующей стабильной и эффективной деятельности;
- 2) создания безопасных, комфортных условий в трудовой деятельности;
- 3) повышение уровня профессиональной мотивации/развитии и производительности труда. Сотрудникам предусмотрены: социальные гарантии, льготы, компенсации, а также укрепление благоприятного климата в трудовых коллективах. В 4-м разделе написано следующее, Компания организывает и проводит в учебных центрах для сотрудников профессиональную переподготовку и повышение квалификации [1].

Внесены поправки в Коллективном договоре на период 2023-2025 по сравнению с предыдущим 2020-2022:

- 1) проиндексирована заработная плата сотрудника (в 2021 году на 5,2% [6]);
- 2) обеспечивают условия для самообразования сотрудника (в формате очно, очно-заочно, дистанционно);
- 3) предоставляется возмещение расходов по найму в жилом помещении специализированного жилищного фонда ОАО «РЖД» в период обучения и лицам работающим в отдаленных местностях филиалов РЖД, а также компенсация транспортного проезда в зависимости от стажа работы;
- 4) проведение сетевых и внутрипроизводственных научных конференций/спортивных соревнований.

Созданы условия для самообразования, а именно проводится через сервисный портал сотрудника с 2020 года проект «Час знаний», который позволяет сотрудникам один час рабочего времени ежемесячно посвящать собственному развитию/изучать курсы проекта в рамках технической учебы. Запущен проект «Знания.Live», где в реальном времени есть возможность задать насущный вопрос по обсуждаемой теме компетентному спикеру. Реализован образовательный онлайн-форум «ПРОмолодежь» для молодежи до 35 лет, программа «Мастер-Club» для членов правления, директоров, руководителей.

Компания РЖД выплачивает единовременное поощрение за добросовестный труд, к примеру, в 2021 году 14,5 тыс. человек получили денежные поощрения за внедрение экономически эффективных проектов [6].

2. Распоряжение № 907р связано с непрерывным профессиональным обучением, приобретением и развитием компетенций. Обучение проводится в образовательных учреждениях начального, среднего, высшего профессионального образования, имеющих лицензию на осуществление образовательной деятельности в сфере профессиональной подготовки [2]. Повышение квалификации сотрудников осуществляется не менее одного раза в пять лет, за исключением рабочих, связанных с безопасностью движения поездов 1-н раз в три года.

Формат обучения и сроки освоения профессиональной программы определяются образовательной программой либо договором об образовании.

Обучающимся, успешно завершившим полный курс теоретического и производственного обучения, сдавшим квалификационные экзамены, выдаются документы о завершении профессионального обучения, присвоении профессии, квалификации, повышении квалификации по форме, установленной РЖД.

В дальнейшем, в целях осуществления единого подхода к компании и контролю за проведением профессионального обучения проводятся плановые, целевые и внеплановые проверки.

В учебных центрах ОАО «РЖД», есть программы дистанционного формата (с отрывом и без отрыва от производства), обучение в аккредитованных организациях, в примере филиал РЖД Санкт-Петербург обучает своих сотрудников: ПЭИПК; НОУ ДПО «ЦП Радиоавионика»; Программы Диджитал Дизайн; УЦ «Профессионал»; ООО «Алтек-Наука»; НОУ ДПО «Центр предпринимательских рисков»; ПМЦ Экономики, Науки и

Техники; компания «Люмэкс»; ООО «КИТ». Высшее учебное заведение – Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I.

3. Работники определенных специальностей и занимающие определенные должности обязаны согласно ст. 196 ТК проходить повышение квалификации. К ним относятся: работники железнодорожного транспорта, производственная деятельность которых непосредственно связана с движением поездов (Федеральный закон № 17 «О железнодорожном транспорте в РФ»).

В соответствии с ТК работодатель обязан для работников обеспечить [5]:

1. Медицинские осмотры (предварительные и периодические).
2. Стажировку, оформление наряд-допуск, предназначенные с целью формирования и закрепления на практике теоретических знаний, полученных при освоении программ профессиональной переподготовки или повышения квалификации, и приобретение практических навыков и умений для их эффективного использования при выполнении своих должностных обязанностей.

3. Прохождение сотрудникам аттестацию, предусматривающую проверку знаний правил технической эксплуатации железных дорог, инструкции по движению поездов, маневровой работе и сигнализации на железнодорожном транспорте.

Таким образом, проведен тщательный анализ нормативно-правовых документов, каждый из которых способствует регулярному обучению сотрудника с целью улучшения комфортных условий внутри коллектива и повышения уровня развития корпоративных и профессиональных компетенций. Работодатель несет ответственность за создание безопасных условий внутри коллектива и выполнение своих обязанностей по отношению к сотруднику, что в свою очередь сотрудник в полной мере выполняет свои должностные обязанности.

Не мало важно, Компания предоставляет финансовую поддержку сотрудникам, участвующим в семинарах, тренингах и других мероприятиях, направленных на повышение уровня подготовки персонала. Сотрудники желающие повысить свой уровень знаний и навыков имеют возможность пройти обучение как внутри компании, так и за её пределами. Данная практика способствует повышению производительности труда и эффективности работы всей Компании в целом.

Основные задачи социальной и кадровой политики являются:

1. Предоставление необходимого для производственной деятельности притока трудовых ресурсов.

2. Регулярное развитие сотрудников, с использованием инновационных технологий.

3. Усовершенствование политики мотивации сотрудника в независимости от стажа работы, стимулирования сотрудника.

4. Реализация социальной политики, открытость принципов Компании.

5. Поддержание здоровья персонала на уровне, соответствующем требованиям безопасности движения, а также действующий документ № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в РФ».

Компания РЖД уделяет особое внимание профессиональному развитию сотрудников, так как специфика данной работы требует высокого уровня ответственности и профессионализма, с целью минимизации «ошибок» в работе.

Литература

1. Коллективный договор ОАО «РЖД» на 2023-2025 годы. Введен 26.12.2022г. 52 с.
2. Распоряжение № 907р «Об утверждении положения об организации профессионального обучения в ОАО «РЖД»». Введен 17.04.2013г. 14 с.
3. Распоряжение № 1143р «О кодексе деловой этики ОАО «РЖД»». Введен 06.05.2015 г.
4. Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». Введен 29.12.2012 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2021).

5. «Трудовой кодекс Российской Федерации» № 197-ФЗ. Введен 30.12.2001 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023). 262 с.
6. Редакция годового отчета за 2021 год до утверждения годовым общим собранием акционеров ОАО «РЖД». 2021. 143 с.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMOCHEMICAL PROCESSING
TECHNOLOGIES FOR WASTE REMAINING AFTER
MUNICIPAL SOLID WASTE SORTING**

Nechepurenko A.I.¹ (student)

Scientific Supervisor – PhD, associate professor Sergienko O.I.¹

1 – ITMO University

e-mail: nechepurenkosaha@gmail.com, oisergienko@itmo.ru

Abstract

This study considers the use of a pyrolysis plant for processing fractions of municipal solid waste (MSW) that are not subject to sorting as part of a waste sorting complex. Economic efficiency and environmental impact for waste processing are assessed. As economic efficiency of the technology indicators as investment and operational costs, taxes and secondary resources selling is assessed. As environmental impact the prevented volume of waste from landfilling and emissions are considered. For final project evaluation, payback period and net present value (NPV) of the project is used. As the result of economic and environmental efficiency comparative analysis, the technology of pyrolysis is considered feasible.

Key words

MSW treatment, waste disposal, pyrolysis, economic and environmental assessment, circular economy.

The choice of pyrolysis plant performance depends on the initial composition of the processed waste. MSW arriving at the waste sorting complex are sorted, after which sorting tails are formed. Ferrous and non-ferrous metals, cardboard, wood, textiles, glass are secondary resources, so these fractions are sorted. Thus, 28,000 tons of combustible fractions will be used for pyrolysis, the volume and proportion of which are shown in table 1.

Table 1

Composition of waste remaining from MSW sorting subjected to pyrolysis

Fractions of MSW	Volume, t/year	Fraction share in the composition of waste remaining from MSW sorting, %
Skin	811.7	2.9
Rubber	811.7	2.9
Food waste	18660.1	66.6
Polymer materials	6846.0	24.4
Dice	870.4	3.1
Total	28 000	100%

The elemental composition of the dry mass of MSW is calculated based on the composition of the fractions of incoming MSW. For calculations, the table "Elemental composition of the dry mass of MSW (m_i), wt. %" and formulas from Chapter 3 of this manual, paragraph 3.1.4. Determination of the elemental composition and specific lower heat of combustion of solid municipal waste. Example of calculation (task 1).

Calculations are presented in table 2.

The mass content of each element E in dry solid waste is calculated using the following formula:

$$E^d = 0.01 * \sum_{gr} * m_i, \% \quad (1)$$

Moisture content in the working mass of MSW:

$$W^p = 0,01 * \sum (gr * W_i), \% \quad (2)$$

Table 2

Calculations of ash and water content in MSW sorting tailings based on data on the composition of incoming MSW

Solid waste fractions	Ash, A	Moisture, W	Fraction persantage after sorting, %	W ^p	A ^c
Polymers	-	13.8	24.4	3.37	0
Leather, bones, rubber	22.86	13.8	8.9	1.23	2.04
Food waste	4.3	63.8	66.6	42.49	2.86
Total				47.09	4.90

Calculations for output materials and resources are based on formulas and coefficients from Task 4 using data on the ash and water content in MSW calculated in table 2. The specific yield of pyrolysis products of the conditional combustible mass of real MSW will be:

- volatile substances:

$$V' = 0.01 * V * CM = 0.01 * 0.587 * 52.91 = 0.31, \text{ kg/kg of MSW};$$

- solid residue:

$$Sr' = 0.01 * Sr * CM = 0.01 * 0.413 * 52.91 = 0.22, \text{ kg/kg of MSW};$$

- tarry matter:

$$Tm' = 0.01 * Tm * CM = 0.01 * 0.075 * 52.91 = 0.04, \text{ kg/kg of MSW};$$

- noncondensable gas:

$$Ng' = 0.01 * Ng * CM = 0.01 * 0.269 * 52.91 = 0.14, \text{ kg/kg of MSW};$$

- condensed water:

$$Cw' = 0.01 * Cw * CM = 0.01 * 0.243 * 52.91 = 0.13, \text{ kg/kg of MSW}.$$

Pyrolysis products can be used as follows:

- pyrolysis gas is used directly in the pyrolysis installation to maintain the operation of the installation, so that the installation does not require connection to the power supply network;
- tarry matter is furnace fuel in composition. Furnace fuel is a dark brown flammable liquid. The product is used for heating domestic and industrial premises, in industrial furnaces, in power ship installations, in agriculture and in other areas. The resulting product can be sold;
- the solid residue is a coal-mineral composition, technical soil. In the case of a sorting center or landfill, MSW can be used for the disposal of waste according to the appropriate

technology, when the waste is compacted and interspersed with layers of soil. Used by the company on site;

- condensed water is industrial water used for irrigation of the landfill in accordance with the technology of waste disposal. Used by the company on site;

- volatile substances – flue gases, are emissions when using pyrolysis, with proper cleaning can be used to generate electricity.

Since the amount of recyclable waste, which is the remaining of MSW sorting, is 28,000 tons per year, the yield of components, taking into account the loss factor, is:

- volatile substances:

$$0.31 * 28\ 000 * 0.6 = 5218.1 \text{ ton};$$

- solid residue:

$$0.22 * 28\ 000 * 0.6 = 3671.3 \text{ ton};$$

- tarry matter:

$$0.04 * 28\ 000 * 0.6 = 666.7 \text{ ton};$$

- noncondensable gas:

$$0.14 * 28\ 000 * 0.6 = 2391.3 \text{ ton};$$

- condensed water:

$$0.13 * 28\ 000 * 0.6 = 2160.1 \text{ ton/}$$

The environmental impact resulting from the use of pyrolysis technology consists of a positive environmental effect in the form of preventing the placement of waste sorting tailings at the landfill and a negative environmental effect in the form of emissions generated during pyrolysis.

The total volume of waste sorting tailings generated at the MSW waste sorting complex is 28 000 tons, having hazard class 4.

In the case of disposal of these wastes at the landfill, the company must pay a fee for negative impact on the environment for the disposal of waste of hazard class 4. With the introduction of pyrolysis, these wastes become secondary resources and are not placed at the landfill; the company annually saves the fee for negative impact on the environment.

Every year, the company will save the following amount on the payment for negative impact on the environment: $28\ 000 \text{ ton} * 663.2 \text{ rub/t} * 1.19 = 22\ 097\ 824 \text{ rub}$

In the technological process of pyrolysis, non-condensing gases are formed, which are considered as emissions.

The calculation of the amount of flue gas emissions is carried out on the basis of formulas and coefficients from Task 4, p 3.4.1 of this manual.

The fee for emissions into the atmosphere is charged in accordance with the current legislation. The fee for emissions will amount to 723,532 rubles, calculations are given in table 3, taking into account the indexation coefficient in 2022, equal to 1.19.

The composition of flue gases and the fee for their emission

Component	Percentage, %	Quantity, t/year	Fee, rub/t	Fee with indexing, rub/t	Final payment, rub/year
CO ₂	26.2	626.5	0	0	0.0
CO	9.6	229.6	1.16	1.3804	316.9
H ₂ O	35.8	856.1	0	0	0.0
Rubber vapors	12.8	306.1	0	0	664227.8
CH ₄	2.7	64.6	108	128.52	8297.8
H ₂ S	1	23.9	686.2	816.578	19526.7
C ₂ H ₄ O ₂	5.6	133.9	108	128.52	17210.3
N	2.2	52.6	0	0	0.0
Cl	2.7	64.6	181.6	216.104	13952.7
H	1.4	33.5	0	0	0.0
Total		2391.3			723 532.2

With the introduction of BAT, the company will be entitled to preferential taxation. In accordance with article 16.3. The procedure for calculating fees for negative environmental impact of Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 "On Environmental Protection", in order to encourage legal entities and individual entrepreneurs engaged in economic and (or) other activities to take measures to reduce the negative impact on the environment and the introduction of the best available technologies in the calculation of fees for the negative impact on the environment, the following coefficients are applied to the rates of such fees: coefficient 0 - according to the volume or mass of emissions of pollutants, discharges of pollutants within the technological standards after the introduction of the best available technologies at an object that has a negative impact on the environment [1].

Since emissions are generated during pyrolysis, which refers to BAT (ITS 9), a coefficient of 0 can be applied after implementation, and the company will not have to pay 723,532 rubles annually for emissions.

The environmental assessment of pyrolysis technology is summarized in table 4.

The introduction of pyrolysis technology at the waste sorting complex of MSW requires significant capital investments. First, you should consider buying, renting or leasing a pyrolysis plant. Secondly, it is necessary to develop a project for the modernization of current flows at the enterprise, to introduce a pyrolysis plant. Transportation costs, staff training, operating costs and other types of expenses should be included.

The structure of investment costs is presented in Table 5.

The UTD-2-800 (2000) thermal destruction unit has been selected as one of the most effective pyrolysis devices from a Russian supplier. The capacity of the plant is 2000 kg/h, therefore, to process 28,000 tons of MSW per year with continuous operation, 2 installations of this type will be required [2].

**Types of impact of pyrolysis technology on the environment
and their monetary estimates**

Type of impact	Environmental impact		Economic assesment	Payment (including preferential taxation)
	Quantity, t/year	%	Ths rubles/year	Ths rubles/year
Reducing the volume of waste disposal	28 000	100	22 097. 8	22 097. 8
Flue gas emissions	2391.3	100	- 723.5	0
Total				22 097.8

Capacity of one pyrolysis plant: $365 \text{ days} \times 2 \text{ t/h} \times 24 \text{ h} = 17520 \text{ t/year}$.

Thus, the productivity of two pyrolysis plants is 35040 tons/year at 100% utilization. In practice, the workload of industrial plants in production is 60-80%. Thus, with a load of 80%, two UTD-2-800 units with a capacity of 2000 kg/h will be enough to process 28,000 tons of waste remaining from MSW sorting.

Table 5

Structure of investment costs

Costs	Price, ths rub	Note
Purchase of equipment UTD-2-800 Thermal Destruction Unit (2000)	$12\ 000 * 2 =$ $= 24\ 000$	
Project development costs	4800	20%
Installation and commissioning works	3600	15%
Transportation expenses	1200	5%
Training expenses	720	3%
Other expenses	1200	5%
Total: I_0	35 520	

Operating costs include the cost of purchasing resources (e.g., electricity), labor costs, operation and maintenance.

Material and energy costs are assumed to be absent, since solid waste is used as a source resource for the pyrolysis process, which the landfill receives free of charge. The energy to maintain the operation of the pyrolysis plant is generated from pyrolysis gas, which is a product of pyrolysis. Thus, the company has no input materials and energy costs.

Labor costs are estimated depending on the personnel required to maintain the operation of the new equipment. For the operation of the UTD-2-800 installation, maintenance personnel are required – 2 people. The company needs to hire an additional four operators to work in two shifts.

According to HH.ru, the average salary of an operator of industrial installations is 80 thousand rubles, then the annual labor costs have the following structure [3]:

$$\text{Salary} = 4 * 80\,000 * 12 = 3\,840\,000 \text{ rub.}$$

Insurance premiums account for 30.2% of labor costs

$$3,840,000 \text{ rubles} * 0.302 = 1,228,800 \text{ rubles.}$$

Labor costs = Wages + Social tax = 5,068,800 rubles

The costs of operation and maintenance are assumed to be at the level of 10% of the cost of equipment, which is 2,400,000 rubles.

In total, annual operating costs amount to RUB., the cost structure is shown in table 6.

Table 6

Structure of operating costs

№	Costs	Price, ths rub
1	Primary resources and electricity	0
2	Labor costs	5068.8
3	Operating and maintenance costs	2400
Total		7 468.8

As resources that are obtained in the pyrolysis process, the company receives technical soil, technical water, which can be used within the company. The heat generated from technological processes is used to heat industrial and administrative premises. The positive economic effect of the introduction of pyrolysis can be attributed to the sale of furnace fuel.

The amount of output volumes of resources obtained in the pyrolysis process is calculated on the basis of formulas and coefficients from Chapter 3 of this manual, paragraph 3.4.1 Pyrolysis of municipal solid waste. Example of calculation (see task 4, p 3.4.1 of the textbook). Prices are taken from open sources.

The overall positive economic effect is 18,001.3 thousand rubles (table 7).

Table 7

The economic effect of obtaining the products of the pyrolysis process

Secondary resource	Unit	Quantity	Price per unit, rub.	Economic effect, ths rub.
Furnace fuel	t	666.7	27 000 [4]	18 001.3
Total				18 001.3

As a user of natural resources and land, the company must pay environmental fees in accordance with Russian legislation. The company also has to pay for new equipment (in the form of property tax), as well as profit tax (in this case, we assume that profit is approximately equal to net annual savings).

As mentioned earlier, with the introduction of a pyrolysis plant, which belongs to the BAT, the company will be entitled to preferential taxation. Thus, the fee for the negative impact on atmospheric air will be 0 rubles. The company also saves on the fee for NWOS for waste

disposal, since the waste sorting tails are processed in a pyrolysis plant, and not placed at the landfill.

According to the legislation of the Russian Federation, the company must pay property tax - 2% of the average annual value of the property. For the commissioning of new equipment, excluding value added tax (VAT- 20%), the payment amount will be:

$$\text{Property tax} = (I_0: 24\,000 - 4\,800) * 0,02 = 384 \text{ ths rubles /year.}$$

The company's profit includes the sale of heating oil. The amount of income tax at the rate of 20% will be:

$$\text{Income tax} = 18001 * 0.2 = 3,600 \text{ ths rubles/year.}$$

Total amount of taxes = 384 ths rubles + 3,600 ths rubles = 3,984 ths rubles/year.

Economic assessment.

The net annual savings indicator is calculated to confirm the economic feasibility of the project. This indicator takes into account environmental costs and savings, operating costs, taxes and the positive economic effect from the sale of secondary resources, calculations are given in table 8.

Table 8

Net annual savings from the introduction of pyrolysis

Savings (costs)	Economic assessment	
	Value	Ths rub
Reduction of environmental pollution (elimination of waste landfilling), t	28 000	22 097.8
Operating costs	-	-7 468.8
Sale of heating oil, t	666.7	18 001.3
Taxes	-	-3 984
Total		28 646.3

The payback period of the project is calculated as the ratio of the investments required for the implementation of the project to the net annual savings of the project.

$$\text{Payback Period (PB)} = \text{Investment} / \text{Net Annual Savings} = 35\,520 / 28\,646,3 = 1,24$$

Thus, the introduction of pyrolysis technology for processing 28,000 tons of MSW sorting tailings at a waste sorting complex using two UTD-2-800 units has a payback period of 1 year and 3 months.

In order to assess the economic efficiency of the project for a planning horizon of 10 years, we will conduct an economic assessment of the project taking into account discounting at a rate of 20%.

When calculating, we take into account that the process of commissioning, training and recruitment of personnel, changing existing production flows require a certain amount of time. We accept that this activity is carried out in the first year of the project's existence, after which

it is launched at full capacity. Thus, the income from the project will be received from the second year of the project.

Table 9

Calculation of the economic efficiency of the project for 10 years

Year	Investments	Operating costs	Taxes	Environment al effect	Selling furnace fuel	Cash Flow	Discounted multiplier	Discounted Cash Flow	Discounted NPV
1	35 520					-35 520,00	1	-35520	-35520
2	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,83	23872	-11648
3	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,69	19893	8245
4	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,58	16578	24823
5	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,48	13815	38638
6	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,40	11512	50150
7	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,33	9594	59744
8	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,28	7995	67738
9	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,23	6662	74400
10	0	7 468,80	3 984	22 097,80	18 001,30	28 646,30	0,19	5552	79952

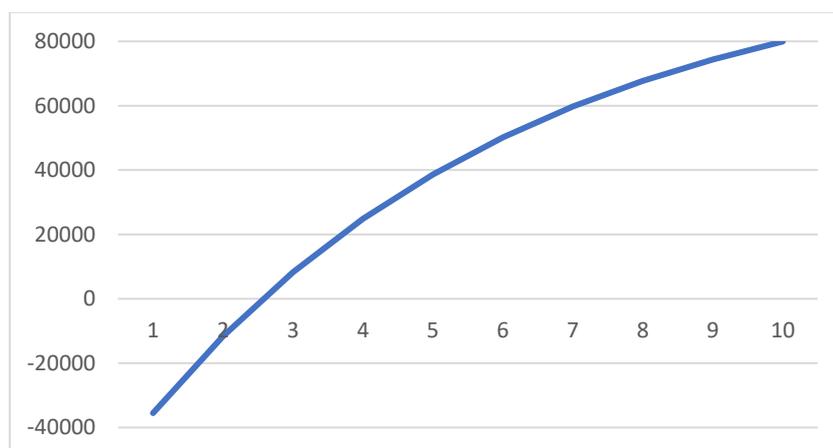


Figure. The indicator of the Net Present Value of the project (NPV) for 10 years, taking into account discounting, thousand rubles

Source: calculated by author

As shown in the figure, project is considered to be feasible in the throughout 10-year period. This result indicates that introduction of pyrolysis technology is both economically and environmentally profitable. According to the discounted net present value of the project, the project value becomes positive starting from the 3rd year of the project implementation. Thus, we can suggest pyrolysis installation introduction for refuse fraction treatment left after MSW sorting.

Reference

1. Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 "On Environmental Protection" [Electronic resource]. Access: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/2b668f71b04cd6b6239a4827ec1430801c9da45b/ (date: 10.03.2023).

2. ИПЕС. International power ecology company. Installation of thermal destruction UTD-2-800 [Electronic resource]. Access: <https://i-pec.ru/equipments/ustanovka-termicheskoy-destrukcii-utd-2> (date: 10.03.2023).
3. HH.ru Vacancies "Operator of technological installations" [Electronic resource]. – Access: https://hh.ru/search/vacancy?text=%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80+%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85+%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BA&from=suggest_post&area=2 (date: 10.03.2023).
4. Industrial portal. Furnace fuel. [Electronic resource]. Access: <https://ooo-kdv.promportal.su/goods/14733846/pechnoe-toplivo> (date: 10.03.2023)

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ

Николаев Е.М.¹ (аспирант)

Научный руководитель – к.т.н., ординарный доцент Молодкина Н.Р.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: emnikolaev@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы ПО НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодegradации».

Аннотация

Статья посвящена обоснованию методики получения биоразлагаемой одноразовой посуды. В работе рассматриваются различные составы рецептурных смесей биоразлагаемых материалов, выбирается оптимальный наполнитель, подбирается оптимальная технология получения биоразлагаемой посуды, исследуются прочность на разрыв и относительное удлинение полученных материалов, а также определяется их способность и время растворения.

Ключевые слова

Биоразлагаемые материалы, биокomпозиты, биоразлагаемая посуда, растениеводческие вторичные материальные ресурсы, компостирование органических отходов, снижение загрязнения пластиком, рецептурная смесь, наполнитель, рисовая шелуха, технология производства, прочностные характеристики, термопрессование, пресс-форма.

Второго марта 2022 года на возобновленной пятой сессии Ассамблеи ООН по окружающей среде в Найроби была принята историческая резолюция против пластикового загрязнения, касающаяся всего жизненного цикла пластика (от производителя до моря) - международное юридически обязательное к исполнению соглашение до 2024 года. Производство пластика за последние десятилетия увеличилось в геометрической прогрессии и в настоящее время составляет около 400 миллионов тонн в год, а к 2040 году эта цифра удвоится [4]. В России же отмена от одноразовых пластиковых товаров и упаковки ожидается в 2025 году [5].

На сегодняшний день существует острая проблема поиска замены полимеров из нефти на биоразлагаемые. Тема получения биоразлагаемых полимеров привлекает большое внимание в последние несколько десятилетий из-за существующих и грядущих глобальных экологических проблем [1]. Наиболее изученным и перспективным сырьем для получения биоразлагаемых композитов является крахмал и материалы с его использованием. Крахмал – это биополимер, широкодоступный в природе. Полимеры на основе крахмала могут применяться, например, в сельскохозяйственных, медицинских и фармацевтических целях, а также для упаковки пищевых продуктов и биоразлагаемой посуды [2, 3].

В качестве альтернативы традиционной пластиковой посуды, предполагается использование биоразлагаемой посуды, состав которой будет полностью безопасен для окружающей среды. Поскольку 1 марта 2023 года в силу вступили нормы закона о раздельном сборе мусора, который предполагает компостирование органических отходов, а биоразлагаемая посуда может содержать остатки пищи, рассматривается использование рецептурных смесей, содержащих крахмал, для совместного компостирования биоразлагаемой посуды с органическими отходами для унификации процесса переработки отходов с использованием вторичных материальных ресурсов в рамках принципов Экономики замкнутого цикла и безотходного производства. Закон о раздельном сборе мусора предполагает полный запрет на захоронение вторичных

ресурсов и вторичного сырья с 2030 года. Любой мусор, пригодный для переработки, должен будет отправляться на заводы и использоваться повторно.

Для решения проблемы переработки отходов, были изучены различные способы получения биоразлагаемых материалов, такие как экструзия и термопрессование. Для получения оптимальной рецептурной смеси были проведены исследования модификации крахмала в СВЧ-печи и армирование рецептурной смеси отходами растениеводства. В ходе исследований были проанализированы различные стратегии смешивания компонентов рецептурной смеси, а также принято решение применения принципа создания многослойных материалов.

Настоящая статья посвящена обоснованию методики получения биоразлагаемой одноразовой посуды. В ходе работы был обоснован выбор состава рецептурной смеси, технологии получения биоразлагаемых материалов, а также спроектирована пресс-форма для термопресса для получения биоразлагаемой посуды.

Для получения биоразлагаемых материалов в качестве сырья были использованы вторичные материальные ресурсы растениеводства – рисовая шелуха и ячменные отруби, измельченные до размера частиц не более 0,20–0,25 мм. Для получения рецептурной смеси использовали картофельный крахмал по ГОСТ Р 53876–2010, который подвергали клейстеризации в воде в соотношении 26 % и 37,14 %, используя непосредственный нагрев на водяной бане, а также была изучена возможность применения СВЧ-печи. Полученной смеси придавали форму плоской пластины толщиной 1 мм методом ручной раскатки с использованием прижимного вала. Процесс высушивания полученной пластины осуществляли методом конвекционной сушки в термостате. Для изготовления композитной биоразлагаемой рецептурной смеси в качестве связующих компонентов использовали крахмал и глицерин, и рисовую шелуху в качестве наполнителя. Для улучшения клейстеризации крахмала использовалась лимонная кислота. Разработанная рецептура указана в таблице 1.

Таблица 1

Рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием водяной бани

Компонент	Количество	
	г	%
Наполнитель	25	25,91
Глицерин	8	8,29
Вода	50	51,81
Лимонная кислота	0,5	0,52
Крахмал	13	13,47
Итого:	96,5	100

Клейстеризацию на водяной бане проводили при постоянном перемешивании при температуре 90 °С в течение 15 минут до момента пока смесь не приобретет вязкость. Для приготовления клейстеризуемой смеси к глицерину, взятому в количестве 8,29 % от общей массы композиции, добавляли картофельный крахмал (13,47 %) и лимонную кислоту (0,52 %), заливали водой (51,81 %) и смешивали. Сразу после снятия крахмального гидромодуля с водяной бани вносили наполнитель (25,91 %), гомогенизировали и придавали форму. Затем полученные образцы помещали в термостат при температуре 65 °С на 3 часа. Полученные образцы представлены на рисунке 1. Рецептуры полученных материалов представлены в таблице 2.

При получении биоразлагаемого материала было выявлено, что образцы, в которых, в качестве основного наполнителя использовались ячменные отруби, были более гигроскопичны, чем при использовании рисовой шелухи.

**Рецептурные соотношения компонентов материала,
получаемого с использованием водяной бани**

№	Крахмал, %	Вода, %	Глицерин, %	Лимонная кислота, %	Наполнитель Р.Ш., %	Наполнитель Ячм., %
1	13,47	51,81	8,29	0,52	25,91	
2	13,47	51,81	8,29	0,52	25,91	-
3	13,47	51,81	8,29	0,52	19,43	6,47
4	13,47	51,81	8,29	0,52	12,955	12,955
5	13,47	51,81	8,29	0,52	6,47	19,43
6	13,47	51,81	8,29	0,52	-	25,91
7	14,21	49,18	8,74	0,55	27,32	-
8	15,03	46,24	9,25	0,58	28,90	-
9	15,95	42,96	9,81	0,61	30,67	-

* Р.Ш. – рисовая шелуха, Ячм. – ячменные отруби



Рис. 1. Биоразлагаемый материал:
а) образец рецептуры №8, б) образец рецептуры №5

Материал с использованием ячменных отрубей не поддавался вмешиванию, из-за чего его структура осталась неоднородная, а материал не подвергся гомогенизации с компонентами смеси и при отделении остался на подложке. Также было выявлено, что со временем, материалы с использованием ячменных отрубей, поддались воздействиям грибкового заражения и плесени из-за большого исходного содержания влаги, что отображено на рисунке 1б. Таким образом, опытным путем было выявлено, что использование рисовой шелухи в качестве основного наполнителя при производстве биоразлагаемого материала наиболее рационально (рис. 1а).

Полученные результаты объяснимы составом армирующих наполнителей. В таблице 3 представлен химический состав и питательная ценность ячменной и рисовой шелухи. Рисовая шелуха почти в 3 раза богаче клетчаткой, содержит почти в 2 раза меньше безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), а также почти в 2 раза жирнее и в 2 раза менее питательна белками, в сравнении с ячменными отрубями. Использование последних, с точки зрения принципов Экономии замкнутого цикла и безотходного производства, более ценно и целесообразно в качестве подкормки в животноводстве.

В таблице 4 представлен состав рисовой шелухи. Наличие диоксида кремния в качестве армирующего компонента, большое содержание целлюлозы и лигнина, меньшая влагоудерживающая способность и содержание БЭВ, а также более доступная цена, дают рисовой шелухе преимущества перед ячменными отрубями. Таким образом использование рисовой шелухи в качестве наполнителя для рецептурной смеси обосновано оптимально.

Химический состав и питательная ценность шелухи

Шелуха	Протеин, %	Жир, %	Клетчатка, %	БЭВ, %	Зола, %
Ячменная	13,9	3,5	12,8	59,2	2,9
Рисовая	7,1	7,0	34,3	33,5	11,8

Таблица 4

Состав рисовой шелухи

Вещество	%
Целлюлоза	50
Лигнин	25-30
Диоксид кремния	15-20
Вода	10-15

На основании полученных результатов методика получения биоразлагаемых материалов была оптимизирована, был опробован более быстрый и энергоэффективный метод клейстеризации рецептурной смеси с использованием СВЧ-печи. Содержание воды было снижено до оптимального для проведения клейстеризации по причине снижения влажности в процессе испарения в СВЧ-печи. В ходе лабораторных исследований было принято решение также отказаться от использования лимонной кислоты и глицерина в рецептуре для получения смеси в целях достижения ожидаемых физико-механических свойств конечного материала и снижения себестоимости.

Клейстеризация в СВЧ-печи проходила при мощности 800 Вт. В емкость вносили навеску рисовой шелухи 6,9 %, добавляли навеску 17,8 % крахмала. Затем добавляли воду 95±5 °С и перемешивали содержимое до гомогенной смеси. Полученную смесь помещали в СВЧ-печь на 30 сек, осуществляя перемешивания каждые 10 сек. После клейстеризации смеси добавляли оставшиеся 27,4 % рисовой шелухи и перемешивали до повторной гомогенизации смеси. Полученному материалу вручную придавали шаровидную форму и вручную раскатывали с использованием прижимного вала до образования плоской пластины толщиной 1 мм. В таблице 5 представлена оптимизированная рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием СВЧ-печи.

Таблица 5

Рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием СВЧ-печи

Компонент	Количество	
	г	%
Рисовая шелуха	25	34,25
Вода	35	47,95
Крахмал	13	17,8
Итого:	73	100

В качестве обоснования использования рисовой шелухи в качестве армирующего наполнителя рецептурной смеси было проведено исследование прочности на разрыв и относительного удлинения полученных образцов в соответствии с методикой ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012). Результаты проведенных испытаний представлены в

таблице 6. Результаты для материалов, образцы из которых не удалось подготовить в соответствии с методикой из-за их разрушения, не отображены.

Таблица 6

Сравнительные характеристики, показатели прочности на разрыв и относительного удлинения материала

№	Характеристики материала	Прочность, МПа	Отн. удлинение, %
1	Средняя влажность, хрупкость и эластичность, прилип к бумаге	–	–
2	Средняя влажность, хрупкость и эластичность	0,49	0,60
3		0,32	0,47
4		0,22	0,35
5	Высокая влажность и хрупкость, низкая эластичность	–	–
6	Низкая влажность и хрупкость, высокая эластичность	0,53	0,60
7		0,57	0,63
8		0,62	0,65

* При значениях «–» не удалось подготовить образец для испытаний из-за его разрушения

**Номера образцов соответствуют составам, представленным в таблице 2

В результате проведенной серии опытов была составлена оптимизированная рецептура смеси для получения биоразлагаемых материалов (табл. 5). После клейстеризации смеси, полученный материал был раскатан ручным методом с использованием прижимного вала до пластины толщиной 1 мм. Затем раскатанному пластику материала была придана вручную форма конечных продуктов – тарелок с высокими стенками. После этого изделие поместили в сушильный шкаф с конвекцией при температуре 65°C до полного высыхания (рис. 2).



Рис. 2. Тарелки из образца рецептуры №8

В результате проведенных исследований была разработана технология получения биоразлагаемых материалов. Последний этап – получение посуды предполагает проведение дополнительных лабораторных исследований с использованием метода, аналогичного промышленному методу изготовления пластиковой посуды.

Для будущего масштабирования полученных результатов проводили подбор промышленного метода изготовления биоразлагаемой посуды, основанный на исследовании стандартных способов получения изделий из пластика, результаты исследования представлены в табл. 7. При подборе промышленного метода была рассмотрена возможность лабораторной апробации, для этого учитывались: возможность обеспечения норм безопасности в лабораторных условиях, простота

эксплуатации и обслуживания, применимость метода с учетом химико-физических свойств биоразлагаемого материала (актуальность) и технико-экономическая доступность метода.

Таблица 7

Применимость способов получения изделий из пластика

Способ получения	Обеспечение норм безопасности	Простота эксплуатации и обслуживания	Актуальность	Доступность
Выдувание	–	–	–	–
Вакуумирование	–	–	–	–
Литье (под давлением)	–	–	±	–
Экструзия	±	±	–	±
Термопрессование	+	+	+	+

Для проведения лабораторных исследований в качестве наиболее применимых были выбраны экструзия и термопрессование. Экструзию применяли для термической обработки композита, удаления лишней влаги и придания формы в виде плоского листа, т.к. этот метод обладает преимуществом по производительности и эффективности получения композитных материалов с использованием растительного сырья. Экструзию проводили при температуре 50–67 °С, 770–800 RPM, под давлением 1-2 МПа. Заранее подготовленный пласт биоразлагаемого материала был высушен и измельчен до мелких частиц, размером 2–3 мм.

Для высушивания, увеличения плотности и получения материала равномерной толщины применяли метод горячего прессования с использованием пресс-вулканизатора Romanoff с размером плит 20x13 см, мощностью 700 Вт, максимальной температурой нагрева 288 °С. В пресс-вулканизаторе температура воздействия составляла 120 °С продолжительность воздействия 3 минуты, размер подложки (форма для прессования) 10x8 см, толщина слоя 1 мм. Предварительно была проведена подготовка биоразлагаемого материала по методу ручной раскатки с использованием прижимного вала.

При проведении лабораторных испытаний для подбора метода получения биоразлагаемого материала с использованием экструдера рецептурная смесь в аппарате начинала обугливаться при повышении температуры свыше 68 °С. Трение шнека экструдера превышало допустимые значения, что привело к резкому снижению числу оборотов и увеличению нагрузки на электродвигатель в процессе получения материала (рис. 3). Испытания показали, что использовать экструдер для формования нецелесообразно ввиду особенностей состава рецептурной смеси.

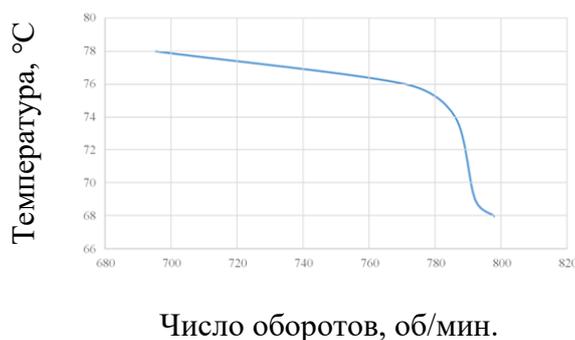


Рис. 3. График зависимости температуры от числа оборотов шнека в минуту

В результате проведенных исследований с использованием метода термопрессования (рис. 4) с использованием пресса-вулканизатора Romanoff был получен пласт биоразлагаемого материала (рецептура №8), представленный на рисунке 5.

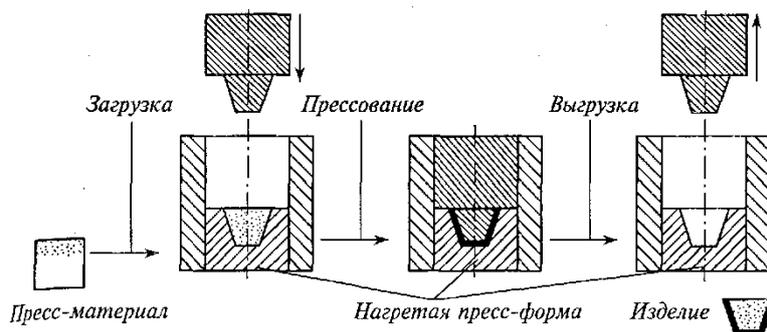


Рис. 4. Схема технологического процесса переработки терморезактивных материалов методом прессования

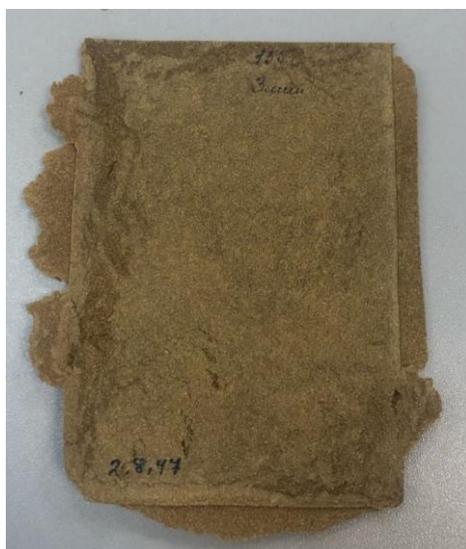


Рис. 5. Пласт биоразлагаемого материала, изготовленный по рецептуре №8

Метод термопрессования был признан оптимальным для получения биоразлагаемой посуды. Полученный материал отвечал необходимым формопрочностным характеристикам и обладал большей гибкостью, в отличие от материала, полученного методом экструзии.

Для определения способности и времени растворения полученных биоразлагаемых материалов была разработана собственная методики. Перед исследованием образцов была определена влажность на аппарате OHAUS MB-25. Образцы изучаемых материалов массой 0,4 г после раскатки прижимным валом с высушиванием в термостате и после экструзии были помещены в 150 мл воды. Для определения времени растворения образцы погружали в воду температурой 20 °С и 80 °С в течение 2 часов без перемешивания. Замерялось время начала растворения и полного растворения образцов, степень растворения оценивали визуальным наблюдением. После сравнительного анализа делали вывод о механической прочности исследуемых материалов.

После экструдирования материала были проведены исследования для сравнения свойств полученных образцов с образцами, изготовленными методом ручной раскатки. Результаты проведения экспериментов представлены в таблице 8.

Сравнительная характеристика материалов, полученных различными методами

Показатель сравнения	Раскатка прижимным валом	Экструзия
Влажность	4,96%	2,9%
Прочность, МПа	0.62	0.25
Отн. удлинение, %	0.65	0.29
Растворимость в воде	Не растворяется	Начало растворения – через 10 минут, полное растворение – через 40 минут
Растворимость в горячей воде	Начало растворения – через 30 минут, полное растворение – через 2 часа	Полное растворение через 15 минут
Механическая прочность	Устойчив к механическим воздействиям	Материал ломкий, хрупкий

При ручной раскатке полная растворимость при 20°C получаемого биоразлагаемого материала превышает 2 часа, в отличие от материала, получаемого методом экструзии. Материал, получаемый методом ручной раскатки, полностью растворяется в воде через полчаса, в то время как экструзионный материал растворяется через 15 минут. Прочность экструзионного материала значительно ниже раскатанного материала, который устойчив к механическим воздействиям.

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка с применением метода экструзии привела к значительному ухудшению свойств материала, что негативно скажется при дальнейшей эксплуатации. Вследствие чего можно сделать вывод о нецелесообразности использования экструзии для формования материала, полученного из изучаемой рецептурной смеси, в отличие от метода термопрессования, при котором был получен равномерно высушенный тонкий пласт биоразлагаемого материала.

На основании проведенных лабораторных исследований и с учетом актуальности, доступности, сложности эксплуатации и обслуживания, а также возможности обеспечения норм безопасности в лабораторных условиях, оптимальным был признан метод термопрессования – он не требует использования компрессора, подходит для высоковязких рецептурных смесей, прост, дешев и более безопасен.

Для повышения термостойких и гидрофобных свойств получаемых биоразлагаемых материалов в процессе разработки технологии их получения была определена необходимость в ламинировании заготовок. Слой PLA толщиной 1 мм был нанесен на пласт биоразлагаемого материала (образец рецептуры № 8) (рис. 6). Для подготовки к ламинированию PLA нагревали на термопрессе до 200 °C в течение 1 мин. Для получения ламинированного образца биоразлагаемого материала заготовка была соединена с помощью термопресса при температуре 200 °C в течение 1 мин.

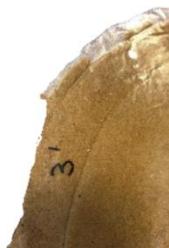


Рис. 6. Биоразлагаемый материал, полученный с использованием рисовой шелухи в качестве наполнителя (образец рецептуры №8), ламинированный слоем PLA

Надежное закрепление PLA к заготовке обеспечивается поверхностной диффузией, возникающей в процессе термопрессования, что позволяет достичь желаемых физико-механических показателей биоразлагаемого слоистого материала для дальнейшего получения биоразлагаемой одноразовой посуды.

На данный момент ведутся пуско-наладочные работы разработанного в рамках темы ПО НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодegradации» термопресса. Для получения биоразлагаемой одноразовой посуды был разработан чертеж пресс-формы. Её спроектирована 3D-модель находится на этапе изготовления. Для получения биоразлагаемой посуды будет необходима подготовка заготовки с использованием термопресса определенной толщины с последующим её расположением в пресс-форме для дальнейшего горячего прессования с учетом уже разработанной технологии, подобранных температурных режимов и оптимального состава рецептурной смеси.

На основании полученных результатов исследования был разработан оптимальный состав рецептурной смеси и технология получения биоразлагаемых материалов. Также была сформулирована и обоснована необходимость использования принципа получения многослойных биоразлагаемых материалов. Для этих целей был спроектирован термопресс с возможностью смены пресс-форм в зависимости от требований к конечной форме продукции. Для производства биоразлагаемой посуды необходимой формы были разработаны конструктивные требования к пресс-форме с учетом особенностей рецептурной смеси, а также её количества.

Полученные результаты будут использованы в будущем масштабировании производства биоразлагаемой посуды с использованием разработанной рецептурной смеси и выбранного способа получения для коммерческого использования и внедрения.

Литература

1. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП). Что нужно знать о резолюции против пластикового загрязнения? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/istoriya/chto-nuzhno-znat-o-rezolyucii-protiv-plastikovogo-zagryazneniya> (дата обращения: 23.02.2023).
2. ТАСС. Абрамченко: начнем избавляться от одноразовых товаров из пластика поэтапно с 2025 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/interviews/14965339> (дата обращения: 23.02.2023).
3. Abdullah Z.W., Dong Y. Recent advances and perspectives on starch nanocomposites for packaging applications // *J Mater Sci*. 2018. № 53(15319). С. 15339.
4. Lumdubwong N. Applications of starch-based films in food packaging // *In Reference Module in Food Science*. Elsevier. 2019.
5. Din M.I., Ghaffar T., Najeeb J., Hussain Z., Khalid R., Zahid H. Potential perspectives of biodegradable plastics for food packaging application-review of properties and recent developments // *Food Addit Contam Part A*. 2020. № 37(665). С. 680.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR OBTAINING ANTIBACTERIAL NANOCOMPOSITES FROM PLANT MATERIALS

Okonov S.S.¹ (PhD, student)

Scientific adviser – Ph.D., associate professor Ovsuk E.A.¹

1 – ITMO University

e-mail: seonn13@gmail.com

Abstract

The possibility of using nanocomposite materials as promising antibacterial materials was considered. Methods for obtaining antibacterial nanocomposites from plant materials are considered and studied, the advantages and sustainable, eco-friendly prospects of using these materials are noted. A discussion and review of such a method of obtaining nanoparticles as “green synthesis” is held, and the features of this synthesis when obtaining antibacterial nanocomposites are noted.

Keywords

Nanocomposites, nanoparticles, antibacterial materials, plant materials, green synthesis, agricultural wastes, plant wastes.

Introduction

Microbial contamination is a persistent problem in various fields such as healthcare, food production, and medicine. To solve this problem, a wide range of techniques and technologies is used, but infection still remains possible in most cases. The problem is also a property of bacteria to obtain antibiotic resistance, which makes it very difficult to fight infections. Therefore, the development of new materials with antibacterial properties is essential to combat such infections.

One promising solution is the use of nanocomposites, which are materials consisting of at least two phases, one of which has nanosizes (<100 nm) in at least one dimension. Nanocomposites possess unique properties, such as flexibility and versatility, making them suitable for use as coatings or packaging in food industry or drug carriers with antibacterial activity.

In this article, we will explore the potential of nanocomposites with antibacterial properties using plant materials and their applications in healthcare, food production, and medicine. We will discuss the advantages of using plant-based nanocomposites over traditional hydrocarbon-based materials and highlight some recent developments in this field. Different properties and features of using plant-based nanocomposites are examined and highlighted and discussion of future directions for research in this area is handled. The goal of this article is to provide a better understanding of the potential of plant-based nanocomposites as a sustainable and effective solution to combat microbial contamination.

Prospects of nanocomposites as sustainable and effective antibacterial materials

Nanocomposites have shown great potential in the field of antibacterial materials due to their unique properties. The fundamental essence of nanocomposites is the use of structural blocks with dimensions in the nanometer range to design and create new materials with unique flexibility, versatility, and improved physical properties. These materials can be tailored to have specific antibacterial properties by controlling the size, shape, and composition of the nanoparticles. It is possible, for example to incorporate such materials as silver or copper nanoparticles, one of the best and most widely used substances for antimicrobial purposes, into various matrices, which will provide better mechanical properties, increased thermal stability and enhanced electrical conductivity. These properties make them suitable for a wide range of applications such as healthcare, waste handling and food packaging.

A known application of biodegradable polymers in food packaging is as edible films that are used to individually coat small food products or placed inside food products. Biopolymer films can also improve the quality of food products and act as an effective carrier for incorporating various additives including antimicrobials, antioxidants, colorings and other nutrients. Antimicrobial packaging, in particular, interacts with the packaged food or packaging space to reduce, inhibit or even suppress the growth of spoilage and pathogenic microorganisms. Packaging with antimicrobial activity can take several forms, including direct incorporation of the active compound into the polymer matrix (antibacterial composite), application to the surface of the package, or as sachets. Sachets or sachets and pads placed inside the package are one type of active food packaging. Recent developments in active food packaging can take the form of biodegradable and/or edible films, metal- or polymer-based micro- and nanocomposites, and modified atmosphere packaging. However, sachets, packets and pads still play a prominent role in food storage and preservation, especially at the commercial level.

A key reason for the development of bacterial resistance is regular exposure to antibiotics. In this regard, nanomaterials (≤ 100 nm in at least one dimension) can be used to encapsulate antibiotics. Nanomaterials can restore antibiotic efficacy due to their nanoscale functional properties. As carriers and delivery agents, they can reach target sites within the bacteria by crossing the cell membrane, causing leakage of cellular components and disrupting metabolism. The smaller size of nanomaterials compared to their bulk counterparts changes their physicochemical properties, resulting in increased efficacy. The size of a nanomaterial can change pharmacokinetics, particularly the translocation, distribution, absorption and excretion of an antibiotic. Binding of antibiotics to functional nanomaterials is crucial because their surface charge and density determine the effectiveness of killing bacteria. As an example of the use of nanomaterials as an effective tool in the antibacterial field a research of reducing the antibiotic resistance of *E. coli* in relation to tetracycline can be served. By attaching this antibiotic to the nanocomposite, it was possible to overcome the antibiotic resistance of these bacteria, due to the ability of the nanocomposite to penetrate together with the antibiotic inside the bacteria with the subsequent destruction of the bacteria caused by destabilization of natural efflux of the cell. This makes it possible to ignore the antibiotic resistance and fight them successfully. It was additionally found that the effectiveness of carbon nanomaterials as a means of antibiotic delivery depends on the shape, with a needle shape showing the better activity towards bacteria [1]. This fact immediately makes methods and technologies with higher control over the size and shape of the obtained materials more preferable in this area.

Usage of plant materials in nanocomposite synthesis

The use of plant materials as a renewable source for the production of nanocomposites is gaining interest in recent years. The production of polymeric and composite materials often involves the use of hydrocarbon raw materials such as oil and gas. However, the use of plant materials as a substitute for hydrocarbon raw materials is a more sustainable and environmentally friendly alternative. The replacement of non-renewable resources with plant-based ones could be driven by the following factors:

- the high cost of hydrocarbon resources and the complexity of their processing technology;
- the increased toxicity of the process of hydrocarbon resource processing;
- the depletion of global reserves of non-renewable energy resources, such as oil, natural gas, coal, etc.;
- the high content of undesirable and harmful impurities;
- less energy consuming production of plant-based materials compared to traditional materials;
- biodegradability and sustainability of plant-based materials, with a more benign impact on the environment.

Methods of nanocomposite synthesis from plant materials.

There are several methods for obtaining antibacterial nanocomposites from plant materials, including sol-gel, electrospinning, pyrolysis and green synthesis. Each method has its advantages and disadvantages, and the choice of method depends on the specific plant material and desired properties of the nanocomposite.

Sol-gel is a well-known method of obtaining nanomaterials, that uses the conversion of monomers to the network of polymers or discrete particles through the sol and gel stages. One of the key advantages of sol-gel method would be the higher control over the shape, size and composition and properties of the resulting materials, tuned by temperature, reagent concentration and pH. Typically, the sol gel method involves the use of large amounts of organic and inorganic harmful chemicals. Recently, however, there has been an upswing in the use of plant materials in the sol gel method, a notable example being silica derived from plant materials for a more sustainable and environmentally friendly approaches in sol-gel methods. Yet, the sol-gel method is still a complex, time-consuming technology, that requires a special equipment and still uses a large amount of harmful and dangerous chemicals.

Electrospinning is a method that uses an electric field to obtain a nanomaterials and nanofibers from a polymer solution. Relatively simple and cost-effective method for obtaining nanomaterials with high surface areas and possibilities for further antibacterial agent functionalization. Although, the drawbacks of the method would be the use of toxic solvents and inhomogenous and uneven distribution. This method is used mainly in medicine, and the resulting materials and particles are characterized by low mechanical properties, making it difficult to scale up the process, for example, in food industry as an antibacterial coating material [2].

Pyrolysis is another method for obtaining antibacterial nanocomposites from plant materials. This method involves heating the plant material in the absence of oxygen to produce a char, which can then be activated to create a high surface area material. There was evidence, that biochar itself obtained from pine needles had antibacterial properties against *Salmonella* and *E. coli*. Antibacterial properties of pyrolytic materials could be due to high surface area and porosity that allows an absorption and removing of bacteria or due to the fact that physical barrier is made, and it prevents bacteria from growing. Pyrolysis is a simple and low-cost method, that doesn't require the use of metal salts, which can be costly and harmful to the environment and human health. However, pyrolysis may not be as precise or controllable as other methods, and the resulting nanocomposites may not have as uniform in structure. Method could be relatively less sustainable and environmentally friendly, as it uses the large amount of energy to heat the materials.

The term "green" synthesis can be thought of as methods of synthesis that use living, biological, plant environments in the process of synthesizing nanomaterials. Such methods can be methods using bacteria, fungi, yeast, algae, plant extracts [3] and agroindustrial waste [4]. Considerable interest is paid to these processes, as these methods are environmentally safe and economically profitable. Ongoing studies show that extracts from various plants contain various compounds that can potentially be used to produce high-value chemicals, bioactive compounds, pharmaceuticals, biofuels, biocides, corrosion inhibitors and pharmaceuticals. These extracts can be obtained from plant wastes of various industries, like agricultural or food waste. These wastes contain many valuable components that have the ability to act as an effective, sustainable and environmentally friendly metal ion reductant. In addition, they also have modeling and stabilizing properties, act as a sealing agent and prevent the agglomeration of prepared nanoparticles.

In this regard, green synthesis methods are increasingly becoming objects of interest when it comes to obtaining nanocomposites from plant materials. As green synthesis using plant extracts doesn't require special equipment, easy to handle, simple and accessible in its operations, with much higher control over the size, shape and properties of obtained nanoparticles and nanocomposites, with potential to scale up this process for industrial and

commercial use, notably in food industry and medicine, sustainable, and environmentally less harmful, this method is chosen for further examination and development of a technology based on it.

Proposed synthesis of nanocomposites

After the analysis of literature, it was revealed that the technological process of biological synthesis of nanocomposites using plant extracts could be comprised of the next following steps: selection of plant material, synthesis of plant extract, synthesis of nanoparticles and nanocomposites and the characterization of both nanoparticles and nanocomposites.

Selection of plant extract

The first step is to select a suitable plant extract that can be used for the synthesis of nanocomposites. The main parameter to consider is the chemical content of an extract. It should contain a rich number of bioactive compounds, that act as a reducing agent and stabilizer in the nanocomposite synthesis. Looking for plants that are rich in polyphenols, tannins, alkaloids, flavonoids, terpenoids and triterpenoids should be a main consideration when selecting a plant. It is also important to concern an availability and cost of such plant, or the ease of cultivating, as well as its safety, for possible industrial or commercial scale up.

Preparation of plant extract

Next step is the initial preparation of the plant extract for use in nanocomposite synthesis. The leaves of the chosen plant are first washed thoroughly to remove any dirt or debris that may interfere with the extraction process. Once clean, the leaves (around 5-15g depending on the plant) are then mixed with a specific amount of distilled water (100g) in a beaker. The ratio of plant material to water is important as it affects the concentration of phytochemicals in the extract.

The mixture is then stirred gently to ensure that all parts of the plant material are in contact with the water, allowing for maximum extraction of bioactive compounds. The process is maintained until the color of the extract is distinctive. Extract is filtered, and if needed, centrifuged, to obtain a clean solution. This extract then can be used for further processing to create nanocomposites. Prepared plant extract is recommended to store in a room temperature and in a place away from solar light, to prevent oxidation and other chemical reactions of phytochemicals in the extract.

One of the most crucial conditions in the plant extraction is the temperature. What temperature to use, and for how long is still the matter of debate. In the literature, there are a vast number of temperature settings used for the extraction of plant substances, ranging from the mildest, such as room temperature, to temperatures above or near the boiling point of water. Additional heating can lead to a faster and more effective extraction, and also to a better dissolution and thus yield of phytochemicals. However, excessive and inconsiderate heating can lead to either degradation or complete destruction of plant substances.

Other variable parameters of the plant extraction could be choice of solvents, pH of the solution, as well as additional mechanical, physical and chemical exposures on the solution. Such exposures could be ultra-sound techniques, or supercritical fluid extraction methods. Also, the condition of the plant itself, such as the age, health, or even the time it was harvested may result in miscellaneous properties of obtained nanoparticles and nanocomposites.

Synthesis of nanoparticles

The plant extract is then mixed with a metal salt solution, and the mixture is heated to initiate the reduction reaction. The bioactive compounds in the plant extract act as reducing agents, and the metal ions are reduced to form nanoparticles.

Next, the metal salt solution is prepared by dissolving a suitable metal salt such as silver nitrate or copper sulfate in water (fig. 1).

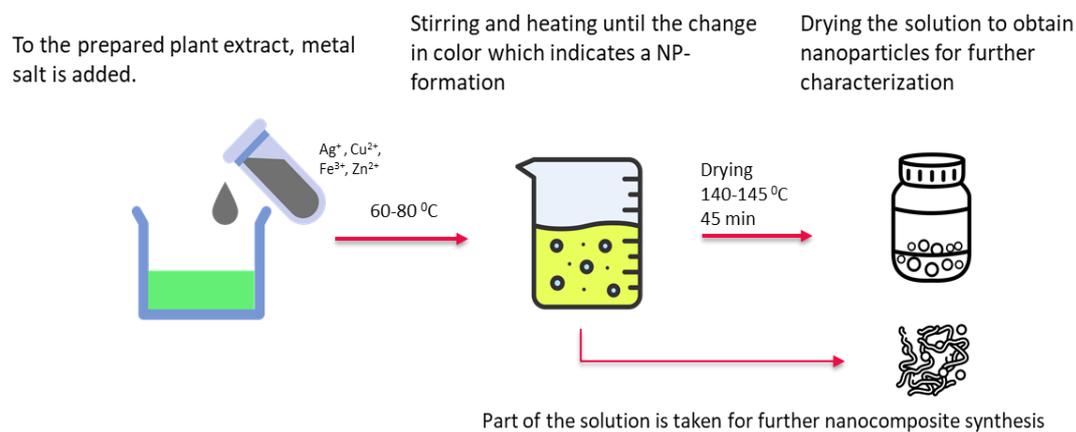


Fig. 1. Synthesis of nanoparticles

Copper and silver are known to be among the best metals for fighting germs and infections. Silver, for example are often used in medicine as an antibacterial component in equipment and dressing, and as an active ingredient in topical antibiotics. The mechanism of antibacterial properties of these metals considered to be an ion activity of metals. Once these metals contact with bacteria, they release electrically charged ions, destructing or inactivating the bacteria. Meanwhile, nanocomposites, which are made from silver and copper nanoparticles, have the ability to penetrate and irreversibly damaging cell membranes of bacteria, neutralizing it. In addition to their antibacterial properties, both silver and copper nanoparticles have been shown to have low toxicity towards mammalian cells, making them ideal candidates for use in biomedical applications [5]. They provide excellent stability and functionalization properties, making them ideal candidate for further nanocomposite synthesis with various matrices.

One part of the synthesized nanoparticle solution is then dried to obtain solid nanoparticles for further characterization and the other is taken for further nanocomposite synthesis.

Characterization of nanoparticles

The synthesized nanoparticles are then characterized using various techniques such as UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction, and transmission (TEM), or scanning electron microscopy (SEM) to determine their size, shape, and composition of the obtained nanoparticles.

Although the initial aim is to synthesize nanocomposites, before proceeding to the next step of the synthesis, it is recommended to carry out a characterization of resulting nanoparticles. Such data as size, structure, shape, composition and distribution of nanoparticles, as well as the antimicrobial properties of nanoparticles (MIC and MBC) could be used firstly as a confirmation of successful synthesis and a permission to a further synthesis. And secondly, the information obtained will help clarify the details of the synthesis performed, and, if there are any uncertainties, it gives the opportunity to adjust the synthesis to one's needs.

Preparation of nanocomposites

The formation of a nanocomposite involves mixing the synthesized nanoparticle solution with a matrix material to create a stable and homogeneous mixture. The matrix material can be a metal, ceramics, carbon polymers or any material that can hold the nanoparticles in place and provide needed features for the composite material, such as mechanical and thermophysical properties. The benefit of using plant materials is that it itself can act as a stabilizer for the nanoparticles in the nanocomposite structure, preventing the agglomeration and clumping of the material

To form the nanocomposite, two solutions are typically used, one with the nanoparticles and the other with matrix material. This mixture is then stirred or sonicated to ensure the distribution of nanoparticles is even.

After mixing, the resulting solution is further dried or cured to obtain a solid nanocomposite. Curing process could involve heating the solution, exposing it to UV light. Further nanocomposite can then be processed or molded into various forms and shapes, depending on the intended use (fig. 2).

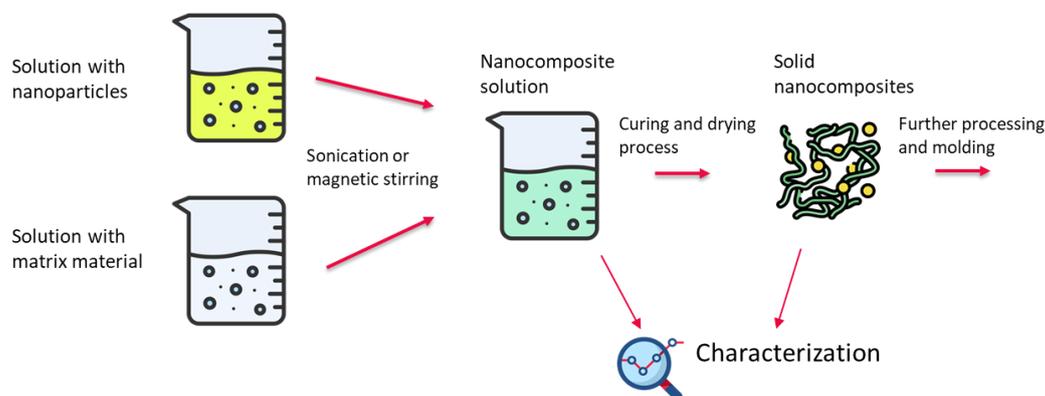


Fig. 2. Synthesis of nanocomposites

Possibilities of using agricultural and plant wastes

One of the key advantages of this technology, is that the matrix material of nanocomposite could be obtained from the plant material itself.

Cellulose, the natural polymer, is the most abundant renewable biomass on Earth and can be extracted from various plant sources, such as wood, cotton, and other agricultural residues, using variety of chemical and mechanical methods. Although could be done variably, usually the process implies breakdown of plant material into cellulose fibers. Nanocomposites that uses cellulose as a matrix material have gained interest in recent years due to its renewability, sustainability, biodegradability, better mechanical properties and durability.

Taking into account this advantage, agricultural waste could be processed using this technology. The production and consumption of plant-based oils are increasing every year, resulting in a significant amount of agricultural waste. To address the economic and environmental costs associated with waste disposal, it is possible to use agricultural waste to produce nanocomposites. Agricultural waste could be used both as the polymer matrix or as a filler material that can be dispersed in the matrix.

By incorporating natural antibacterial agents from agricultural wastes such as grape pomace or citrus peels, which have been shown to have antibacterial properties, into the polymer matrix, we can obtain nanocomposites with agricultural waste acting as the filler material with antibacterial properties. Various extracts can be processed to obtain nanoparticles or nanofibers, which can then be dispersed in a polymer matrix to obtain an antibacterial nanocomposite.

Additionally, as a polymer matrix, agricultural waste can be used in a polymer matrix with added antibacterial agents. For example, beforementioned silver or copper nanoparticles can be added to a polymer matrix from rice husk ash obtained from agricultural waste to obtain an antibacterial nanocomposite [6].

Characterization of nanocomposites

The synthesized nanocomposites are then characterized using the same techniques as in the case of nanoparticles, (SEM, TEM, XRD and etc.) with addition of thermogravimetric analysis and mechanical testing to determine their properties such as morphology, thermal

stability, and mechanical strength. Although it is important to mention, that due to the more complex structure of the nanocomposite and presence of two heterogenous phases, some additional analytical techniques could be needed.

Method that is extremely useful for the characterization of nanocomposites is Fourier transform infra-red method (FTIR). FTIR usually provides data about the presence of functional groups and interaction between certain components in the network. It is an ideal instrument to identify and validate compatibility between certain nanoparticles and matrices, and tell which molecules or groups could be responsible for capping, stabilizing the structure of nanocomposite. This method can also serve as a validation of the successful synthesis.

In the case of nanocomposite characterization, SEM (Scanning Electron Microscopy) is used to determine the surface morphology and topography of the nanocomposite. SEM gives us information on the size, shape, and distribution of the incorporated nanoparticles in the matrix material, and can serve as a confirmation of nanoparticle synthesis.

In characterization of nanocomposites, X-ray diffraction (XRD), technique that determines the diffraction pattern from the interaction of x-ray rays with the atoms. In the case of a nanocomposite containing nanoparticles, XRD can be used to determine the crystal structure of the nanoparticles, as well as their orientation and size within the matrix material. The formation of crystalline structure could also be considered as an evidence of successful synthesis of nanomaterials.

UV-Vis spectroscopy is a technique used to study the optical properties of the material. In the case of a nanocomposite containing nanoparticles, data from UV-Vis spectroscopy about optical properties can be used to determine the size and concentration of the nanoparticles in the matrix material, as well as other properties such as their shape and surface chemistry.

Differences in characterization of nanoparticles and nanocomposites

Differences in characterization of nanocomposites from nanoparticles occur due to the presence of complex network and the interaction of nanoparticles with the matrix material, unlike in the case of nanoparticles, where the characterization concerns only individual properties of nanoparticles.

For example, in the case of electron microscopies, transmission (TEM) and scanning (SEM) methods can provide information about the morphology and dispersion of the nanoparticles within the composite matrix. This data could be used to explore the mechanical and physical properties of the formed nanocomposite. In the case of nanoparticle characterization, the data provided from typical methods, is almost the same, such as size and shape, but the information about interaction between particles and matrix material is not provided.

To conclude, some of the same techniques can be used to characterize both raw nanoparticles and nanocomposites, however additional techniques are needed to fully understand the properties of nanocomposites synthesized from these nanoparticles and the interaction within the nanocomposite between filler material and matrix should be taken into account.

Summary

A nanocomposite is a material consisting of nanoparticles dispersed in a matrix material. By incorporating antimicrobial nanoparticles such as silver or copper, nanocomposites can be designed to have strong antimicrobial effects. The high surface area and small size of the nanoparticles allow for greater efficacy in killing or inhibiting microbial growth. Reviewing recent studies on nanocomposite synthesis it can be clearly said that the field of nanocomposite synthesis offers us a promising approach for developing antimicrobial materials.

The analysis of existing methods for obtaining nanocomposites from plant materials has been carried out. The most promising approach, green synthesis, method which involves using natural sources such as plants, bacteria, and fungi to produce high-quality materials without the

use of harmful chemicals or metals. was examined in details. Every step of nanocomposite synthesis, using “green synthesis” method, was discussed and reviewed.

Additionally, advantages of using plant materials were revealed such as eco-friendliness, low cost, scalability. Potential of using agricultural or plant waste for developing sustainable technologies were explored.

References

1. Carver J.A. et al. Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes and Nanographene Oxide to Overcome Antibiotic Resistance in Tetracycline-Resistant *Escherichia coli* // *ACS Appl Nano Mater.* 2020. Vol. 3. № 4.
2. Ahari H. et al. Bio-nanocomposites as food packaging materials; the main production techniques and analytical parameters // *Advances in Colloid and Interface Science.* 2022. Vol. 310.
3. Omran B.A. et al. Biovalorization of mandarin waste peels into silver nanoparticles and activated carbon // *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2021. Vol. 18.
4. Narasaiah B.P., Mandal B.K. Remediation of azo-dyes based toxicity by agro-waste cotton boll peels mediated palladium nanoparticles // *Journal of Saudi Chemical Society.* 2020. Vol. 24. № 2.
5. Vimbela G.V. et al. Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials // *International Journal of Nanomedicine.* 2017. Vol. 12.
6. Yıldız A. et al. From industrial waste to carbon-containing nanocomposites to obtain multifunctional properties for industrial applications // *Ind Crops Prod.* 2022. Vol. 188.

СОКРАЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Орынбаева М.М.¹ (магистрант)
Научный руководитель – к.т.н. Уваров Р.А.¹
1 – Университет ИТМО
mariyammor@gmail.com

Аннотация

Ежегодно с оборудования биохимической очистки сточных вод коксохимического предприятия поступает в атмосферу около 16 тонн загрязняющих веществ, что в 10 – 20 раз больше предельно допустимых значений. При этом ни на одном коксохимическом предприятии не решены вопросы улавливания и обезвреживания выбросов с сооружений биохимических установок. Данная технология и технологическая схема разработаны с целью создания коллекторной системы улавливания и очистки организованных выбросов установки биохимической очистки сточных вод не менее чем на 95 %. Технология разработана с применением скруббера Вентури, к которому подобран вентилятор для подачи выбросов во внутрь. В качестве поглотительного (очищающего) парогазовые выбросы раствора используется био – химически очищенная сточная вода.

Ключевые слова

Биологическая очистка, очистка сточных вод, аэротенки, биофильтры, скруббер Вентури.

Ежегодно в РФ образуется свыше 22,3 млн тонн загрязняющих веществ, а их количество ежегодно растет. По абсолютным показателям выбросов загрязняющих веществ в атмосферу лидируют индустриализированные территории - промышленно развитый Красноярский край (в 2021 году в регионе было выброшено в воздух 2,6 млн тонн вредных веществ, что составляет 11,7 % всех выбросов по стране), а также угледобывающая Кемеровская область (1,7 млн тонн, или 7,5 %) и нефтегазовый Ханты-Мансийский автономный округ (1,3 млн тонн, или 5,8 %) [1]. Значительная доля этих выбросов приходится на коксохимическое производство - одну из наиболее развитых отраслей промышленности в нашей стране. Использование биохимических установок позволяет очищать сточные воды, образуемые в процессе производства, от содержащихся высокотоксичных загрязнителей, обладающих летучестью, высокой токсичностью и неприятным запахом, тем самым сокращая общую экологическую нагрузку на окружающую среду [2].

В настоящее время очистка выбросов с биохимических установок коксохимических предприятий в нашей стране применяется в недостаточном объеме, хотя является актуальной задачей, особенно на территории размещения оборудования механической очистки, отличающейся высокой загазованностью фенолами и аммиаком. Для решения проблемы парогазовоздушных смесей, отходящих от биохимических установок необходимо их улавливание и очистка.

Наиболее простыми способами снижения выбросов с перекрытых (закрытых) сооружений являются конденсационные процессы, например – установка вместо воздушников трубы, играющей роль воздушного холодильника. При выходе парогазовоздушной смеси из сооружений через воздушный холодильник часть паровой фазы конденсируется, увлекая с собой содержащиеся вещества и возвращая их в систему. А, поскольку равновесная концентрация летучих компонентов в паровой фазе обычно выше, чем в водной фазе, то с конденсатом возвращается значительное количество токсичных веществ [3].

Другим техническим решением является установка коксового фильтра, способствующего конденсации водяных паров и позволяющего снизить выбросы

токсичных веществ. Степень очистки парогазовой смеси с применением воздушного холодильника и фильтра зависит от перепада температур на входе и выходе из аппарата, то есть от количества сконденсированных паров.

Также к числу известных способов относится фильтрация газовой смеси через молекулярные фильтры. Мембранные системы задерживают загрязнения и действуют как тончайшие сита. Ненужные удержанные вещества концентрируются в потоке (концентрат), который не накапливается, а выводится из системы. Очищенная вода проходит через мембрану в виде фильтрата (пермеата). Чем меньше поры мембран, тем выше степень очистки, но и тем большее давление необходимо применить для фильтрации. Однако данный метод не позволяет в полной мере обеспечить снижения количества загрязняющих веществ в выбросах с оборудования очистки сточных вод [4].

Для высокой степени улавливания и очистки газообразных выбросов требуется достаточно сложное аппаратное оформление очистных установок, включающее абсорберы (адсорберы) и холодильные установки [3]. Адсорбер – аппарат для поглощения поверхностным слоем твёрдого тела, называемого адсорбентом, растворённых или газообразных веществ, не сопровождающееся химической реакцией. Абсорбер – аппарат для поглощения газов, паров, для разделения газовой смеси на составные части растворением одного или нескольких компонентов этой смеси в жидкости, называемой абсорбентом. Кроме этого, требуется высокая степень регенерации поглотительного раствора, либо его полная замена на чистый раствор. Все это приводит к существенному удорожанию процесса очистки, что ограничивает его внедрение.

В последние годы для очистки вентиляционных выбросов все большее применение находит сочетание абсорбционных и адсорбционных процессов с биохимической регенерацией поглотителя. Преимуществом этого метода перед другими является то, что наряду с высоким эффектом улавливания и очистки, сокращается до минимума потребность в обновлении поглотителя, а также решается вопрос уничтожения комплекса уловленных загрязнений [5-7]. Сравнение парогазовых выбросов с биохимических установок коксохимического производства приведена в таблице 1.

Таблица 1

Качественная и количественная характеристика выбросов загрязняющих веществ с биохимических установок коксохимического производства без улавливания выбросов

№ п/п	Ингредиент	Количество загрязнения, поступающее в атмосферу т/год	Массовая доля вещества в выбросах, %	Количество, поступающее в атмосферу		Содержание, мг/м ³
				г/час	кг/сутки	
1	Аммиак	15,030	93,879	1715,753	41,178	220,988
2	Фенол	0,300	1,874	34,247	0,822	4,411
3	Цианистый водород	0,420	2,623	47,945	1,151	6,175
4	Сероводород	0,020	0,125	2,283	0,055	0,294
5	Нафталин	0,140	0,874	15,982	0,384	2,058
6	Бензол	0,100	0,625	11,416	0,274	1,470
	ВСЕГО:	16,01	100	1827,626	43,863	235,397

Из представленных данных видно, что на долю валового выброса аммиака приходится почти 94 % выбросов загрязняющих веществ с биохимических установок коксохимического производства. В связи с этим для расчета основных характеристик скруббера возьмем аммиак. В соответствии с апробированной методикой было найдено

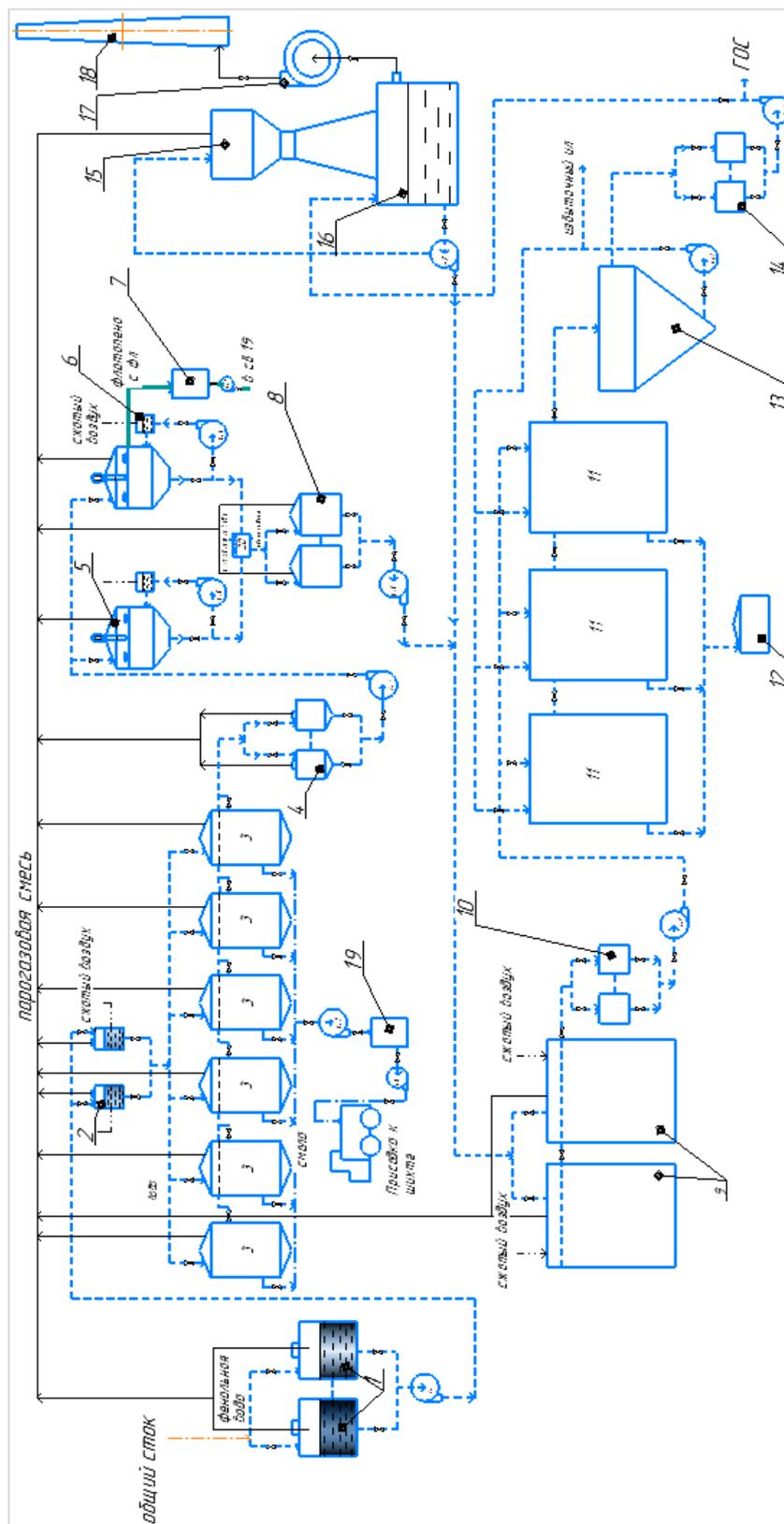
содержание ингредиентов в парогазовой смеси, состоящей из сероводорода, цианида и углекислого газа (при температуре 50 °С).

Таким образом, для решения проблемы обезвреживания выбросов с емкостного оборудования биохимических установок предлагается абсорбционная технология улавливания выбросов в скруббере Вентури вентиляторного типа с биохимической очисткой поглотительного раствора. Это представляется вполне возможным, так как условия очистки парогазовых смесей близки к оптимальным для жизнедеятельности бактериальных культур, а достигаемая степень деструкции загрязняющих веществ находится в пределах 95–99,9 % и даже выше.

Скруббер предназначен для улавливания и очистки парогазовоздушной смеси от: сборников фенольной воды, предаэраторов, первичных отстойников, сборников после первичных отстойников, флотаторов, сборников воды после флотаторов, предаэротенков, сборников после предаэраторов, аэротенков и сборников очищенной воды. Предлагаемая технологическая схема коллекторной системы для сбора и подачи парогазовоздушных выбросов в скруббер Вентури представлена на рисунке.

БХУ Данная технология функционирует следующим образом. Парогазовая смесь, отходящая от объединенных в коллекторную систему воздушников: приемного сборника фенольных вод позиция 1, преаэраторов позиция 2, первичных отстойников позиция 3, сборников после первичных отстойников позиция 4, флотаторов позиция 5, сборников после флотаторов позиция 6, предаэротенков позиция 9, побуждаемая вентилятором, поступает в скруббер позиция 15, где промывается циркулирующей (оборотной) водой от вредных веществ. Уловленные вещества, растворяясь в оборотной воде, частично подвергаются биохимическому окислению в сборнике-аэротенке за счет высокого насыщения воды кислородом воздуха в процессе промывки парогазовой смеси. Очищенная ПГВ смесь выбрасывается в атмосферу через сбросную трубу позиция 18. Часть оборотной промывной воды (продувка) непрерывно выводится на очистку в предаэротенки, взамен ее проводится непрерывная подача биохимически очищенной (подпиточной воды) из сборника очищенной воды позиция 14 с поддержанием постоянного уровня водного слоя в сборнике-брызгоуловителе позиция 16.

Таким образом, в рамках исследования изучен состав выбросов, определены наиболее распространенные компоненты, исследованы наиболее значимые источники выбросов токсичных летучих веществ из числа сооружений биохимических установок, проработаны различные технологические варианты и обоснована наиболее подходящая технология улавливания и очистки - биологическая очистка. Данная технология позволяет снизить количество выбросов в атмосферу с сооружений биохимических установок коксохимических производств. В ходе работы изучены предшествующие исследования ведущих научных коллективов, занимающихся данной проблемой, определен наиболее достоверный метод контроля - гидробиологический мониторинг активного ила и проанализированы существующие технологические решения в области обезвреживания выбросов. Для решения проблемы загрязнения атмосферы выбросами с сооружений биохимической установки коксохимического производства разработана абсорбционная технология улавливания и очистки организованных парогазовых выбросов с помощью скруббера. Выбран наиболее подходящий поглотитель. Представлена технологическая схема, включающая коллекторную систему сбора и подачи парогазовых выбросов в скруббер.



1 – сборники фенольной воды; 2 – преаэраторы; 3 – первичные отстойники; 4 – сборники после первичных отстойников; 5 – напорные флотаторы; 6 – сатуратор; 7 – сборник флотошлама; 8 – сборники после флотаторов; 9 – предаэротенки; 10 – сборники воды после предаэротенков; 11 – аэротенки; 12 – колодец опорожнения; 13 – вторичный отстойник; 14 – сборник очищенной воды; 15 – скруббер Вентури; 16 – сборник-брызгоуловитель; 17 – вентилятор; 18 – сбросная труба; 19 – сборник смолы; 20 – автомобиль; 21 – теплообменник.

Рисунок. Технологическая схема улавливания и очистки парогазовоздушных выбросов

Литература

1. Аналитики назвали регионы с наибольшими выбросами вредных веществ в атмосферу [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2022/vybros-vred-vesh-v-atm/> (дата обращения 19.03.2023).
2. Развитие теории и практики биохимической очистки сточных вод и утилизации других отходов коксохимического производства / Т.М. Сабирова: дисс. ... д-ра техн. наук. 2004. Екатеринбург. 390 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. М.: Химия. 1976 г.
4. Султанбекова П.С., Абдуова А.А., Дуанбекова А.Е., Ермаханов Н., Нурмашева Г.Р., Оралсынкызы М. Использование мембранной технологии в очистке сточных вод легкой промышленности // Известия высших учебных заведений, технология текстильной промышленности. 2020. С. 1–9.
5. Сабирова Т.М. Абсорбционно-биохимическая очистка вентиляционного воздуха от стэнда сушики сталеразливочных ковшей/ Неволлина И.В., Сабирова Т.М. // Экологические проблемы промышленных регионов: Тез. докладов научно-техн. конф. Екатеринбург. 2004.
6. Сабирова Т.М. Абсорбционно-биохимическая установка очистки вентиляционного воздуха промышленных предприятий / Сабирова Т.М., Пименов И.В., Шаповалов Ю.П. // Инф. листок. № 65–184. ЦНТИ. Екатеринбург. 1999.
7. Жуков В.Г., Хоменков В.Г. и др. Промышленные установки для микробиологической дезодорации газо-воздушных выбросов. Материалы конгресса «Биотехнология – состояние и перспективы развития». Москва. Россия. 10–14 ноября 2003 г.

COMPARATIVE ANALYSIS AND VEGETATION CHARACTERISTICS OF SOIL-PLANT COMPLEXES OF THE BASTAK NATURE RESERVE

Permyakova A.A.¹ (student)

Scientific Supervisor – Associate Professor Dinkelaker N.V.¹

¹ – ITMO University

email: aapermyakova@itmo.ru

Abstract

In this article the geochemical characteristics of the soil-plant complexes in the Bastak Nature Reserve are investigated based on geobotanical descriptions and the similarities in the heavy metals content of plant communities using statistical analysis methods. The species composition of communities and their binding to soil types and terrain characteristics in the Bastak Nature Reserve are addressed as a basis for further ecological and geochemical monitoring of this protected territory.

Keywords

Heavy metals, geochemical migration, spatial distribution, species composition, soil, plant communities, X-ray fluorescence.

Introduction

The study of soil-plant complexes and their participation in the processes of accumulation of various elements is of considerable theoretical and practical interest for characterizing the environmental conditions and the degree of anthropogenic contamination of protected natural areas. The key migration phenomena in geochemical provinces, in addition to the fundamental geochemical features of rocks, are significantly influenced by climatic, geomorphological, biogeochemical and soil-geochemical features of the studied territories.

Determination of the content of chemical elements, as well as the study of the patterns of their distribution and migration in the natural components of protected areas is impossible without clear ideas about the background contents of the studied elements. The object of the study is the vegetation of the Bastak Reserve, located in the Jewish Autonomous Region (EAO). The predominant type of vegetation of a specially protected natural area is forest. Two high-altitude vegetation belts are distinguished: broad-leaved-coniferous-forest and dark-coniferous-taiga. It should be noted that most of the territory of the EAO is a geochemical province, deficient in the following set of elements (I, F, Ca, Mg, Cu, Se, Co) and excessive in Fe, Mn and Rn.

It is known that the soil contains a high concentration of heavy metals naturally, but also due to different sources of anthropogenic contamination. Heavy metals are classified into two groups: micronutrients (iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), copper (Cu), molybdenum (Mo), and nickel (Ni), and toxic metals (cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), arsenic (As), and cobalt (Co). Plants absorb heavy metals found in soil solution. Because of the variety in soil attributes and plant growth characteristics, there is typically no direct relationship between total metal concentrations in soils and plants.

Materials and methods

The materials for the study were collected in the Bastak Reserve. As it is stated in previous studies, the predominant type of vegetation of this specially protected natural area is larch forest [1]. Nevertheless, when collecting samples on the routes, a variety of communities and biocenoses were encountered, not limited only to the larch forest. At the northern border, on the highest slopes, dark coniferous forests also predominate, which include Ayan and Siberian spruce, white fir, and woolly birch.

Field studies for the purpose of ecological and geochemical assessment of natural and disturbed ecosystems were carried out in the period 19.06.2022 - 27.06.2022. Five routes were completed with stops for creating sample points for collecting soil and plant samples, the coordinates of which were recorded for further mapping. When describing communities, the following information and dimensions were collected: geographical location, geomorphology, description of the grass layer (includes drawing up a complete species list, determining the total cover of the grass layer and each species in percentage) [2]. Each test point was also described in relation to the type of soil, of which brown-taiga and brown forest soils were predominant.

For description of the grass layer, on each test site (1 square meter area), the species composition of vegetation and the projective coverage of species as a percentage were determined on the spot (fig. 1). Due to weather conditions, the determination of plant species was carried out, among other things, during the subsequent processing of the collected data on photographic materials.

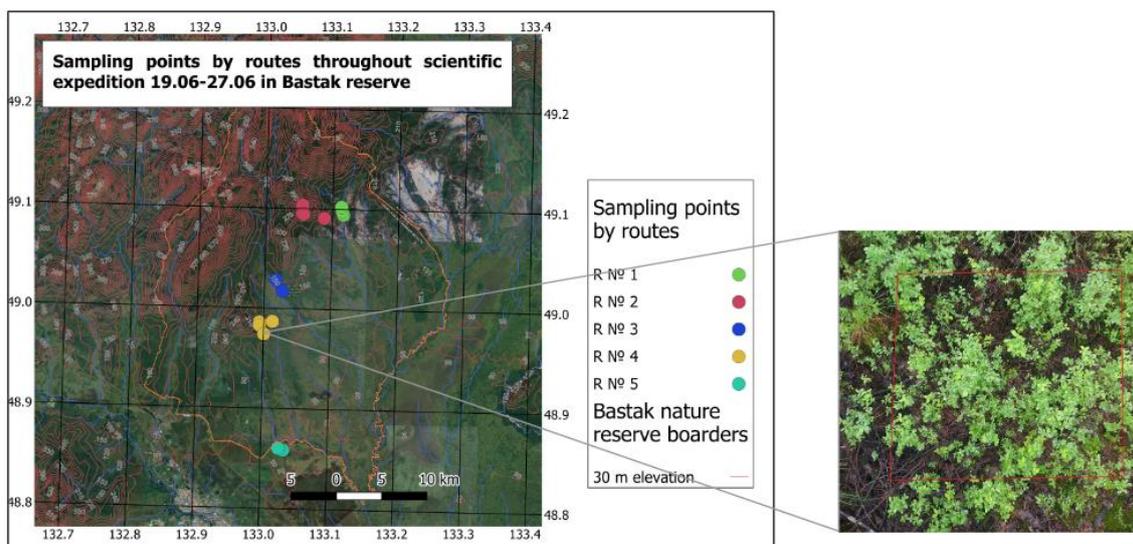


Fig. 1. Species composition analysis on 1x1 square meter sampling sites

The data on the species composition was presented in the form of tables in which the rows correspond to the species, and the columns correspond to the samples (sites). This format allows us to calculate various indices, analyze the similarity of the species composition of communities in relation with environmental factors at different test points, and apply statistical analysis. One of the stages of data analysis was its classification and grouping according to the principle of similarity of the compared communities. Since the organization of data is the same for different communities, its entire set (a total of 15 occurrence matrices) was analyzed in relation to five routes. The values of the dissimilarity between each pair of occurrence matrices were calculated (in this case, the Euclidean distance metric) using R Studio packages [3]. The same software was used to perform calculations to obtain statistical data.

To quantify the content of heavy metals in soil and plant samples, X-ray fluorescence spectrometry was used. This method uses a source of primary X-ray radiation (X-ray tube) to irradiate the analyzed object, resulting in the object itself begins to emit (fluoresce) in the X-ray range. The spectral composition of this secondary radiation adequately reflects the elemental composition of the analyzed sample.

Results

Table 1 shows the preliminary results and their structure after conducting the analysis using X-ray fluorescence method for detecting heavy metals content in the plant samples divided by sites of collecting.

Heavy metals content in plant samples

Sample	Species	Heavy metals content, mg/kg							
		Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn	Sr
1	<i>Rosa acicularis</i>	4,9546	4	281	268	1	20,654	18	19,509
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	4,9208	2	321	237	2	39,525	22	17,665
	<i>Corylus mandshurica</i>	4,7776	5	316	906	1	36,836	21	9,1617
2	<i>Vaccinium uliginosum</i>	5,4746	23	1616	16455	14	176,04	733	117,91
	<i>Rosa acicularis</i>	4,8642	4	286	386	0	20,388	13	20,523
3	<i>Athyrium filix-femina</i>	4,9777	3	529	79	5	73,125	20	30,499
4	<i>Corylus mandshurica</i>	4,9414	5	211	408	1	11,106	28	42,653
5	<i>Prunus maackii</i>	4,8108	6	375	1865	0	42,787	32	18,499
	<i>Acer tegmentosum</i>	4,9509	4	916	717	2	138,47	56	26,944
	<i>Carex sp.</i>	4,9831	4	298	361	3	43,002	29	16,183
6	<i>Philadelphus tenuifolius</i>	4,9602	2	317	195	2	43,555	27	28,559
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	5,0666	3	261	119	1	23,623	34	47,391
	<i>Acer mono</i>	4,8444	5	191	129	0	32,665	8	15,968
7	<i>Aruncus dioicus</i>	4,9756	3	233	254	2	23,415	50	53,78
	<i>Philadelphus tenuifolius</i>	5,0946	1	253	88	0	23,246	29	69,137
8	<i>Urtica angustifolia</i>	5,1439	0	341	68	1	51,904	27	134,66
	<i>Ulmus laciniata</i>	5,0007	1	232	109	0	23,906	38	36,154
9	<i>Corylus mandshurica</i>	4,9362	8	266	353	0	22,544	38	43,052
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	4,9966	3	419	322	0	53,707	22	20,84
	<i>Lysimachia thyrsoiflora</i>	5,0437	3	347	95	1	35,055	21	20,111
10	<i>Ulmus laciniata</i>	5,1429	2	237	47	0	38,188	38	111,61
	<i>Athyrium filix-femina</i>	4,9952	1	335	48	2	42,849	20	37,923
11	<i>Ulmus laciniata</i>	4,9847	4	309	386	5	23,496	17	40,936
	<i>Athyrium filix-femina</i>	4,7813	4	269	53	1	37,368	14	13,996
12	<i>Athyrium filix-femina</i>	5,0054	1	615	49	2	90,682	16	27,007
13	<i>Corylus mandshurica</i>	4,8197	5	260	865	1	39,858	28	22,604
Mean		4,98	4,08	385,92	956,23	1,81	46,46	52,70	42,15

Based on the results obtained, a primary statistical analysis was carried out to potentially identify trends and the dependence of the level of accumulation of heavy metals on the terrain, terrain and a specific plant species in the samples. Figure 2 shows the averaged values of the

heavy metal content in all plant samples - it can be noticed that iron has a very high background concentration, which is of natural origin and is not a consequence of anthropogenic pollution.

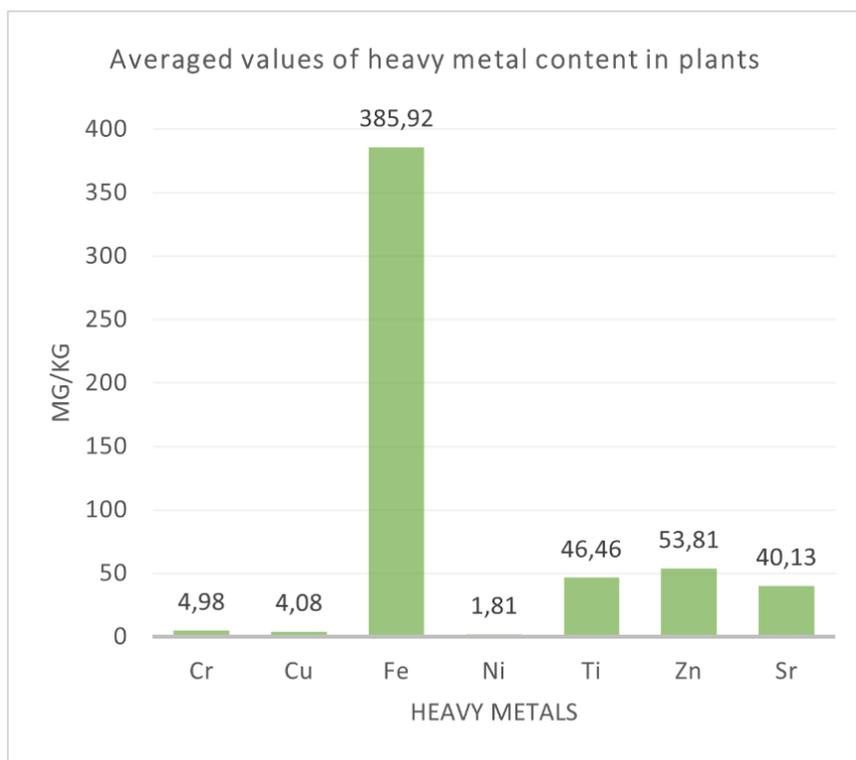


Fig. 2. Averaged values of heavy metals content in plant samples

Figures 3 and 4 reflect the content of heavy metals in two specific plant species, averaged over all the test sites where they were available and collected.

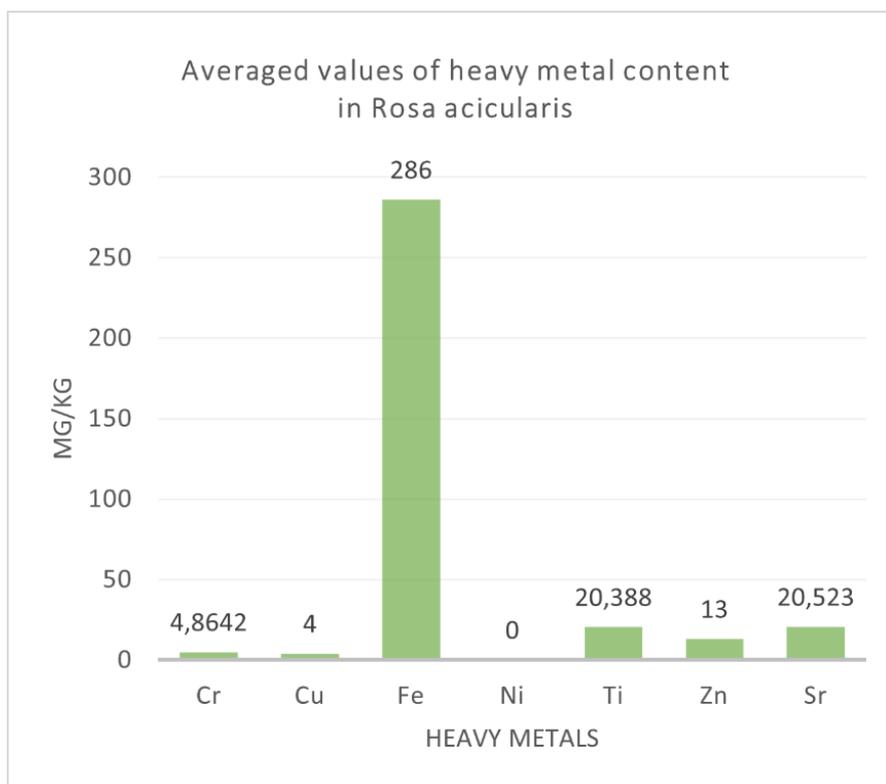


Fig. 3. Averaged values of heavy metals content in *Rosa acicularis*

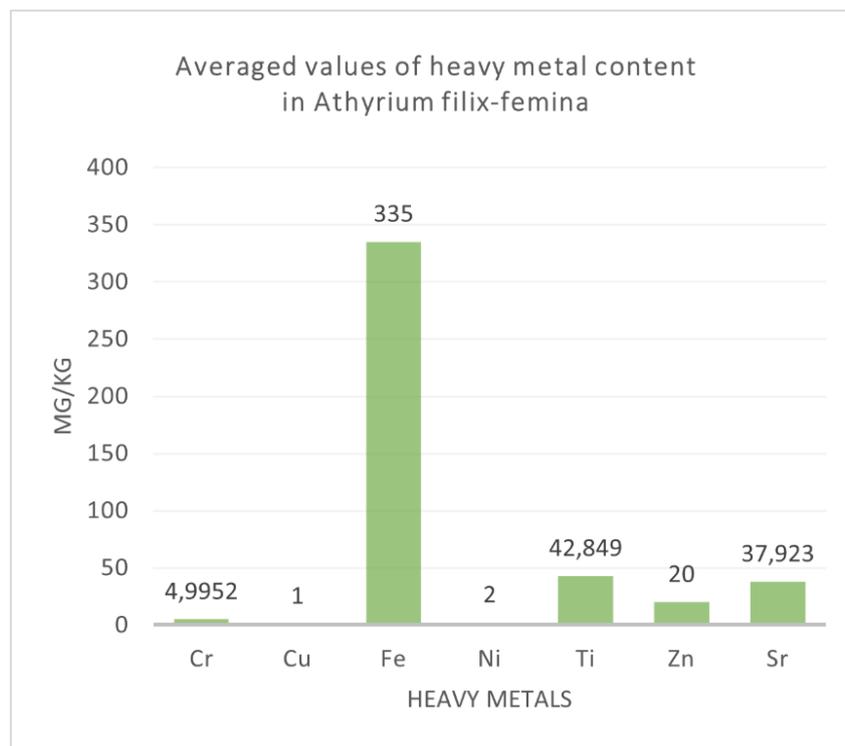


Fig. 4. Averaged values of heavy metals content in *Athyrium filix-femina*

Conclusions

The geobotanical description of the communities on the trial sites of the five routes made it possible to identify the most common plant species for each of the sites and for the studied territory as a whole. Then the data on the content of chemical elements (heavy metals specifically) in plants and soil samples in these areas was obtained, and basic statistical analysis was carried out. In future research, it is planned to focus on linking the results obtained to other studies in this area and on comparing data with those obtained from other sources (literature, satellite images, etc.) as well as correlation and statistical analysis of data for soil samples and plant samples in perspective.

References

1. Lonkina E., Rubtsova T., Gorelov V. The larch forest of the “Bastak” State Nature Reserve (Jewish autonomous region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 895. P. 012–022.
2. Ruchin A.B. Methods of field ecological research: a textbook. Saransk: Publishing House of the Mordovian University. 2014.
3. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. 2020.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРОВ

Подкопаева А.А.¹, Забелина А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

1 – Университет ИТМО

Аннотация

В работе представлен обзор одной из важнейших проблем, связанной с образованием парниковых газов в процессе повсеместного и непрерывного распада синтетических или природных высокомолекулярных соединений в естественных условиях, с целью более глобальной проработки вопроса по сокращению выбросов от полигона твердых коммунальных отходов (ТКО) при организации линии сортировки и участка переработки полимерных отходов.

Ключевые слова

Полимеры, твердые коммунальные отходы, полигон ТКО, деструкция полимеров, выбросы парниковых газов.

Существенный вклад в образование парниковых газов вносит размещение на полигонах, отходов производства и потребления, содержащих полимерные фракции. В результате осуществления этого вида деятельности, химические вещества, содержащиеся в различных видах пластика, становятся более доступными для проникновения в окружающую среду, деструкция полимерных и полимерсодержащих композитных отходов также оказывает воздействие на климат [1]. Так как тенденция потребления и производства полимеров постоянно растет, необходим систематический и комплексный взгляд на участие полимерных отходов в углеродном цикле.

Углекислый газ (CO_2) является наиболее значимым участником углеродного цикла. CO_2 инертен, он не вступает в взаимодействие с другими химическими элементами. По этой причине он накапливается в нижних слоях атмосферы, где удерживает тепловое излучение с поверхности Земли и препятствует его возвращению в космическое пространство, тем самым создавая парниковый эффект.

Ключевыми газами, создающими парниковый эффект и чьи концентрации постоянно растут, являются диоксид углерода, метан, закись азота, гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), гидрофторуглероды (ГФУ) и озон в нижних слоях атмосферы.

Выбросы парниковых газов в основном происходят от сельскохозяйственных ферм, транспорта, ТЭЦ, а также и от полигонов ТКО. Около 4,4 % от общей массы занимают выбросы полигонов ТКО [2].

Каждая тонна размещенных на полигоне отходов приводит к выбросам в атмосферу от 0,97 до 1,6 тонн CO_2 -эквивалента. Последствия этого процесса имеют накопительный эффект, т.к. считается, что первые два года после размещения отходов выход выбросов осуществляется незначительно, но в последующие годы количество образуемых парниковых газов возрастает. Количество выбросов в CO_2 -эквивалентах можно рассчитать по формуле (1):

$$Q = m * t * k, \quad (1)$$

где Q – количество выбросов CO_2 -экв, т; m – среднегодовое количество отходов от одного полигона ТКО, т; t – период эксплуатации полигона без учета количества отходов, размещенных за последние два года на дату расчета; k – расчетный коэффициент.

Например, если рассмотреть полигон, который эксплуатируется 12 лет, принимая 900 000 т как среднегодовое количество отходов от одного полигона ТКО, то на текущую дату количество выбросов CO₂-экв. (Q) без учета количества отходов, размещенных за последние 2 года на дату расчета, составляет:

$$Q_{\min} = 900\,000 * 10 * 0,97 = 8\,730\,000 \text{ т,}$$

$$Q_{\max} = 900\,000 * 10 * 1,6 = 14\,400\,000 \text{ т.}$$

В соответствии с «Методикой расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов» [3], разработанной в 2004 году, от полигона ТКО выделяются вещества, представленные в таблице.

Таблица

Вещества, выделяемые от полигона ТКО, в соответствии с «Методикой расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов»

Код вещества	Наименование вещества
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)
0303	Аммиак (Азота гидрид)
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)
0330	Сера диоксид
0333	Дигидросульфид (Водород сернистый, дигидросульфид, гидросульфид)
0337	Углерода оксид
0410	Метан
0616	Диметилбензол (смесь изомеров о-, м-, п-) (Метилтолуол)
0621	Метилбензол (Фенилметан)
0627	Этилбензол (Фенилэтан)
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид)

К парниковым газам относятся азота диоксид, азота монооксид, углерода оксид и метан. При этом в расчете учитывается только количество биоразлагаемых отходов, которые представлены органической частью ТКО, преимущественно растительными и пищевыми остатками, а также прочие органические отходы.

В работах М. Кида и соавторов [4], которые исследовали выбросы парниковых газов, при разложении микропластика, находящегося на дне водоемов в донных отложениях, показаны значительные различия в образовании этих газов в зависимости от используемого материала.

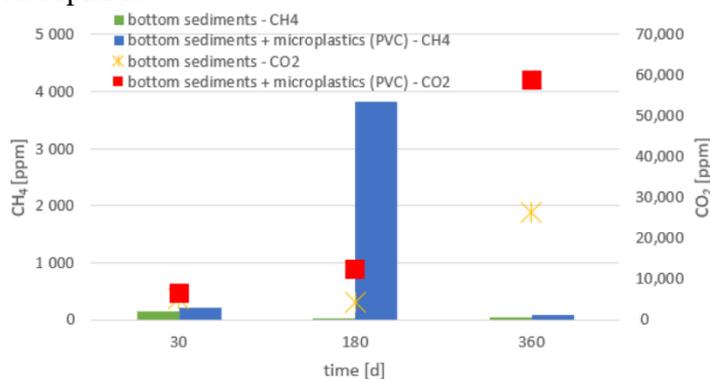


Рис. 1. Выбросы CH₄ и CO₂ из ПВХ [4]

На рис. 1 представлены концентрации выбросов парниковых газов при разложении поливинилхлорида (ПВХ).

По данным исследования через 180 дней в донных отложениях с микропластиком концентрация метана повысилась примерно в 30 раз по сравнению с донными отложениями без полимера. При разложении поливинилхлорида также наблюдалось увеличение выделения углекислого газа.

В Гавайском университете также проводилось исследование, авторы которого заявили, что по мере своего разложения пластики выбрасывают следы метана и этилена. Выбросы происходят при взаимодействии материалов с естественной солнечной радиацией, будь то в воде или на воздухе, однако при взаимодействии на воздухе уровни выбросов значительно выше. На рисунке 2 показана скорость производства CH_4 и C_2H_4 из первичных гранул полиэтилена низкой плотности, подверженных воздействию солнечного света в воздухе (черная стрелка указывает на скорость производства CH_4 и C_2H_4 из первичных гранул полиэтилена низкой плотности, инкубированных в воде).

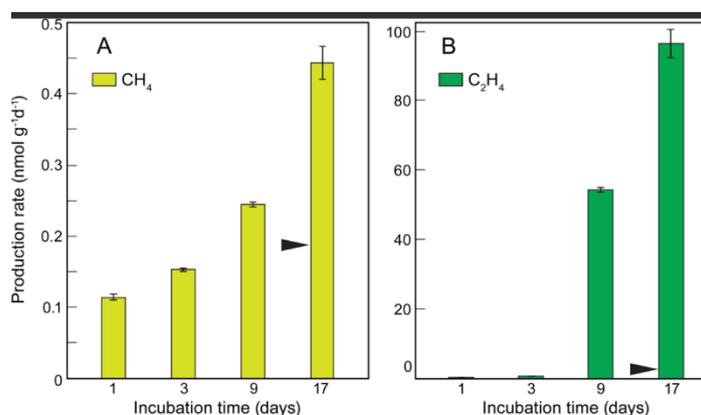


Рис. 2. Скорость производства CH_4 и C_2H_4 из первичных гранул полиэтилена низкой плотности [5]

Так, показатели производства CH_4 и C_2H_4 из первичных гранул полиэтилена низкой плотности были больше, когда пластик подвергался воздействию солнечного света непосредственно в воздухе, а не погружался в воду. Исследование показало, что при нахождении на воздухе, уровни выделения метана и этилена полиэтиленом низкой плотности примерно в 2 и в 76 раз соответственно выше, чем в воде.

Подводя итоги исследования, можно сказать, что:

- пластики не являются инертными и на протяжении всего своего жизненного цикла выбрасывают в окружающую среду продукты распада добавок, использованных при производстве полимерных изделий, и прочие продукты деструкции;
- современные полигоны ТКО содержат большое количество пластиковых отходов, которые являются источником образования парниковых газов и газовых примесей, имеющих климатическую нагрузку;
- при учете выбросов ПГ от полигонов ТКО необходим учет выбросов от микропластиков в составе ТКО.

Модернизация полигонов твердых коммунальных отходов, развитие системы раздельного сбора отходов и вовлечение вторсырья в переработку, усовершенствование системы контроля за выбросами, а также обязательное квотирование выбросов углеводов позволят сократить выбросы парниковых газов.

Литература

1. Ive Vanderreydt et al., Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics) [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/greenhouse-gas-emissions-and-natural-capital-implications-of-plastics-including-biobased-plastics/> (дата обращения 15.02.2023).
2. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2018 гг. официально представлен Россией в секретариат Рамочной конвенции ООН об изменении климата [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.igce.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных/> (дата обращения 17.03.2023).
 3. Абрамов Н.Ф., Санников Э.С. Методикой расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов (издание дополненное и переработанное). М. 2004 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index1/47/47223.htm> (дата обращения: 01.02.2023).
 4. Malgorzata Kida et al., CH₄ and CO₂ Emissions from the Decomposition of Microplastics in the Bottom Sediment – Preliminary Studies [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3298/9/7/91> (дата обращения: 03.02.2020).
 5. Sarah-Jeanne Royer et al., Production of methane and ethylene from plastic in the environment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0200574> (дата обращения 01.04.2023).

ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК»

Подледнева Л.В.¹ (студент)

Научный руководитель – к.г.н., доцент Банарь С.А.¹

1 – Университет ИТМО

Аннотация

В работе рассмотрены содержание Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, Sr, Ti в коре и хвое древесных растений заповедника «Бастак». Для определения содержания химических элементов в органах растений использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа. Рассчитаны коэффициенты биологического накопления по отношению к кларку химического элемента в литосфере и по отношению к почве. Выделены элементы биологического накопления и биологического захвата для каждого вида.

Ключевые слова

Накопление химических элементов, древесная растительность, рентгенофлуоресцентный анализ, элементы биологического накопления, элементы биологического захвата.

Определение содержания ряда химических элементов, а также изучение закономерностей их распределения в органах растениях важно для выявления аккумуляторов и индикаторов. Растительный организм обладает избирательной спецификой поглощения веществ, присутствующих в окружающей среде, ответными реакциями на нехватку или переизбыток элементов питания и обмена, механизмами и уровнем устойчивости [1, 2]. Разные виды растений различаются способностью накапливать тяжелые металлы при одинаковых концентрациях элементов в среде [3].

Целью данного исследования является анализ распределения химических элементов в системе органов растений заповедника «Бастак».

Объектом исследования являются древесные растения заповедника Бастак, расположенного в Еврейской автономной области (ЕАО). Преобладающим типом растительности особо охраняемой природной территории является лесной. Выделено два высотных пояса растительности: широколиственно-хвойно-лесной и темнохвойно-таежный [4]. Следует отметить, что большая часть территории ЕАО является биогеохимической провинцией. На территории области наблюдается высокое содержание железа в почве, повышенная подвижность катионогенных (цинк, медь, кобальт) и пониженная – анионогенных (молибден, ванадий, олово) микроэлементов [5].

Полевые исследования проводились в период с 19.06.2022-27.06.2022. В ходе экспедиции был произведён отбор проб корки и хвои эдикаторов и доминантов древесного яруса.

Для определения содержания химических элементов в органах растений использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

В результате было определено содержание таких химических элементов, как Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, Sr, Ti в корке и хвое древесных растений (мг/кг золы). Результат анализа представлен в таблице 1.

Таблица 1

Содержание химических элементов в органах древесных растений (мг/кг золы)

Вид	Орган	Содержание х.э. мг/кг золы							
		Zn	Cu	Ni	Cr	Mn	Fe	Sr	Ti
лиственница Каяндера	кора	544,9	36,9	8,8	5,4	9813,3	4050,3	1303,5	357,2

продолжение таблицы

Вид	Орган	Содержание х.э. мг/кг золы							
		Zn	Cu	Ni	Cr	Mn	Fe	Sr	Ti
сосна корейская	хвоя	533,0	35,0	6,0	5,5	10826,0	1146,0	632,8	187,0
сосна корейская	кора	1351,0	45,0	15,0	5,4	22067,0	6647,0	1028,7	809,5
пихта белокорая	хвоя	420,5	19,0	12,5	5,4	3689,5	3473,5	896,8	430,1
пихта белокорая	кора	1499,5	41,0	9,0	5,5	3662,5	1393,5	3198,0	236,5
бархат амурский	кора	116,0	56,0	8,0	5,5	450,0	2259,0	2668,8	306,2
дуб монгольский	кора	26,0	33,0	15,0	5,6	3385,0	985,0	2388,7	193,4
ива козья	кора	4185,0	65,0	22,0	5,1	61510,0	9109,0	374,4	752,4
ольха волосистая	кора	707,0	37,0	7,0	5,4	3085,0	7803,0	2464,8	757,2

Затем содержание химических элементов в растениях, рассчитанное в мг/кг золы было переведено в мг/кг сухого вещества по формуле (1).

$$A_j = A_b * C / 100, \quad (1)$$

где A_j – содержание химического элемента в мг/кг сухого вещества; A_b – содержание химического элемента в мг/кг золы; C – зольность данной пробы. Результат пересчета на мг/кг сухого вещества представлен в таблице 2.

Таблица 2

**Содержание химических элементов в органах
древесных растений (мг/кг сухого вещества)**

Вид	Орган	Зольность, %	Содержание х.э. мг/кг сухого вещества							
			Zn	Cu	Ni	Cr	Mn	Fe	Sr	Ti
лиственница Каяндера	кора	4,87	23,67	1,55	0,36	0,26	415,16	164,82	65,56	15,07
сосна корейская	хвоя	1,78	9,49	0,62	0,11	0,10	192,70	20,40	11,26	3,33
сосна корейская	кора	3,92	52,96	1,76	0,59	0,21	865,03	260,56	40,33	31,73
пихта белокорая	хвоя	3,26	13,65	0,68	0,43	0,18	123,90	113,55	29,92	14,18
пихта белокорая	кора	5,95	101,27	2,50	0,58	0,33	184,12	94,35	207,50	15,52
бархат амурский	кора	5,00	5,80	2,80	0,40	0,28	22,50	112,95	133,44	15,31
дуб монгольский	кора	8,10	2,11	2,67	1,22	0,45	274,19	79,79	193,48	15,67
ива козья	кора	0,88	36,83	0,57	0,19	0,04	541,29	80,16	3,29	6,62
ольха волосистая	кора	6,04	42,70	2,23	0,42	0,33	186,33	471,30	148,87	45,74

Затем был рассчитан коэффициент биологического накопления по отношению к кларку химического элемента в литосфере для каждого вида по формуле (2).

$$K_{бн1} = C_z / C_k, \quad (2)$$

где $K_{бн1}$ – коэффициент биологического накопления по отношению к кларку химического элемента в литосфере; C_z – концентрация элемента в мг/кг золы; C_k – кларк

элемента в литосфере, мг/кг. На рисунке 1. представлен коэффициент биологического накопления хвойных пород по отношению к кларку химического элемента в литосфере.

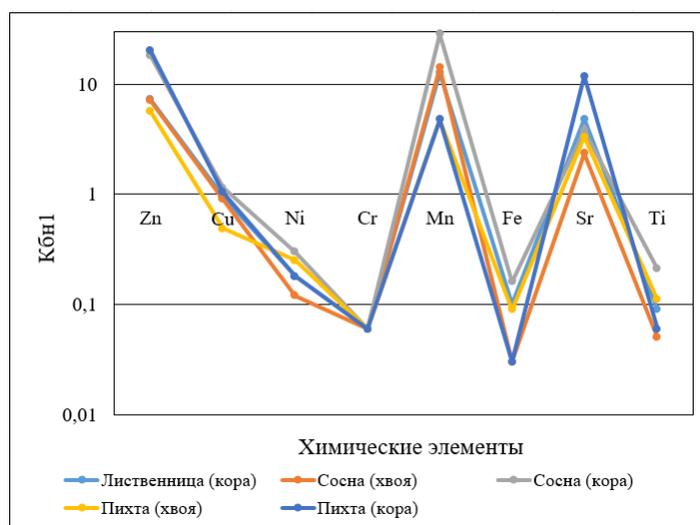


Рис. 1. Коэффициент биологического накопления хвойных пород по отношению к кларку химического элемента в литосфере

На рисунке 2 представлен коэффициент биологического накопления лиственных пород по отношению к кларку химического элемента в литосфере.

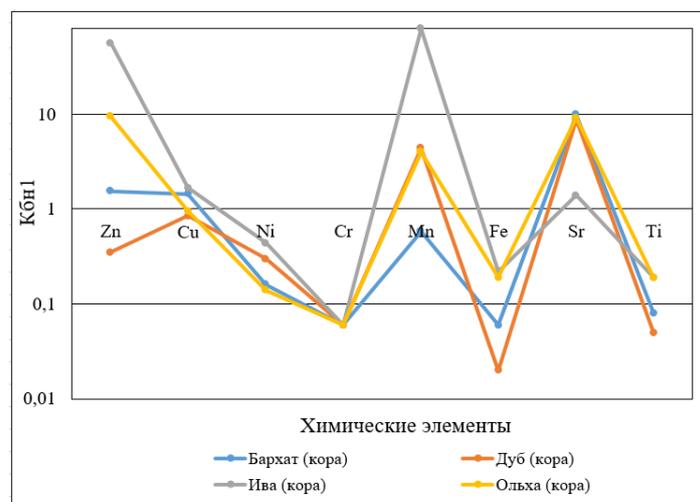


Рис. 2. Коэффициент биологического накопления лиственных пород по отношению к кларку химического элемента в литосфере

Также был рассчитан коэффициент биологического накопления по отношению к содержанию химических элементов в почве для каждого вида по формуле (3).

$$Кбн2 = C_2 / C_1, \quad (3)$$

где Кбн2 – коэффициент биологического накопления по отношению к кларку химического элемента в литосфере; Сг– концентрация элемента в мг/кг золы; Сп– кларк элемента в литосфере, мг/кг. На рисунке 3 представлен коэффициент биологического накопления хвойных пород по отношению к содержанию химических элементов в почве для каждого вида.

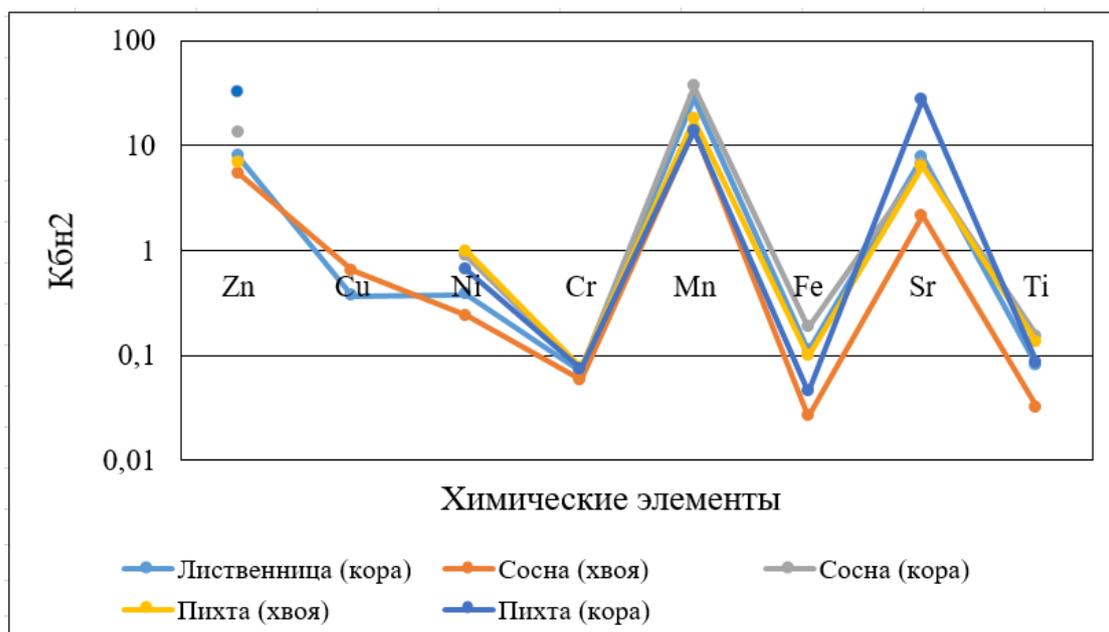


Рис. 3. Коэффициент биологического накопления хвойных пород по отношению к содержанию х. э. в почве

На рисунке 4 представлен коэффициент биологического накопления лиственных пород по отношению к содержанию химических элементов в почве для каждого вида.

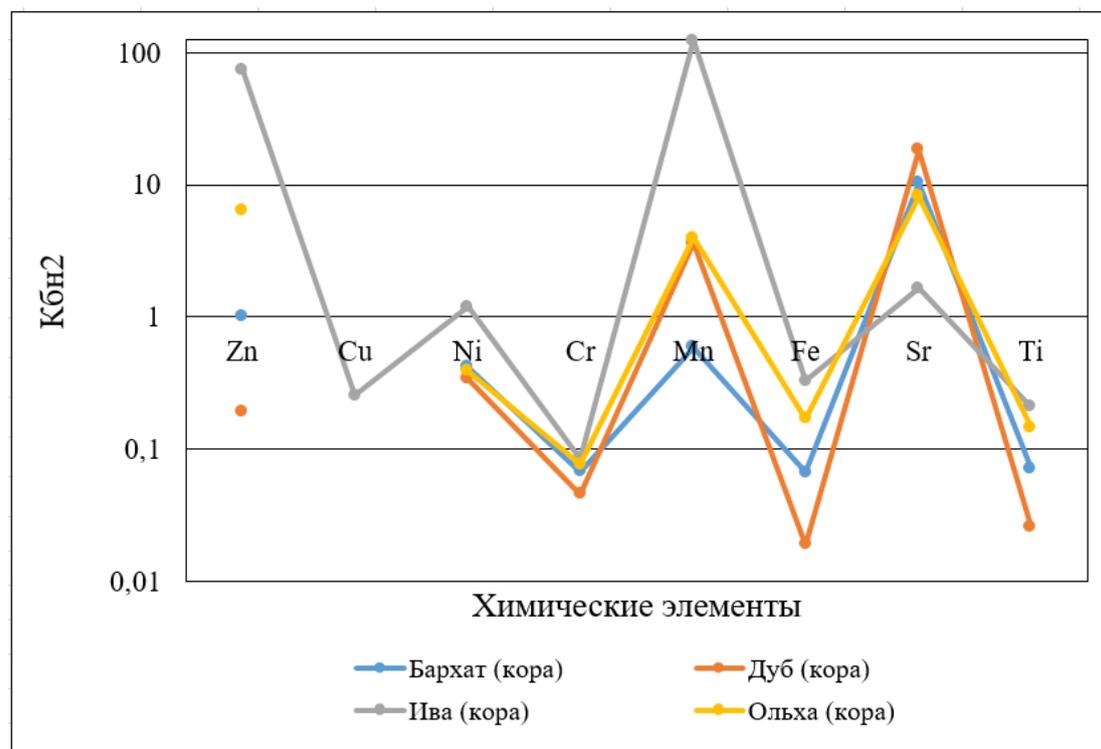


Рис. 4. Коэффициент биологического накопления лиственных пород по отношению к содержанию х. э. в почве

Далее по градации, предложенной А.И. Перельманом, все химические элементы были сгруппированы на две группы: элементы биологического накопления и элементы биологического захвата (табл. 3). При $Кбн > 1$ элементы накапливаются в органах растений, а при $Кбн < 1$ элементы только захватываются.

Элементы биологического накопления и биологического захвата

Вид	Орган	Элементы биологического накопления (>1)	Элементы биологического захвата (<1)
лиственница Каяндера	кора	Zn, Mn, Sr	Cu, Ni, Cr, Fe, Ti
сосна корейская	хвоя	Zn, Mn, Sr	Cu, Ni, Cr, Fe, Ti
сосна корейская	кора	Zn, Mn, Sr	Ni, Cr, Fe, Ti
пихта белокорая	хвоя	Zn, Mn, Sr	Ni, Cr, Fe, Ti
пихта белокорая	кора	Zn, Mn, Sr	Ni, Cr, Fe, Ti
бархат амурский	кора	Zn, Sr	Mn, Ni, Cr, Fe, Ti
дуб монгольский	кора	Mn, Sr	Zn, Ni, Cr, Fe, Ti
ива козья	кора	Zn, Ni, Mn, Sr	Cu, Cr, Fe, Ti
ольха волосистая	кора	Zn, Mn, Sr	Ni, Cr, Fe, Ti

Содержание Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, Sr, Ti в коре и хвое древесных растений в заповеднике Бастак ранее не определялось. Поэтому результаты данного исследования могут быть использованы в качестве фоновых эталонов другими авторами в своих работах.

В ходе проведенного исследования были рассчитаны коэффициенты биологического накопления по отношению к кларку химического элемента в литосфере и по отношению к содержанию химических элементов в почве. Выделены элементы биологического накопления и биологического захвата для каждого вида.

Элементами биологического накопления практически для всех видов являются цинк, марганец, стронций. Элементами биологического захвата являются медь, никель, хром, железо, титан. Таким образом, лиственница Каяндера, сосна корейская, пихта белокорая, ива козья и ольха волосистая являются аккумуляторами цинка, стронция и марганца.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. 1987. 142 с.
2. Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В. Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва–растение // Химия в сельском хозяйстве. 1985. №6. С. 45–48.
3. Кайгородов Р.В. Устойчивость растений к химическому загрязнению. Пермь. 2010. 53 с.
4. Лонкина Е.С. Общие закономерности распространения растительных сообществ в кластере «Центральный» заповедника «Бастак» // Региональные проблемы. 2022. №4(25). С. 50–52.
5. Калманова В.Б. Экологическое состояние территории г. Биробиджан // География еврейской автономной области: общий обзор. 2018. С. 382.

ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ДОБАВОК ИЗ ПОБОЧНОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разина И.И.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сучкова Е.П.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: daith@inbox.ru

Аннотация

В работе рассмотрены мировые и отечественные тенденции в разработке биологически активных соединений, добавок из побочного сырья растительного производства. Отходы из данного сектора экономики имеют хорошие химические показатели и образуется их много, что является важным и значительным условием для вовлечения оных обратно в оборот, что в свою очередь закрывает потребности государства и населения в пище и позволяет экономике стать более цикличной и устойчивой.

Ключевые слова

БАД, пищевая добавка, отходы растительного производства, побочные продукты растениеводства, экономика замкнутого цикла, промышленный симбиоз, устойчивое развитие.

Одним из стратегических направлений реализации «Прогноза долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» является возвращение в оборот тех материальных ресурсов, что ранее были выведены из него как отходы, но после, для другой отрасли, такой ресурс может стать сырьём для производства продукции на продажу с добавленной стоимостью. При этом важным сектором для экономики России является сельское хозяйство. Так, в 2020 году под посевные площади сельскохозяйственных культур были задействованы более 79 млн га, более 53% готовой продукции данного сектора относилось к растениеводству. Объем сырья в отраслях, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию, относящуюся к растениеводству, превышает выход готовой продукции, в связи с чем, образуется значительное количество вторичных ресурсов, степень вовлеченности которых в дальнейшую переработку минимальна. В то же время особенность химического состава делает их ценными источниками пищевых ингредиентов для производства обогащенных биологически ценными веществами продуктов питания, а также замены традиционных сырьевых ингредиентов.

В настоящее время у общества оформился запрос на повышение полезности пищевой продукции и на эффективные биологически активные добавки. Это может быть обусловлено более доступной медициной, пропагандой здорового образа жизни, ростом уровня жизни людей. Научная среда и производители прислушиваются к запросам потребителей, поэтому на данный момент увеличивается количество научных работ и патентов на БАДы, а как следствие, рынок предлагает большое количество продукции. На уровне же государства встаёт вопрос о самообеспечении своего населения продуктами питания. Именно поэтому стоит присмотреться внимательнее к побочному сырью растениеводства. Необходимо как можно эффективнее использовать имеющиеся ресурсы и минимизировать вывод отходов из круговорота производства.

Государство поощряет повторное вовлечение ресурсов в экономический цикл и стремится к увеличению количества функциональных пищевых продуктов на рынке, при этом сектор растениеводства, как никакой другой, имеет в отходах ценный источник для производства таковых. Исходя из всего вышесказанного тема получения биологически активных соединений, добавок – БАДов из побочного сырья растительного производства, которые возможно будет использовать человеку для повышения пищевой ценности его рациона актуальная и значимая.

Проблема повторного вовлечения отходов растениеводства в экономический цикл не нова. Тем не менее, над её решением работают долгие годы большое число учёных. Предлагаемые ими направления применения вторичных ресурсов из рассматриваемого сектора самые разнообразные. Далее представлены сферы применения, которые включают в себя большее количество научных и/или практических изысканий. Первой такой сферой, куда предлагается активно вовлекать побочные ресурсы растениеводства является строительство. Например, один из самым известным представителем мира науки, занимающимся решением проблемы с растительными отходами является Иван Шортский – кубанский учёный, который в 2017 году прошёл в финал крупнейшего акселератора GenerationS, а в 2020 году стал победителем конкурса БРИКС. Новаторство его идеи заключалось в том, что он разработал технологию производства строительных блоков из рисовой шелухи, тем самым решая локальную проблему (в Краснодарском крае остаётся много тонн данного вида отходов) и удешевляя производство строительных материалов. Также в 2019 году был зарегистрирован патент на полезную модель Любомирским Н.В., Бахтиным А.С., Бахтиной Т.А. и Левистамом А.Ю. за номером RU 2708421 С2, который даёт описание механизма использования уже иных видов отходов растениеводства, а именно стеблей хлопчатника, подсолнечника, рисовой соломы, зерновой лузги и в качестве преимуществ такого материала над стандартным, помимо очевидных, приводят то, что сокращается срок набора прочности и твердения у изделия. А вот учёные Шахов С.В., Добросоцкий М.С., Овчаренко С.Р. из Воронежского государственного университета инженерных технологий предлагают использовать в качестве заполнителя для бетонных строительных изделий органическую муку из растительных отходов. Помимо самого стройматериала из отходов предлагается изготовление теплоизоляционных материалов: Сусоева И.В. и Вахнина Т.Н. из Костромского государственного университета и Румынцева В.Е. и Коринчук М.А. из Ивановского государственного политехнического университета в качестве его основы предлагают использовать отходы прядения льна и хлопковых волокон. Их самая первая работа, посвящённая теплоизоляции была выпущена в 2019 году, а далее на протяжении 3 лет они продолжали исследовать описанный выше материал: какие у него преимущества перед традиционной теплоизоляцией, какие недостатки, степень его горючести и безопасности.

Вторая сфера – биотопливо. Данная идея более консервативна, тем не менее по-прежнему остаётся актуальной. Например, ещё в 2007 году была запатентована полезная модель RU 69516 U1 установки для производства брикетов топлива из подсолнечной лузги Звораревым А.В., Складчиковым Д.Р. и Кульбакиным А.В., но интерес к теме продолжается и в следующие десятилетия: в 2016 году Полищук В.Н. и Полищук А.В. презентуют статью о значимости растительных отходов, таких как фуза и отработанное растительное масло, как ко субстрата для производства биогаза и удобрений; в 2018 году московские специалисты издают статью в которой говорится о перспективах использования отходов сельского хозяйства для производства альтернативного вида топлива для транспорта; в 2020 году сотрудники Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова предлагают способы получения топлива из ботвы томатов и подсолнечной лузги.

Сферой третьей является производство сорбентов. Митракова Т.Н., Лозинская Е.Ф., Хоанг Ким Бонг, Темкин О.Н. в 2015 году и Магизова Э.Ф., Курбаналиева Ф.Р. в 2019 году предлагают использовать отходы растительного производства для очистки сточных вод от ионов меди (II) и ионов алюминия (III) соответственно. Главная идея данных работ заключается в том, что такие растительные отходы как лузга гречихи или подсолнечника являются быстровозобновляемым и дешёвым вторичным ресурсом, а эффективность данных материалов как сорбентов высока и позволяет конкурировать с консервативными методиками. Кроме того, из отходов производства оливкового масла предлагалось производить сорбент, но уже не для очистки воды, а нефтепоглощающий.

Четвёртая сфера – производство биологически активных соединений, добавок. Теоретические и методологические аспекты получения БАДов из отходов растительного производства интересуют научную среду в последние десятилетия всё более активно по всему миру [1]. При этом при анализе литературы была выявлена закономерность – большая часть зарубежных научных работ, посвящённая производству добавок из вторичных ресурсов растениеводства сконцентрирована на теме антиоксидантов. Например, Эмилио Джил-Мартин и другие в своей статье от 2022 года прописывают значимость и убедительную доказательную базу того, что полифенолы (могут действовать как антиоксиданты) снижают риски заболевания раком, ожирением, диабетом, сердечно-сосудистыми и нейродегенеративными заболеваниями. Не удивительно, что спрос на такие добавки растёт. При этом появляется предложение и как необходимость для производителя – снижение себестоимости. Растительные отходы же служат хорошим сырьём для производства таких препаратов [2]. Авторы, которые будут указаны, далее более точно подошли к решению проблемы: они сконцентрировали своё внимание на одном виде отходов. Сапарбекова А.А., Кантуреева Г.О., Кудасова Д.Е. и другие выбрали в качестве объекта исследования побочные продукты граната. В то же время в их статье сказано, что потенциалом также обладает яблочная кожура, кожура винограда, томатов, моркови, но они прорабатывают именно отходы граната – косточки и кожуру. Эти отходы составляют большую часть плода граната, более того исходя из их исследования можно сделать вывод, что именно кожура обладает выраженными антиоксидантными и противовоспалительными свойствами [3]. Чаморро Ф., Карпена М. и другие анализируют в своей статье отходы киви на предмет содержания в них в значительной степени антиоксидантов и приходят к выводам, что так оно и есть, однако исследований на этот счёт ещё достаточно мало. Коэльо М.К. и другие проводят аналогичную работу, но в отношении отходов томатов. Российские учёные также не могли оставить эту тему без внимания, но сосредоточили его на более уместных в наше локации видах отходов – соевой мелассе и корне кудзу. Согласно их экспериментальной части исследования у крыс с диабетом 2-го типа, получавших экстракт корня кудзу в дозе 100 и 200 мг/кг массы тела животного, наблюдалось улучшение основных биохимических показателей крови и восстановление гистологической структуры пораженных органов по сравнению с контрольной группой крыс, не получавших экстракт [4]. Викторова Е.П. и другие в своей работе разрабатывают технологию производства пищевых добавок из отходов переработки груш. Все вышеописанные работы выходили не ранее 2017 года, следовательно тема является актуальной и значимой по всему миру. Её отличие от следующей — это то, что она направлена на подбор побочного продукта для изготовления пищевой добавки с антиоксидантами, в то время как далее будет рассмотрен целый сектор, где применение отходов растениеводства для производства продукции стало нормой.

Таким сектором является производство хлебобулочных и/или кондитерских изделий. Целью введения компонентов из побочного сырья в который служит и способом удешевления продукции, и способом повышения её полезности. Важно отметить – большая часть исследований в этой области проводится именно на территории Российской Федерации и основным анализируемым побочным продуктом являются отходы от переработки яблок, пивная дробина, яблочные и морковные выжимки, свекловичный жом, мезга цитрусовых [5].

Для полноты картины также был проведён поиск патентов БАДов из побочного сырья растениеводства, была выявлена следующая закономерность. Например, в 2011 году в России были запатентованы технологии позволяющие произвести БАД из семенной оболочки сои, в 2020 – белковый напиток из пивной дробины, в 2022 – из жмыха семян подсолнечника получить L-аргинин, глутаминовую кислоту и метионин. По количеству патентов на такого рода технологии не отстают США и Китай. Другая закономерность – патентов, связанных с БАДами большое множество, но БАДов, для

которых сырьём служили побочные продукты растительного производства очень мало, их количество начало увеличиваться в последние 2 года. То есть имеет место развивающийся тренд.

С каждым годом растёт население Земли. Потребность в пище растёт пропорционально. И количество отходов от производства этой пищи растёт неумолимо. При этом такая часть деятельности как сельское хозяйство производит особенно много побочного продукта, который имеет хороший состав для дальнейшего его применения. Поэтому так важно вновь вовлекать образовавшиеся отходы в экономический цикл. Данный тезис поддерживается также и правительством Российской Федерации.

Основными сферами, где прорабатывается применения побочных продуктов, являются: строительство, производство биотоплива, сорбентов и пищевых добавок. Именно последнее было рассмотрено детально. Главным лейтмотивом зарубежных учёных становится попытка определить продукт, отход которого богат антиоксидантами. В то время как в России стараются найти наполнитель, добавку богатую питательными компонентами, для применения её в хлебобулочном производстве.

Подводя итог проведённого обзора литературы, можно сказать, что исследования в данной области ведутся – государство, производитель и потребитель заинтересованы в решении проблемы, но ведутся активно только последние 20 лет; тема себя не исчерпала, так как некоторые виды отходов вообще не были задействованы в таких разработках, а те, что были имеют потенциал на улучшение качества произведённого продукта.

Литература

1. Пичугина Е.С., Саввин П.Н. Перспективы производства биодобавок из отходов растительного сырья // Воронежский государственный университет инженерных технологий. 2022. С. 201-205.
2. Gil-Martín E., Forbes-Hernández T., Romero A., Cianciosi D., Giampieri F., Battino M. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products // Food Chemistry. 2022. С. 1-39.
3. Saparbekova A., Kantureyeva G., Kudasova D., Konarbayeva Z., Latif A. Potential of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) by-product with significant antioxidant and therapeutic effects: A narrative review // Saudi Journal of Biological Sciences. 2023. № 30(2). С. 1–10.
4. Абдразак К.А., Дуру К.С., Исамидин К.А., Слесарев Г.П. Экстракция, идентификация и антидиабетический потенциал изофлавоноидов из растительного сырья и отходов пищевого производства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43176537> (дата обращения: 16.01.2023).
5. Ерёменко Д.О., Чуб, О.П. Использование пектиновых полисахаридов вторичного растительного сырья для разработки десертных блюд лечебно-профилактического питания в рамках концепции бережливого производства // Бережливое производство. 2019. № 40-1(40). С. 61–65.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Румянцев Д.С.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дидиков А.Е.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: Dmitriy-official27@yandex.ru, aedidikov@itmo.ru

Аннотация

Данная статья посвящена анализу экономических перспектив применения комплексной системы энергоснабжения, основанной на использовании альтернативных источников энергии в арктической зоне. Рассмотрены особенности энергетического хозяйства данного региона и проблемы, связанные с его обеспечением традиционными источниками энергии. Описаны возможности использования энергии ветра и водородной энергии в арктической зоне. В заключении подчеркнута необходимость применения комплексных систем энергоснабжения с использованием альтернативных источников энергии в арктической зоне, в связи с экологическими, экономическими и социальными выгодами таких решений. Отмечена важность дальнейших исследований в данной области с целью оптимизации энергетического хозяйства и повышения устойчивости развития региона.

Ключевые слова

Дизельное топливо, экологический ущерб, ветряная энергетика, энергетическая безопасность, петротермальная энергетика, альтернативные источники энергии, арктическая зона, энергосистема, электролиз.

Развитие арктической зоны сопряжено с многими вызовами и проблемами, одной из которых является обеспечение населенных пунктов энергией. Использование традиционных источников энергии, таких как газ, нефть и уголь, влечет за собой значительные экологические проблемы, а также зависимость от дорогостоящих поставок топлива извне. В этом контексте ВИЭ являются очевидным эффективным решением. Сегодня энергетика Заполярья России преимущественно построена на использовании горючего топлива, потребляемого дизель-генераторами электроэнергии, одновременно используется уголь, мазут, древесина [1]. При внедрении новых энергетических компонентов на северных территориях и в Арктике следует учитывать социально-экономические аспекты. Прогнозы экспертов свидетельствуют о том, что использование возобновляемых источников энергии приведет к созданию до 30 миллионов новых рабочих мест к 2050 году. Создание рабочих мест является ключевым фактором развития экономики и общества, а также помогает сокращению бедности, повышению квалификации и обеспечению стабильности в конфликтных регионах. При этом необходимо учитывать инфраструктурные риски, связанные с возможными сбоями в поставках энергоносителей в удаленных районах [2]. Для решения этой проблемы необходимо инвестировать в логистические операции и хранение энергоносителей. Одним из способов решения проблем энергетической безопасности является использование возобновляемых источников энергии. Правительство РФ разработало план по развитию русской Арктики до 2035 года, в котором уделено внимание развитию экологического сектора, обеспечению социальной защиты коренного и местного населения, выполнению геополитических целей и задач по обеспечению безопасности самой протяженной границы России. При выборе альтернативных источников энергообеспечения необходимо проводить экономические расчеты на закупку, транспортировку и обслуживание системы, а также сравнительный анализ экологического воздействия на традиционные источники, используемые в регионе [3].

Для реализации этих целей в России были разработаны государственные программы поддержки использования АИЭ в Арктике. В 2019 году была принята программа "Развитие Арктики", в которой предусмотрены меры по развитию ветро-, солнечной и гидроэнергетики в регионе. Также была создана специальная программа "Зеленая Арктика", направленная на развитие использования АИЭ в регионе. В России также существуют налоговые льготы для компаний, занимающихся развитием АИЭ в Арктике. В частности, налог на прибыль для таких компаний может быть снижен до 0% на срок до 5 лет. Также существуют программы государственной поддержки малого и среднего бизнеса, занимающегося производством оборудования для использования АИЭ.

В качестве примера удаленного населенного пункта с децентрализованной энергосистемой предлагается использовать посёлок городского типа Диксон – самый крайний населенный пункт России, являющийся «воротами» для Северного морского пути. Основными энергопотребляющими объектами являются городской аэропорт, метеорологическая и радиостанция. Электроснабжение поселения Диксон технологически не связано с Единой энергетической системой РФ. Этапы определения требований к энергетической нагрузке пгт представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Анализ требований к энергетической нагрузке в пгт Диксон

Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м² представлена в таблице [4].

Таблица

Суммарное годовое количество солнечной радиации

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диксон, остров	0	17	152	408	645	584	496	295	126	35	0	0

В зимние месяцы в условиях полярной ночи это значение стремится к нулю. Помимо географических условий, снижение эффективности характеризуется также снежными заносами солнечных панелей, решение данной проблемы в настоящее время находится на этапе разработки. Несмотря на повышение КПД солнечных панелей при низких температурах, увеличении поглощаемого излучения за счет отражения от снега, энергию солнца не следует рассматривать как полноценную альтернативу дизельного энергоснабжения в виду ограниченности годового использования. Например, по известным данным, для возможности обеспечения до 25% тепла в системах отопления,

50% в системах водоснабжения и 75% в системах кондиционирования воздуха, годовое поступление солнечной радиации должно составлять 1200 кВт·ч/м² [5].

При этом, годовая скорость ветра в данном пгт составляет 6–7 м/с (рис. 2), что является достаточным для эффективной работы ветрогенераторов на протяжении всего года. Современная ветроэнергетика во многих развитых странах мира является частью энергетических систем, а в ряде стран – одной из главных составляющих альтернативной энергетики на ВИЭ. Экономическая эффективность использования ветряной энергетической установки для энергоснабжения небольших потребителей определяется имеющимся ветроэнергетическим потенциалом, тарифом на электроэнергию у потребителя, стоимостью используемой ВЭУ, техническими условиями на подключение и рядом других факторов

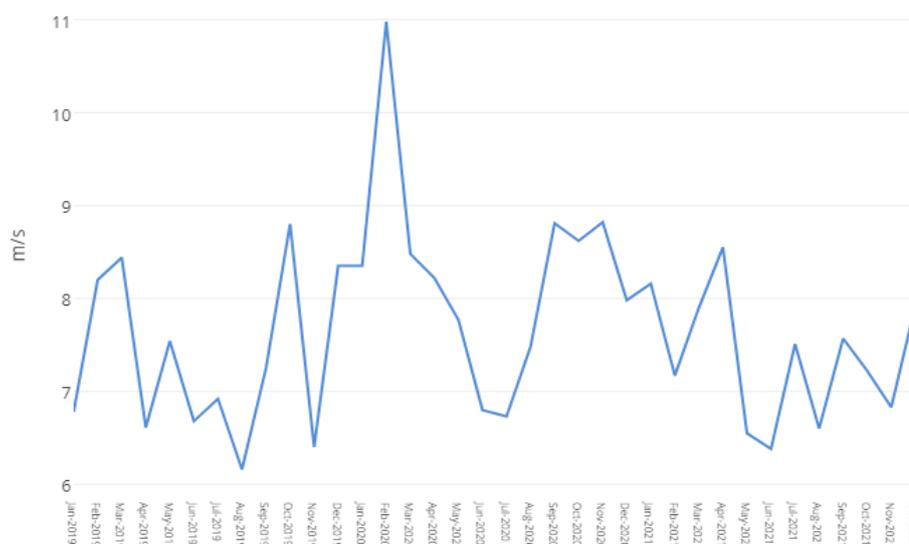


Рис. 2. Среднегодовая скорость ветра в пгт Диксон

Срок окупаемости при внедрении ветроагрегата может быть определен по формуле:

$$t = \frac{P \cdot c}{\text{Э} \cdot \text{СТ} - \text{Иэкс}},$$

где $P \cdot c$ – общая стоимость установки (капитальные затраты) с учетом стоимости агрегата, транспортировки, таможенных расходов, проектных и строительно-монтажных работ, руб; Э – электроэнергия, вырабатываемая установкой в год, кВт·ч/год; СТ – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч; Иэкс – издержки эксплуатации, руб/год.

Основными проблемами ветрогенераторов являются: сложность транспортировки в удаленные, обособленные, островные поселения; применения смазывающих веществ и деталей, не теряющих свои свойства при экстремально низких температурах; проведение ремонтных и обслуживающих работ, поиск и содержание обслуживающего персонала. В качестве решения проблемы замерзания и обледенения предлагается использование части производимого электричества для местного подогрева лопастей и роторных механизмов. Помимо этого, существуют смазывающие, химически нейтральные жидкости с рабочей температурой от -60 °С, которые служат для безопасного удаления наледи с лопастей и корпусов ветрогенераторов без нанесения им механических и химических разрушений. Продолжительность эффекта зависит от климатических условий. Некоторое время остаток жидкости будет препятствовать образованию наледи на лопастях, но в долгосрочной перспективе их эффект не будет продолжительным. Иными словами, эта жидкость служит для удаления наледи, но не защиты поверхности

от ее образования на продолжительные периоды. В тоже время предлагается рассмотреть использование гидрофобных покрытий для различных поверхностей, которые также имеются в продаже, однако нанесение которых возможно исключительно при плюсовых температурах [6].

В последнее время все большее развитие получает механизм применения ветровой энергии для электролиза воды и получения водорода. использование водорода в Арктике представляет особые перспективы. Водородные технологии находятся в начале своего развития, но уже вызывают повышенный интерес со стороны многих стран. Для развития водородных технологий и создания новых методов получения, транспортировки, хранения и использования водорода был основан Консорциум "Технологическая водородная долина" совместно несколькими университетами и институтами РАН. Это предоставляет возможности для сотрудничества с компаниями, заинтересованными в развитии водородных технологий и внедрении их в Арктическом регионе.

Основными причинами использования комплексной системы являются:

1. Увеличение использования возобновляемых источников энергии. Применение ветрогенераторов позволит получать электричество из возобновляемого источника энергии, что способствует снижению зависимости от традиционных источников энергии. Электролизеры позволяют использовать избыточное производство электроэнергии для производства водорода, который может использоваться в качестве топлива для транспортных средств [7].

2. Снижение экологической нагрузки. Возможность использования ветрогенераторов и электролизеров вместо традиционных источников энергии способствует снижению выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что может улучшить качество жизни в данном регионе. Применение водорода в качестве топлива для транспортных средств может снизить выбросы вредных веществ, особенно в городах и на оживленных дорогах.

3. Укрепление энергетической безопасности. Развитие системы комплексного энергоснабжения снизит зависимость крайнего севера от импорта традиционных источников энергии. Использование возобновляемых источников энергии позволит снизить риски для окружающей среды и обеспечить более надежное и стабильное энергоснабжение в данном регионе.

4. Экономические преимущества. Использование возобновляемых источников энергии может снизить затраты на энергоснабжение в долгосрочной перспективе. Применение электролизеров позволит производить водород на месте, что может уменьшить затраты на его транспортировку из других регионов.

5. Снижение экологической нагрузки. Возможность использования ветрогенераторов и электролизеров вместо традиционных источников энергии способствует снижению выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что может улучшить качество жизни в данном регионе. Применение водорода в качестве топлива для транспортных средств может снизить выбросы вредных веществ, особенно в городах и на оживленных дорогах.

6. Укрепление энергетической безопасности. Развитие системы комплексного энергоснабжения снизит зависимость крайнего севера от импорта традиционных источников энергии. Использование возобновляемых источников энергии позволит снизить риски для окружающей среды и обеспечить более надежное и стабильное энергоснабжение в данном регионе.

7. Экономические преимущества. Использование возобновляемых источников энергии может снизить затраты на энергоснабжение в долгосрочной перспективе. Применение электролизеров позволит производить водород на месте, что может уменьшить затраты на его транспортировку из других регионов. Технологическая схема такой системы изображена на рисунке 3.

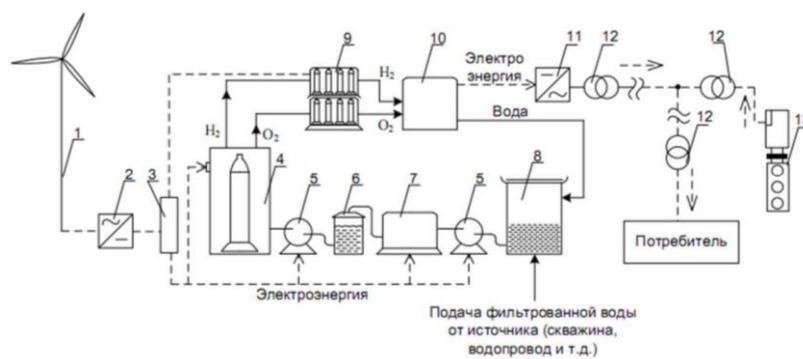


Рис. 3. Структура ветроводородного комплекса

Данный комплекс работает по следующему принципу. Питание от ветрогенератора 1 проходит через выпрямитель со стабилизатором напряжения 2, затем питание поступает в шкаф управления. Этот шкаф также используется для энергообеспечения установки. Вода из емкости 8 насосом подается в опреснитель 7, где происходит дистилляция. После процесса дистилляции дистиллят накапливается в герметичной емкости 6 и может использоваться в электролизере 4, где вода разделяется на водород и кислород. Полученные газы закачиваются под давлением в емкости хранения 9 и используются в технических нуждах. Кислород и водород могут использоваться для обратного преобразования в топливном элементе 10, который работает на катализаторе и производит воду. Вода направляется в емкость 8 на вход установки электроэнергии, которая поступает потребителю. В случае недостатка ветряного давления или разряженных газовых баллонов, питание переключается на дизель-генераторную установку 13. Одним из преимуществ данной схемы является отсутствие необходимости в синхронизации ветрогенератора с дизель-генераторной установкой. Также возможно параллельное включение ДГУ, ВЭУ с топливным элементом, при этом избыток энергии ветра направляется на электролиз.

Необходимо отметить, что на данный момент в мире существует всего две экспериментальные установки, использующие эту технологию, одна из которых находится в Канаде, а другая на острове Принца Эдуарда. Ветроводородные установки имеют недостатки, аналогичные ветродизельным системам, и сопряжены со сложностями в газовом хозяйстве. Однако, согласно мнению специалистов, ветроводородные технологии будут являться будущим энергетики, хотя на текущем этапе развития они пока не могут в полной мере конкурировать с традиционными источниками питания. Конкретные проблемы использования ветровой и водородной энергии в Арктике можно выделить следующим образом:

1. Низкая температура воздуха и малое количество солнечного света в зимнее время могут привести к снижению производительности ветрогенераторов и солнечных батарей. Для решения этой проблемы необходимо использование высокоэффективных солнечных батарей и ветрогенераторов, а также использование современных систем хранения энергии, которые обеспечивают надежную работу при низких температурах.

2. Необходимость создания инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода. Для решения этой проблемы можно использовать уже существующую инфраструктуру газопроводов и нефтепроводов, которая может быть преобразована для транспортировки водорода.

3. Недостаточная экономическая эффективность проектов по использованию ветровой и водородной энергии. Для решения этой проблемы можно использовать государственные программы поддержки, а также уменьшить стоимость технологий.

4. Необходимость обеспечения надежной работы системы энергоснабжения в условиях экстремальных природных условий. Для решения этой проблемы можно

использовать высокотехнологичные и надежные системы управления энергоснабжением, которые обеспечивают стабильную работу системы даже в экстремальных условиях.

Комбинация ветровой и водородной энергии может стать одним из самых эффективных и экологически чистых источников энергии для Арктики. Однако, необходимо учитывать вышеуказанные проблемы и находить пути их решения, чтобы эта комбинация стала действительно эффективным решением для обеспечения энергией удаленных населенных пунктов в регионе. Таким образом, для обеспечения непрерывности энергоснабжения в условиях переменных погодных условий, необходимо комбинировать ВИЭ с другими источниками энергии, такими как электролизеры, резервуары для хранения водорода и, вероятно, дизель-генераторами.

Таким образом, комбинированная энергоустановка может быть решением для эффективного использования ВИЭ в Арктике, где погодные условия не всегда предсказуемы [8]. Примером такой системы является установка на острове Университетский, где гибридная система энергоснабжения позволяет обеспечивать весь остров электроэнергией и сократить использование дизельного топлива до 90%. Кроме того, использование ВИЭ может снизить зависимость от традиционных источников энергии, таких как нефть и газ, что может быть важно в контексте экологических проблем, связанных с их добычей и использованием. Однако, установка ВИЭ в отдаленных районах имеет и ряд ограничений, связанных с логистикой, климатическими, географическими и экономическими условиями. Для их решения требуется всесторонняя поддержка государства и частных инвесторов, а также научного сообщества, технологов, российской промышленности.

Литература

1. Павленко П.П., Рябчиков А.А., Щербаков В.П. Расчетная оценка характеристик комбинированной энергоустановки, включающей ветрогенератор, электролизер, ресивер водорода и турбину гидрогенератора/ Павленко П.П., Рябчиков А.А., Щераков В.П. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2018. С. 34–41.
2. Указ Президента Российской Федерации от 26.02.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».
3. Попель О.С., Киселева С.В., Моргунова М.О., Габдерахманова Т.С., Тарасенко А.Б. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации/ Попель О.С., Киселева С.В., Моргунова М.О., Габдерахманова Т.С., Тарасенко А.Б. //Журнал «Арктика: экология и экономика». 2015. № 1. С. 64– 69.
4. Иванов И.И., Сергеева О.В. Энергоэффективность и возобновляемые источники энергии: опыт и перспективы развития/ Иванов И.И., Сергеева О.В. // Журнал «Вестник науки и образования». 2019. С. 89–94.
5. Дидиков А.Е. Эколого – экономические аспекты управления ресурсосбережением на базе возобновимых источников энергии// Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 2. С. 333.
6. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. М.: Энергоатомиздат. 2008. С. 231.
7. Виссарионов В.И., Золотов Л.И. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии. М.: Изд-во МЭИ. 1996. 155 с.
8. Лунёв А.В., Александров О.А., Лапина И.В. Развитие альтернативной энергетики в России с учётом китайского опыта // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. №. 3. С. 406–422.

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР СЕРЕБРА КАК МЕТОД БОРЬБЫ С МИКОЛОГИЧЕСКИМИ АГЕНТАМИ РАСТЕНИЙ

Сергеенков С.В.¹ (школьник), Салахов А.А.¹ (школьник),

Мысин М.А.² (студент)

Научный руководитель – Рябиков В.В.³

1 – ЦМИТ Нанолаб

2 – ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

3 – АНО ДО «Кванториум НЭЛ»

e-mail: team@viinel.ru

Аннотация

В работе рассматриваются свойства наночастиц и ионов серебра, механизмы их воздействия на фитопатогенные организмы (микробиоты), а также способы их синтеза. Описываются предложения по реализации снижения токсичности препарата для животных и растений. Указывается практическая значимость таких исследований – применение в сельском хозяйстве и микрклональном размножении растений для защиты от фитопатогенных культур грибовидной природы. Описываются разработанные препараты, анализ эффективности применения таких препаратов.

Ключевые слова.

Наночастицы серебра, питательная среда, коллоидный раствор, корневая масса.

Во все времена существовала проблема заражения растений фитопатогенными культурами грибов. Примерами могут служить такие микроскопические грибы как: *Ustilago nigra* Tarpe (вызывает чёрную головню ячменя), *Uncinula necator*, *Erysiphe graminis*, *Erysiphe communis*, *Erysiphe cichoracearum* (вызывают мучнистую росу виноградной лозы, зерновых, сахарной свёклы, тыквенных), *Septoria lycopersici* (белая пятнистость томатов). На данный момент в промышленных масштабах проблему заболеваний решают применением фунгицидов [1, 2]. К сожалению, многие фунгициды при неправильном применении оказываются малоэффективными или высокотоксичными. Также их применение в некоторых случаях негативно влияет на пчелиные семьи: пчёлы могут погибнуть, их мёд при использовании определённых фунгицидов становится токсичным [3].

Не стоит забывать о развитии высокоэффективных биотехнологических методов размножения растений. Наиболее перспективным можно считать микрклональное размножение растений. Данный метод подразумевает под собой получение целого растения из особых активно делящихся клеток – меристемы. Так как данный метод подразумевает работу с отдельными клетками или группами клеток, выдвигаются особые требования к чистоте объектов, контактирующих с культурой, питательной среды и самой культуры. Всё должно быть стерильно. Данное требование легко выполнять в отношении инструмента (пинцеты и скальпели фламбируются), питательной среды (асептическое фильтрование, автоклавирование, кипячение), но не самой культуры.

Аналогичные проблемы возникают при черенковании растений. И если у некоторых растений период укоренения очень мал и проблема не способна проявить себя, то при размножении определённых культур (растений рода *Lonicera* (Жимолость), *Schisandra* (Лимонник), *Hippophaë* (Облепиха), *Philadelphus* (Чубушник), *Syringa* (Сирень), *Abies* (Пихта)) выходит на поверхность.

Цель работы – создание и исследование свойств фунгицида, применимого на различных этапах развития растения, основанного на действии ионов серебра на фитопатогенные культуры, с применением солей или иных источников ионов серебра.

Один из вариантов решения проблемы — создание фунгицида, применимого на различных этапах развития растения, основанного на действии ионов серебра на фитопатогенные культуры, с применением солей или иных источников ионов серебра. Недостаток такого решения – токсичность ионов серебра [4, 5]. Предлагаемый способ решения проблемы – покрытие их веществом, ограничивающем растворение серебра в жидкости, но при этом проницаемое для видов – мишеней. Такими оболочками были выбраны полимеры (в первую очередь, целлюлоза).

Многие фитопатогенные грибы, выделяют ферменты, способные катализировать разрушение целлюлозы. Подбирая правильную толщину защитного слоя, возможно добиться такого эффекта, что при появлении клеток грибов – мишеней, выделяющих ферменты, катализирующие разложения защитного слоя частица серебра попадает в окружающую среду, где растворяется [6] и взаимодействует с видом-мишенью сначала приостанавливая рост, а затем и вовсе убивая клетку. Такому воздействию будут подвержены такие микроскопические грибы, как: *Ustilago nigra* Tapke, *Uncinula necator*, *Erysiphe graminis*, *Erysiphe communis*, *Erysiphe cichoracearum*, *Septoria lycopersici* и др.

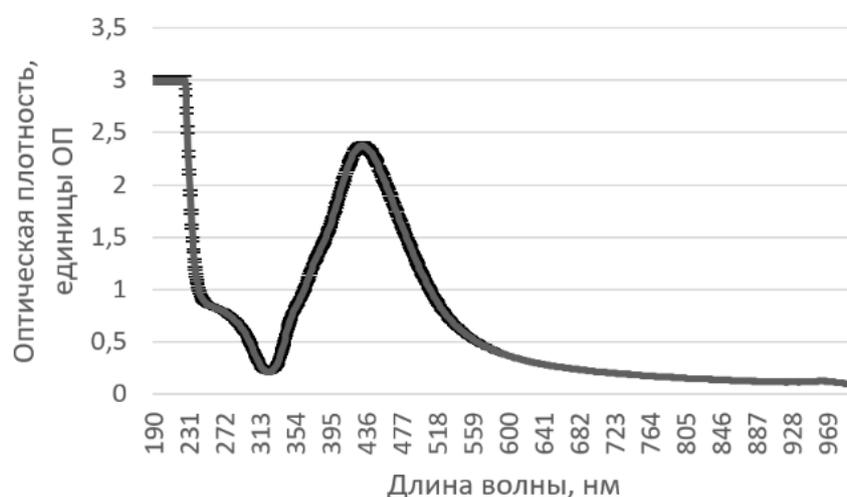


Рис. 1. Оптический спектр пропускания образца

Для синтеза наночастиц серебра применялся цитратный метод Туркевича [7], модернизированный для работы с серебром. Для синтеза использовался AgNO_3 (АО «Бертуз», Россия), $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Диаэм, Россия). Для промывки посуды использовалась подогретая до 35°C смесь Комаровского (HCl , H_2O_2). Вся посуда перед работой омывалась деионизированной водой, на ней же готовились реактивы для работы: AgNO_3 0,002M, $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 0,0015M.

Полученные частицы анализировались путём снятия оптического и электронного спектра в диапазоне от 190 до 1000 нм. Пик поглощения пришёлся на 435 – 445 нм, что соответствует размеру частиц 60-80 нм (рис. 1).

Создание целлюлоз-серебряных агломератов проводилось путём осаждения целлюлозы из раствора в гидроокиси натрия при изменении pH в присутствии наночастиц. Для этого раствор алкалицеллюлозы смешивался с раствором наночастиц, после чего добавлялась уксусная кислота, нейтрализующая едкий натр. Полученные агломераты исследовались методами оптической светлопольной микроскопии. Их размер составил 10-20 мкм.

В результате опроса специалистов, были выявлены основные требования к конечному препарату, получены данные об этапах выращивания растений, при которых стоит применять фунгицидные препараты.

Так, областью, требующей защиты растений от фитопатогенных грибов является черенкование. В момент укоренения черенка в воде или почве, особенно на средне- и трудноукореняемых культурах могут появляться очаги поражения. Это можно предотвратить различными путями.

Первый и наиболее простой по реализации – применение препаратов, которые ускоряют появление корневой массы – фитогормоны ауксины; применение препаратов, препятствующих развитию фитопатогенов – фунгицидов. Такой подход функционален, но зачастую экономически невыгоден. Ведь расход препаратов будет очень большим.

Альтернативный путь – применение препарата один или несколько раз за период укоренения. Препарат может представлять собой гель, в который обмакивается черенок. Затем растение помещается в благоприятную среду и развивается. В состав геля можно включать все те же функциональные компоненты.

Для изучения свойств как полученных препаратов, так и чистых наночастиц, готовился гель, содержащий загуститель (карбоксиметилцеллюлозу), индолил-3-масляную кислоту и непосредственно сам препарат. В качестве экспериментальной культуры выбраны черенки батата – наиболее неприхотливой в укоренении культуры. Затемнение корневой зоны отсутствовало.

Для проведения эксперимента использовались зелёные побеги батата (*Ipomoea batatas*), 8 полученных зелёных черенков разделены на 4 группы, каждая из которых обрабатывалась определённым препаратом:

1. Р-р содержащий нч серебра в концентрации $3,7 \cdot 10^{-4} \text{M}$, ИМК (конечная концентрация 1%, готовился из спиртового концентрата), КМЦ.

2. Р-р содержащий AgNO_3 в концентрации $2,7 \cdot 10^{-3} \text{M}$, ИМК (конечная концентрация 1%, готовился из спиртового концентрата), КМЦ.

3. Р-р содержащий ИМК (конечная концентрация 1%, готовился из спиртового концентрата), КМЦ.

4. Без обработки.

КМЦ выступала в качестве загустителя в концентрации 0,02г/мл р-ра.

После обработки черенки помещались в воду. Нижняя часть побегов не была защищена от света. Образцы находились при искусственном освещении, моделирующем по спектру, интенсивности и времени солнечное.

По истечении 6 суток оценивались результаты.

Для проверки воздействия препаратов на культуры разработан эксперимент с дифференциальным нанесением препаратов на питательную среду с нанесёнными спорами фитопатогена. Использовалась культура рода *Penicillium*, питательная среда – картофельно-глюкозный агар.

Экспериментальная культура плесневого гриба №25022201 была выращена на питательной среде, продуцирующей активное спороношение (СГА). После появления споры были суспендированы в физиологическом растворе.

В качестве основной питательной среды применен КГА.

В условиях защищённой атмосферы чашка петри вскрывалась, в неё приливалось 100 мкл физиологического раствора, содержащего споры. Суспензия распределялась равномерным перемещением шпателя Дригальского. Выжидалось время, необходимое для впитывания большей части раствора в питательную среду (около минуты).

Испытуемый раствор объёмом 100 мкл наносился в центр чашки, а затем распределялся шпателем равной полосой в центре.

Инкубация образцов проводилась при температуре 27°C в течение 5 суток.

В качестве опытных составов использовались:

1. Контрольный образец (К-).
2. Контрольный образец (К+).
3. Раствор AgNO_3 0,1M.
4. Раствор AgNO_3 0,01M.

5. Раствор AgNO_3 $2,7 \cdot 10^{-3} \text{M}$.
6. Коллоидный раствор Ag (20-30нм) $3,7 \cdot 10^{-4} \text{M}$.
7. Коллоидный раствор Ag (20-30нм) $2,7 \cdot 10^{-3} \text{M}$.

Выводы

В результате месячного наблюдения за поведением корневой массы экспериментальных черенков отмечено, что «чистые» ионы серебра в виде AgNO_3 даже в присутствии фитогормона подавляют развитие корневой массы, что подтверждает токсичность ионов серебра и неприменимость подобных препаратов в качестве фунгицидных на растениях. Образцы, обработанные препаратом, содержащем агломераты показали средний результат, сравнимый с контрольным образцом. Наилучший результат показала группа, обработанная раствором, содержащим наночастицы серебра, что может свидетельствовать о вторичных механизмах синтеза ауксинов под действием коллоидного серебра. Данное утверждение планируется проверить экспериментом с большей выборкой.

В результате проверки эффективности препаратов на чистых культурах плесневых грибов обнаружено, что ни наночастицы серебра, ни агломераты, не оказывают достаточно эффективного влияния на культуру. Вероятно, это связано с достаточно крупным размером используемых частиц – 60-80 нм. Для ускорения процесса окислительного растворения наночастиц возможно их уменьшение до размеров 15-20 нм.

В рамках этой работы проведён анализ существующих методов борьбы с фитопатогенными грибами, описаны механизмы воздействия серебра на них. Синтезирована суспензия гибридных агломератов, которые возможно применять для борьбы с грибковыми инфекциями на растениях, а также защиты микрорастений от грибковой культуры.

Разработанный препарат после доработки возможно применять не только в растениеводстве. Также возможно его использование в грибоводстве, для борьбы с патогенной для культурных грибов микрофлорой.

Крайне низкая эффективность наночастиц серебра в отношении культуры плесневых грибов может быть объяснена крупным размером полученных частиц. При уменьшении размерностей частиц увеличится площадь взаимодействия с окружающей средой и, как следствие, повысится эффективность растворения. Частицы таких размеров возможно получить иными методами, к примеру, методом боргидридного синтеза.

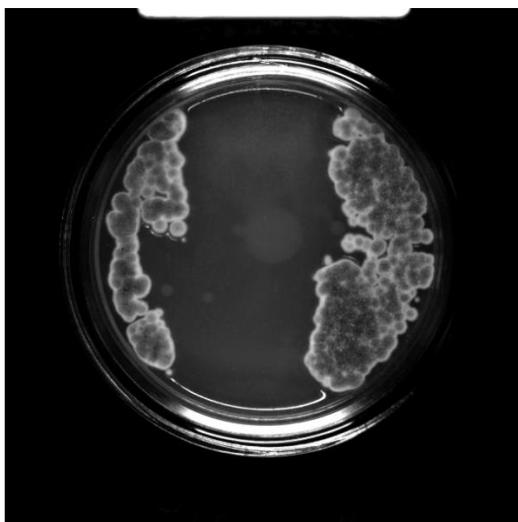


Рис. 2. Образец №1

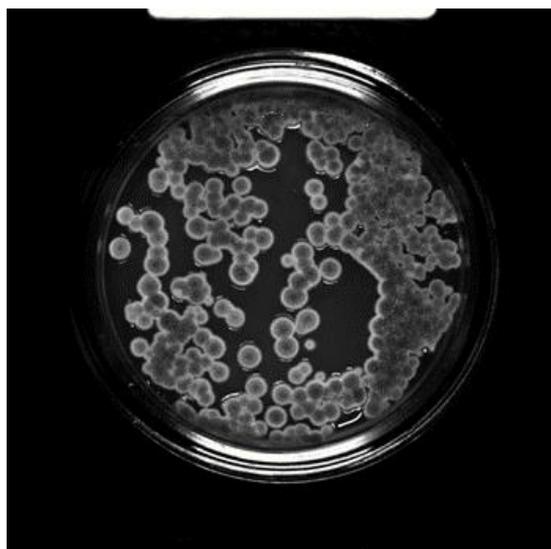


Рис. 3. Коллоидный раствор н.ч. Ag, образец № 4

Литература

1. Тузов В.К. Методы борьбы с болезнями и вредителями леса / Тузов В.К., Калиниченко Э.М., Рябинков В.А. 03. М.: ВНИИЛМ. 2003. 111 с.
2. Репин Н.А. Характеристика фунгицидов различного состава / Репин Н.А. Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
3. Гранкин Н.Н. / Влияние пестицидов на пчелиные семьи // Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева. Орёл. Россия. №9 (25). 2020. С. 53-88.
4. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. / Антибактериальные свойства и механизмы бактерицидного действия наночастиц серебра. Нанотехнологии. С. 170-172.
5. Петрицкая Е.Н., Абаева Л.Ф., Рогаткин Д.А., Литвинова К.С., Бобров М.А. / К вопросу о токсичности наночастиц серебра при пероральном введении коллоидного раствора // Альманах клинической медицины No 25. 2011. С. 9-12.
6. Хо Чи-Мин, Самми Кинг-Ун Яу, Чун-Нам Лок, Ман-Хо Со и Чи-Мин Че / Окислительное растворение наночастиц серебра биологически соответствующими окислителями: кинетические и механические исследования // Chem. Asian J. Chemistry - An Asian Journal 5.2. 2010. С. 285-93.
7. Сидельников В.С. Получение наночастиц серебра для использования их в электрохимическом анализе: специальность 18.03.01 «Химическая технология»: бакалаврская работа / Сидельников В.С. «Национальный исследовательский томский политехнический университет». Институт природных ресурсов. Томск. 2017. 54 с.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ УВОДЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ситанов Р.Д.¹ (аспирант), Константинова Ю.А.¹ (студент), Извекова Т.В.¹ (доцент)

Научный руководитель – д.х.н., доцент Гущин А.А.¹

1 – Ивановский государственный химико-технологический университет

e-mail: sitanov.roma@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР «Изучение экологического состояния Уводьского водохранилища».

Аннотация

Работа посвящена оценке уровня химического загрязнения природной воды Уводьского водохранилища Ивановской области приоритетными загрязнителями. Осуществлен анализ качества поверхностной воды, отобранной из Уводьского водохранилища г. Иваново, которое является централизованной системой водоснабжения для населения города. По полученным данным была произведена оценка качества воды в водохранилище. Также была произведена сравнительная оценка качества воды в период 2016 – 2022 гг., которая показала незначительное ухудшение.

Ключевые слова

Водохранилище, загрязняющие вещества, ПАУ, тяжелые металлы, нефтепродукты.

На территории России сконцентрировано большое количество водных ресурсов питьевого качества. В месте с тем, лишь 30 % водоисточников могут являться безопасными источниками водоснабжения, что приводит к тому, что более половины населения нашей страны употребляет загрязненную воду [1].

Основная причин недостатка воды питьевого качества в некоторых регионах Российской Федерации – антропогенное загрязнение водных объектов. В 2018 г. в водные объекты промышленными предприятиями сброшено 52,1 км³ сточных вод, из которых 40 % относились к категории загрязненных. Отметим, что не более 10 % из них подвергается очистки на очистных сооружениях. Экологи отмечают, что городами в водоемы мегаполисов ежегодно сбрасывается более 500 млрд. м³ сточных вод [2].

Основные показатели, характеризующие качество питьевой воды, зависят от экологического состояния в водоисточнике. Поэтому целью данной работы является оценка уровня химического загрязнения Уводьского водохранилища и анализ динамики изменения приоритетных загрязняющих веществ в источнике водоснабжения за период 2016-2022 гг.

Объектом исследования являлось Уводьское водохранилище, которое расположено на реке Уводь в Ивановском районе Ивановской области и снабжающее питьевой водой 80 % населения г. Иванова. Отбор проб осуществлялся в следующих точках (рисунок): местечко Авдотьино, д. Егорий, д. Худынино, д. Рожново, д. Конохово; д. Крюково, лесная зона (фоновая точка). Отбор проб воды для исследований осуществлялся в основные фазы гидрологического режима: зимняя и летняя межень, весеннее половодье и осенний паводок регламентирован государственным стандартом [3].

Уводьское водохранилище расположено на территории Ивановской области и является источником питьевой вода для населения г. Иваново питьевой водой, находится в санитарной зоне, что обеспечивает ему чистоту воды [4].

(максимальное значение Σ ПАУ было зафиксировано около населенного пункта Рожново (точке № 4)). Данный факт связан с источниками поступления ПАУ в водный объект – интенсивное движение автотранспорта, так как место отбора проб находится вблизи моста (проезжей части). Наиболее благоприятная обстановка в Увудьском водохранилище наблюдается в точке №3 – деревня Егорий. Содержание канцерогенных ПАУ составляет 14 – 16 %. Наибольшее содержание канцерогенных ПАУ замечено в пробах, отобранных в зимний период.

Максимальный вклад в сумму ПАУ вносят 2 индивидуальных ПАУ. В пробах донных отложений наибольшие концентрации были отмечены для антрацена (443,4 мкг/кг) и фенантрена (124,4 мкг/кг). Несмотря на то, что антрацен и фенантрен не относятся к группе канцерогенных веществ, они могут приводить к синергетическим эффектам с ПАУ, обладающими канцерогенными свойствами.

Экологическая ситуация в Увудьском водохранилище имеет свои особенности и неблагоприятные тенденции загрязнения водоёма, что несомненно сказывается на ухудшении здоровья населения. Считаю, что необходим целостный системный подход при реализации природоохранных мер, ориентация государственного управления на поддержку мероприятий, направленных на сохранение и улучшение параметров окружающей среды от локального до федерального уровня, а также нахождение природных ресурсов в государственной собственности для действенного обеспечения права граждан на благоприятную окружающую среду. При этом необходимо отметить, что нужно ужесточить въезд на территорию водоохраной зоны, а также проводить ежегодные субботники и другие мероприятия по улучшению экологической обстановки на территории памятника природного наследия.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Литература

1. Кузьмин А.В. Антропогенное воздействие на гидросферу - риск для биосферы / Кузьмин А.В., Таталев П.Н. // Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 10. № 2. С. 146-149.
2. Молдекова И.Ж. Эвтрофикация водоемов / Молдекова И.Ж., Молдекова Н.Ж. // Научный поиск в современном мире: сборник материалов 5-й Международной научно-практической конференции, Махачкала, 31 января 2014 года / Редакционный совет (НИЦ «АПРОБАЦИЯ»): Кутаев Ш.К., Деневизюк Д.А., Сефербеков Р.И., Назаров А.Д., Эльдаров Э.М., Семиляк В.И. Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Апробация". 2014. С. 20-21.
3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб // Москва: Российский институт стандартизации (приказ ФАТР и М от 10 сентября 2020 г. № 640-ст). 2022. С. 17. Электрон. копия доступна на сайте справ. правовой системы «Гарант». <https://base.garant.ru/74974044/> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Коргина Е.М. Фауна турбеллярий малого водохранилища центральной России / Коргина Е.М. // Биология внутренних вод. 2011. №4. С. 20 – 25.
5. ПНД Ф 16.1:2:2.2.3.63-09 (М 03-07-2014). Методика измерений массовой доли ванадия, кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, ртути, свинца, хрома и цинка в пробах почв, грунтов и донных отложений методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической. М. 2014.
6. ПНД Ф 14.1:2:4.186-02. Методика выполнения измерений массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах природных, питьевых и сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием

- анализатора жидкости "Флюорат-02" в качестве флуориметрического детектора (М01-21-01) // СПб.: НПФ «Люмекс». 2010.
7. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 (с изменениями на 26.06.2021) : [Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62297] (дата обращения: 13.04.2023).
 8. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 [зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 13.04.2023).

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК»

Соколов А.А.¹ (студент)

Научный руководитель – к.г.н., доцент Банарь С.А.¹

1 – Университет ИТМО

Аннотация

В данной работе рассмотрено исследование на содержание Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti в почвенном покрове заповедника «Бастак», а также определён уровень кислотности почв, с использованием водной и солевой вытяжки. Для определения содержания химических элементов использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа, с последующим усреднением результатов по каждому типу почв.

Ключевые слова

Содержание химических элементов, почвенный покров, ПДК химических элементов, рентгенофлуоресцентный анализ, кислотность почв.

Исследование содержания химических элементов, в том числе тяжёлых металлов, в почвах позволяет изучать возможные причины химического загрязнения почв, оценивать содержание элементов питания растений [1].

Объектом исследования является почвенный покров заповедника «Бастак». Преобладающими типами почв на территории заповедника являются бурые лесные и буро-таёжные почвы. Кислая реакция среды и повышенное содержание железа в почве характерно для Буреинской ландшафтно-геохимической провинции, на территории которой расположен заповедник. Повышенная подвижность катионогенных элементов (Zn, Pb, Ni, Co) и пониженной анионогенных (Mo, V, Sn) [2]. Данный факт обуславливает причины проведения анализа на содержание и концентрацию химических элементов в почвах заповедника.

Целью данного исследования является эколого-геохимический анализ почвенного покрова заповедника "Бастак".

Все материалы и исследуемые образцы были собраны в ходе совместной экспедиции от Университета ИТМО и Приамурского государственного университета имени Шалом – Алейхема в период с 19.06.2022 – 27.06.2022. Было отобрано 19 почвенных проб с 5 маршрутов.

Во время проведения пробоотбора буротаёжные и бурые лесные почвы встречались чаще, нежели другие типы почв. Наиболее часто данные типы почв встречались на маршруте №1, который был построен вдоль реки Большой Сореннак вверх по течению и маршруте №4, проходящий через урочище Красные сопки.

Помимо буротаёжных и бурых лесных почв на маршрутах также встречались бурые оподзоленные, пойменные и торфяные болотные почвы.

Маршрут №5 пролегал на землях запаса Биробиджанского района Еврейской автономной области и там были отобраны аллювиальные лугово-болотные и темногумусово глеевые почвы. Данная территория находится на месте горельников, где в весенний период 2022 года происходили обильные пожары.

После определения типа почвы был проведён анализ кислотности почвы. Определение pH почвы проходило с использованием солевой и водной вытяжки. Погрешность веса навески варьировалась от 0,01 – 0,05 грамм.

Независимо от вытяжки все исследуемые образцы почвы являются кислыми. Значения кислотности почв при использовании солевой вытяжки колеблются от 3,64 – 6,21. Кислотность при использовании водной вытяжки – от 4,47 до 5,44.

Почвы Биробиджанского района и территории участка «Центральный» заповедника «Бастак» характеризуются кислой реакцией среды [2]. Данный факт подтверждается проведённым исследованием.

Для определения содержания химических элементов в исследуемых почвах использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа. В основе РФА лежит анализ спектров, возникающих при взаимодействии рентгеновского излучения с исследуемым образцом [3].

Благодаря методу рентгенофлуоресцентного анализа, в почвах возможно определять химические элементы от натрия до урана включительно [3]. Данным методом в исходных пробах определялось содержание: Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti. Полученные результаты позволят в дальнейшем отслеживать изменение содержания химических элементов и тяжёлых металлов в почвах.

При проведении анализа исследуемых образцов почв на наличие химических элементов выявлено, что во всех образцах содержатся марганец, железо, хром, никель, цинк, свинец, кобальт, титан, ванадий, стронций. Содержание меди было отмечено в буротаёжных, бурых лесных, аллювиально лугово-болотных и темногумусоглеевых почвах.

Результаты определения содержания химических элементов представлены в таблице 1. Исходя из представленных данных стало возможным провести анализ содержания химических элементов в зависимости от типа почв.

Таблица 1

Содержание химических элементов (мг/кг) в почвах заповедника «Бастак»

Тип почвы	Содержание химических элементов в почве (мг/кг)											
	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
Буро-таёжные	18 0,7	16,3	8	58,2	254	22,3	13,5	14157	378,7	73,7	83,7	3631,8
Бурые оподзоленные	13 2,5	16,5	10,5	73,5	-	14	13	16418,4	376,4	65,5	83,5	3901,4
Бурые лесные	29 7,3	17,3	8,8	104	55	20,8	14,8	21768,8	698,9	81,8	120,5	5518,1
Пойменные	16 1	19,5	8,8	119,3	-	29,8	18	22407	703,6	97,3	137,3	5909,1
Торфяные болотные верховые	13 0	21	8	74	-	30	19	21191,8	394,9	88	100	4273
Аллювиальные лугово-болотные	14 2	20	10	32	263	18	19	17450	376,4	87	129	5441,6
Темногумусово – глеевые	88	17	10	45	53	24	19	26856,9	158,8	96	134	5052,1

В таблице 2 представлено ПДК валового содержания химических элементов в почве [4].

Таблица 2

ПДК химических элементов в почве (мг/кг)

Химический элемент	ПДК, мг/кг
Sr	200**
Pb	65
As	5
Zn	110
Cu	66
Ni	40
Co	5
Fe	38000
Mn	1500
Cr	6
V	150
Ti	5000

** - Содержание стронция представлено по значению Кларка, так как ПДК для почвы данного элемента не установлено [5].

Благодаря полученным данным стало возможным провести анализ содержания химических элементов на территории заповедника «Бастак».

Результаты анализа показали, что значения 5 из всех исследуемых элементов находятся в пределах, не превышающих ПДК. Исключениями стали: мышьяк (10,5), стронций (297,3), цинк (119,3), медь (263), кобальт (19), хром (97,3), титан (5909,1).

Из представленных элементов цинк и кобальт обладают повышенной подвижностью. Однако, если значения цинка превышают ПДК менее чем на 10%, то значения кобальта в 4 раза выше верхней границы ПДК.

Значения меди удалось зафиксировать лишь в 4 типах почв: буро-таёжных, бурых лесных, аллювиально-лугово болотных и темногумусово-глеевых. Это связано с тем, что результат анализа на бурых оподзоленных, пойменных и торфяно-болотных верховых почвах оказался ниже предела градуировки. Пиковое значение меди – 263 мг/кг на аллювиально-лугово болотных почвах, что более чем в 4 раза превышает установленное ПДК.

Содержание железа превышает 14,2 тыс. мг/кг и доходит до 26,8 тыс. мг/кг на всех типах почвы. Содержание титана варьируется от 3631 мг/кг в бурых лесных до 5909 мг/кг в пойменных почвах.

Получение данные могут свидетельствовать о дополнительных особенностях ландшафтно-геохимической провинции территории заповедника, связанные с повышенным содержанием элементов.

Литература

1. Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Кирюшин А.В.// Химический анализ почв. Вопросы и ответы. М. 2011. 186 С.
2. Калманова В.Б. Экологическое состояние почвенного покрова и растительности пойменной территории Р. Бира в пределах Биробиджана // Региональные проблемы. №9. 2008 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// cyberleninka.ru/ article/n /ekologicheskoe- sostoyanie-pochvennogo-pokrova-i-rastitelnosti-poymennoy-territorii-r-bira-v-predelah-birobidzhana](https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-sostoyanie-pochvennogo-pokrova-i-rastitelnosti-poymennoy-territorii-r-bira-v-predelah-birobidzhana) (дата обращения: 26.04.2023).

3. Каралин Э.А., Желонкин Я.О., Опаркин А.В., Васильев В.А., Ахметова Л.Т., Бадикова Г.Р. Рентгенофлуоресцентный анализ как метод определения количественного элементного состава сплавных катализаторов // Вестник Казанского технологического университета. №14. 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rentgenofluorestsentnyy-analiz-kak-metod-opredeleniya-kolichestvennogo-elementnogo-sostava-splavnyh-katalizatorov> (дата обращения: 20.04.2023).
4. Санитарные правила и нормы "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". СанПиН 1.2.3685-21. М.: АО "Кодекс". 2021.
5. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б., Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // СНВ. №1. 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-tyazhyolyh-metallov-v-pochvennom-pokrove-v-usloviyah-tehnogeneza> (дата обращения: 21.04.2023).

НАСТРОЙКА И ОТЛАДКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО ПАРАМ ЦИКЛОГЕКСАНА

Соломатина Ю.О.¹ (студент)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: solomatina.iulya@mail.ru

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию особенностей процесса подключения и настройки инструментов испытательного стенда и отладки программного обеспечения для разработки Методики испытаний противогазовых фильтров по показателю время защитного действия по парам циклогексана.

Ключевые слова

Средства индивидуальной защиты, испытание фильтров, циклогексан, нормативные документы на СИЗОД.

Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) обеспечивают защиту организма человека от воздействия вредных и опасных факторов. Это общее название респираторов и противогазов, которые используются в рабочей зоне.

По принципу действия средства индивидуальной защиты органов дыхания подразделяют на СИЗОД изолирующего типа и СИЗОД фильтрующего типа.

Изолирующие СИЗОД полностью закрывают органы дыхания человека от внешней среды и не допускают контакта с загрязненной атмосферой. Такие СИЗОД можно использовать при недостатке кислорода в замкнутых технологических ёмкостях, а также в рабочей зоне вне зависимости от концентрации и состава вредных веществ.

Фильтрующие СИЗОД обеспечивают безопасность человека, находящегося в загрязненной атмосфере путем фильтрации воздуха. Их подразделяют на противогазовые, обеспечивающие защиту от газов и паров, комбинированные – от газов, паров и аэрозолей и противоаэрозольные для защиты от аэрозолей.

Противогазовые СИЗОД состоят из двух основных составных частей - лицевой части и фильтра(ов) или устройства подачи чистого воздуха или газовой дыхательной смеси. В некоторых случаях лицевая часть является фильтром (фильтрующая лицевая часть).

Актуальность работы обусловлена необходимостью контролировать окружающую среду на рабочем месте и обеспечивать безопасность человека при работе с вредными и опасными веществами.

Все средства индивидуальной защиты, в том числе противогазовые фильтры, должны подвергаться испытаниям, чтобы подтвердить обеспечение требуемого уровня безопасности для человека.

В соответствии с техническим регламентом Евразийского экономического союза (Таможенный союз) «О безопасности средств индивидуальной защиты» (ТР ТС 019/2011), подтверждение соответствия продукции в форме декларирования проводится на основании доказательств, полученных с участием аккредитованной испытательной лаборатории (аккредитованной в установленном порядке в государствах-членах таможенного союза).

Время защитного действия (ВЗД) – показатель, определяемый временем, необходимым для достижения нормированной проскоковой концентрации тест-вещества за противогазовым фильтром или фильтрующей полумаской в заданных условиях испытаний.

Сущность метода заключается в определении появления нормированной концентрации тест-вещества за противогазовым или комбинированным фильтром после прохождения через него газопаровоздушной смеси, содержащей тест-вещество.

ГОСТ 12.4.235-2019 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противогазовые и комбинированные. Общие технические требования. Методы испытаний. Маркировка»

Он является межгосударственным стандартом, который устанавливает общие технические требования, методы испытаний и требования к маркировке противогазовых и комбинированных фильтров для средств индивидуальной защиты органов дыхания [1].

В зависимости от типа фильтра и веществ, от которых он должен обезопасить человека, используются разные методы подготовки и анализа контрольной смеси. Например, фильтры марки А (против органических газов и паров) испытывают такими опасными веществами, как циклогексан, уксусная кислота, хлороформ и дихлорметан. Фильтров типа В (против неорганических газов и паров) испытывают такими опасными веществами, как сероводород, хлор, цианистый водород и сернистый ангидрид. Фильтры типа Е (против кислых газов и паров) испытывают такими опасными веществами, как сернистый ангидрид и хлороводород. Типа К (против аммиака и его производных) испытывают аммиаком. Фильтры типа Р (против твердых и жидких аэрозолей) испытывают такими опасными веществами, как натрий хлорид и парафиновое масло.

Так как газы, температура кипения которых выше 65 °С, находятся в жидком состоянии при температуре, необходимой для проведения испытаний (20 °С), это создает неудобства при проведении испытаний – необходимо менять баллон с газом на ресивер с жидким газом. Для того, чтобы устранить это неудобство, был создан новый испытательный стенд.

Испытательный включает лабораторное оборудование, предназначенное для проведения испытаний по показателю время защитного действия по парам циклогексана. При испытаниях противогазовые фильтры подвергаются воздействию тест-вещества с определенной концентрацией, указанной в соответствии с нормативным документом.

Испытательный стенд состоит из нескольких блоков и включает в себя:

- блок создания влажного воздуха;
- блок испарения;
- жидкостной термостат;
- измерительные блоки;
- испытательную камеру;
- коллектор сброса;
- программное обеспечение.

Схема испытательного стенда представлена на рисунке 1.

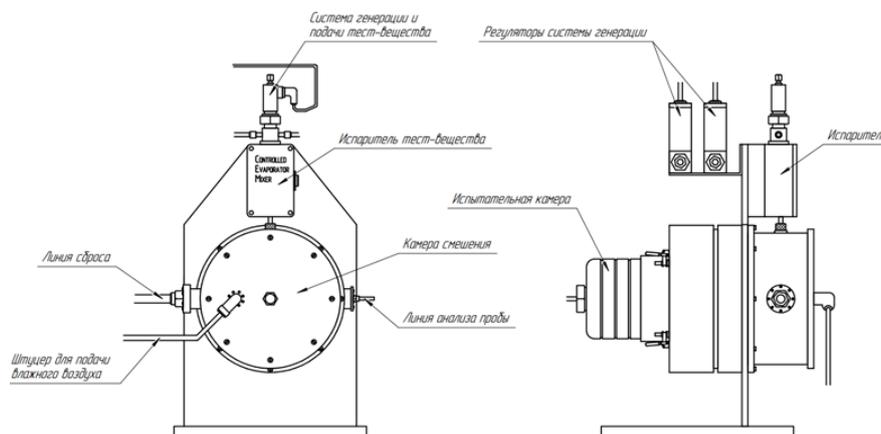


Рис. 1. Схема испытательного стенда

Блок создания влажного воздуха (далее - БСВВ) обеспечивает приготовление паровоздушной смеси и измерение относительной влажности полученной смеси. БСВВ состоит из системы смешивания и испарения (далее - система СЕМ), регуляторов расхода жидкости и расхода воздуха, ресивера для подачи воды.

Для работы БСВВ к воздушному регулятору необходимо подсоединить сжатый воздух от линии подачи сжатого воздуха. Давление, создаваемое в регуляторе, должно быть в диапазоне от трех до пяти атмосфер. Подача сжатого воздуха обеспечивается с помощью безмасляного компрессора.

Подача дистиллированной воды на жидкостной регулятор обеспечивается с помощью выдавливания ее избыточным давлением из ресивера для воды по капиллярной трубе. Главная причина использования дистиллированной воды заключается в том, что она инертна., значит, после дистилляции в воде практически ничего не остается. Вода, поступающая из колодцев, озер и ручьев, даже после очистки для питья все еще содержит химические вещества, минералы и металлы, которые могут повлиять на результаты научного проекта.

Воздушный поток из БСВВ проходит через термостат для достижения требуемой температуры и попадает в камеру смешения, куда также поступает тест-вещество циклогексан и происходит создание газопаровоздушной смеси.

Система подачи циклогексана, а именно блок испарения работают по тому же принципу, что и БСВВ: тест-вещество подается жидкостным регулятором БИ, смешивается с воздушным потоком, после воздушного регулятора и после блока испарения поступает в камеру смешения. Далее газопаровоздушная смесь поступает в испытательную камеру, где установлен испытуемый образец противогазового фильтра.

Газопаровоздушная смесь проходит через испытуемый образец и поступают в линию сброса, на конце которой установлен коллектор с фильтрами, после прохождения через фильтры, чистый воздух сбрасывается в атмосферу. После прохождения через испытуемый фильтр часть воздушного потока через линию анализа пробы поступает на газоанализатор «КОЛИОН-1» [2].

«КОЛИОН-1» – это фотоионизационный переносной газоанализатор предназначен для измерения концентрации загрязнителей в воздухе, определения мест утечек и выбросов и их интенсивности.

По газоанализатору отслеживается концентрация тест-вещества в отобранной пробе. При достижении требуемого значения согласно НД, фиксируется время, за которое это значение было достигнуто. Это время и будет являться временем защитного действия противогазового фильтра.

В процессе выполнения экспериментальных исследований было разработано программное обеспечение (ПО) испытательного стенда. В ПО есть возможность выбрать предустановленные режимы испытаний, они устанавливались согласно ГОСТ 12.4.235-2019. Режимы представлены на рисунке 2.

Концентрация на выходе, мг/дм³	Расход на выходе, дм³/мин	Расход жидкости, мг/мин
3.5	15.0	52.5
3.5	30.0	105.0
3.5	60.0	210.0
17.5	15.0	262.5
17.5	30.0	525.0
28.0	15.0	420.0
28.0	30.0	840.0

Рис. 2. Режимы испытаний

Настройка и отладка ПО заключалась в проверке режимов на соответствие требованиям ГОСТ 12.4.235-2019. Были проведены тестовые запуски ПО для каждого из режимов.

Программное обеспечение работает исправно, так как при проверке каждого режима выполняется необходимое условия для испытаний - расход азота составляет по объему 1 дм³/мин.

Всего предустановленных режимов – 7, согласно ГОСТ 12.4.235-2019, но бывают ситуации, когда по требованию заказчиков необходимо проверить фильтры, рассчитанные на концентрацию больше, чем 28,0 мг/дм³ или меньше, чем 3,5 мг/дм³, или просто выяснить, какая защитная способность у фильтра. В этом случае необходима функция «Свободный режим»

В процессе работы были проведены тестовые запуски программного обеспечения. Выявленные недостатки - отсутствие функции «Свободный режим», а также продолжительность испытания считается с момента запуска программного испытания, даже если испытание еще не начато и никакие инструменты стенда не запущены.

Литература

1. ГОСТ 12.4.235-2019 «Системы стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противогазовые и комбинированные. Общие технические требования. Методы испытаний. Маркировка».
2. Ахметсагиров Р.И. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебно-методический комплекс для студентов спец. "Управление качеством" / Ахметсагиров Р.И., Дрогайлова Л.Н. Казань: Познание. 2008. 69 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

**Сотова Е.Д.¹ (магистрант), Сучкова Е.П. (доцент)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Сучкова Е.П.¹**

1 – Университет ИТМО
e-mail: elizasotova@gmail.com

Аннотация

В связи с отказом многих стран от использования пластика, появилась необходимость в создании альтернативных биоразлагаемых упаковок, которые были бы пригодны для употребления в пищу. Одной из таких альтернатив могут стать пленочные материалы на основе крахмала, которые являются съедобными и биоразлагаемыми. Хотя полная замена пластиковой упаковки на съедобную невозможна, частичная замена может значительно снизить воздействие на окружающую среду и уменьшить объем отходов.

Ключевые слова

Рециклинг, упаковки, биоупаковки, амилазный крахмал, пищевое производство, биоразлагаемый.

В свете растущей проблемы загрязнения окружающей среды пластиком, многие страны и компании начали искать альтернативные, биоразлагаемые материалы для упаковки продуктов. Одной из таких альтернатив являются съедобные пленочные материалы на основе крахмала, которые не только биоразлагаемые, но и пригодны для употребления в пищу. Хотя полная замена пластиковой упаковки на съедобную пока невозможна, частичная замена может значительно снизить воздействие на окружающую среду и уменьшить объем отходов.

Производство съедобных биоразлагаемых пленок на основе биополимеров и органических ингредиентов становится все более актуальной темой. Искусственно созданные полимерные материалы оказывают вредное воздействие на окружающую среду, поэтому необходимо искать более экологичные альтернативы. Упаковка пищевой продукции является самой доступной для внедрения изменений.

Съедобные биоупаковки набирают популярность во всем мире, поскольку они не загрязняют окружающую среду и улучшают характеристики упакованных продуктов. Они обеспечивают дополнительные барьерные и антимикробные свойства, что позволяет продуктам сохранять свежесть на больший период времени. Съедобная пленка может иметь свой вкус, комплементарный вкусу продукта, и может быть употреблена вместе с продуктом.

На сегодняшний день уже созданы биоразлагаемые органические материалы для упаковки на основе полисахаридов (крахмала, пектинов, камеди), белков (казеина, глютена, желатина) и липидов (парафинов, пчелиного воска). Смешивая эти компоненты, можно достичь необходимого качества пленки [1]. Крахмал является перспективным органическим соединением для получения упаковки благодаря разнообразию сырьевой базы и низкой стоимости. В состав пленки можно добавлять вкусовые, антиоксидантные, антимикробные добавки и витамины.

За границей уже производятся пленочные материалы и покрытия с антибактериальными, противожировыми и другими полезными свойствами, которые широко используются в пищевой промышленности [2]. При изготовлении пленок из крахмала необходимо использовать пластификаторы, например, глицерин. Пластификаторы придают пленкам растяжимость и гибкость. При изготовлении материалов учитываются все факторы, включая температуру продукции (охлажденной, замороженной или глубокой заморозки). Безопасность продукции является важным аспектом, и конечный потребитель может быть уверен в отличных барьерных свойствах

материала. При этом этикетка сохраняет свой внешний вид и свойства независимо от условий хранения и транспортировки, таких как влажность, температура и взаимодействие с жирами и маслами.

Кроме того, пленочные материалы на основе крахмала являются более экологически чистыми и удобными в использовании, так как они могут быть переработаны и не загрязняют окружающую среду. Они также могут быть использованы для упаковки различных продуктов, включая мясо, рыбу, фрукты и овощи. В некоторых странах уже введены законы, которые требуют использования биоразлагаемых материалов для упаковки продуктов питания. Пленки и покрытия из природного полисахарида – крахмала - являются одним из наиболее эффективных способов сделать упаковку более экологичной и безопасной для потребителей.

Ученые и технологи уже давно занимаются разработкой биоразлагаемых пленок и упаковок из пищевых полимеров. В США в 2010 году была создана пленка из овощного пюре, а в 2018 году - из молочного белка казеина, который способен пропускать кислород. В Великобритании в 2021 году была разработана упаковка Ooho из морских водорослей. В Европе также проводятся исследования по созданию подобных пленок в связи с необходимостью сокращения использования не разлагаемого полиэтилена [3]. Некоторые страны уже запретили одноразовую пластиковую упаковку и пакеты. В 2015 году ученые из Австралии провели исследование физических и реологических свойств органических пленок из высокоамилозного горохового крахмала (содержание амилозы - 36,25%) с разной концентрацией пластификатора - глицерина (15%, 25% и 35% от сухой массы крахмала). В ходе исследования было выявлено, что при увеличении концентрации пластификатора улучшаются показатели прочности и пластичности материала. Химики БГУ создали еще одну съедобную упаковку, которая изготавливается из природных пищевых полимеров, а именно кукурузного крахмала. Она отличается тем, что сохраняет свойства продукта внутри, включая вкус, аромат и внешний вид. К тому же, можно добавить различные ингредиенты, например, фруктовое пюре, чтобы улучшить органолептические свойства. В России также проводятся исследования по созданию съедобных органических пленок. На Евразийском экономическом форуме молодежи были представлены девять рецептов биополимерной пленки на основе агар-агара и глицерина. В Уральском государственном университете также представили работу о съедобной пищевой пленке, которая изготавливается на основе яблочного сырья и различных пластификаторов. Она защищает продукты от повреждений и увеличивает их срок хранения, а также имеет привлекательный внешний вид, вкус и аромат, что позволяет использовать ее как дополнение к различным блюдам.

Говоря о дополнениях пленки к различным блюдам, ее возможной вкусовой комплементарности, необходимо обратить внимание на скоропортящиеся продукты - такие как мясо, сыр и молочная продукция. В Самаре разработана технология производства кулинарных блюд из мяса с использованием антибактериальной съедобной биоразлагаемой пленки. В ИТМО было проведено исследование, результатом которого стали образцы пленок на основе биополимерной матрицы казеинат натрия/агар-агар с различным содержанием антоцианов черной моркови. В ходе проделанной работы было показано, что с добавлением антоцианов не происходит изменений толщины, влагосодержания и растворимости пленок биокомпозита. Еще одно направление развития биоразлагаемых пленок это использование морских водорослей и других природных компонентов. Перед учеными из Орловского государственного аграрного университета имени Н.В. Парахина стояла задача сформировать состав съедобной и биоразлагаемой пленки с заданными свойствами, и обладающей полезной направленностью, содержащей только природные, не вызывающих аллергических реакций, компоненты отечественного ареала обитания, в состав которых входят растительные белки, полинасыщенные жирные кислоты, комплекс растительных биофлавоноидов, витамины, и стабилизирующие и нормализующие компоненты,

входящие в состав экстракта зеленого чая, растительные микроэлементы высокого качества биоразлагаемых покрытий из ламинарии, произрастающей в акватории Белого моря (*Laminaria digitata* и *Laminaria saccharina*) [4].

Недавно появившиеся пластиковые материалы на основе полилактида и полигидроксиалканоата, которые считаются биоразлагаемыми, не решают проблему пластиковых отходов. Они могут разлагаться только в специальных условиях, а также не могут быть переработаны вместе с обычными полимерами. Для того, чтобы бороться с проблемой пластиковых отходов, можно предложить производство полностью разлагаемых упаковок, которые можно съесть. Такие упаковки отвечают необходимым требованиям к упаковке пищевых продуктов и являются уникальным видом биоразлагаемой упаковки, который подвергается естественной биодеградации.

Органические съедобные биопленки — это материалы, легко поддающиеся разложению, в связи с чем их можно безопасно утилизировать. Пленки могут быть изготовлены из различных материалов, таких как крахмал, альгинаты, белки и даже фруктовые кожуры. Они могут использоваться для упаковки различных продуктов, в том числе мяса, рыбы, фруктов и овощей. Такие упаковки не только экологически безопасны, но и могут иметь дополнительные преимущества, такие как защита продуктов от бактерий и влаги, а также улучшение вкусовых свойств продуктов. Они могут быть разработаны в различных формах и размерах, чтобы соответствовать нуждам производителей и потребителей.

Производство съедобных биопленок может быть более дорогостоящим, чем производство традиционных пластиковых упаковок. Однако, с увеличением спроса на продукты с минимальным экологическим следом и уменьшением количества пластиковых отходов, стоимость производства может снизиться.

Съедобная биоразлагаемая пленка не может полностью заменить обычную пластиковую пленку, но даже частичная замена может существенно снизить нагрузку на окружающую среду и уменьшить объем отходов [5]. В последние годы большее количество производств, преимущественно, пищевых, заинтересовано в съедобных биоразлагаемых пленках, что говорит о потребности в таких материалах. На мировом рынке прибыль от продажи данного вида упаковок превышает сотни миллионов долларов, что говорит о перспективности их производства.

Из литературных исследований следует, что можно создать безопасные для окружающей среды пищевые биопленки, которые не только смогут увеличить сроки хранения продуктов, но и будут иметь нужные физико-механические свойства. Съедобные упаковки – это инновационное решение проблемы пластиковых отходов. Они не только биоразлагаемые, но и могут быть использованы как дополнительный источник получения витаминов и пищевых добавок. Это пример того, как наука и технологии могут помочь решить проблемы окружающей среды и улучшить качество жизни людей. Разработка биоразлагаемых органических пленок является перспективным направлением для ученых, технологов и биотехнологов. В настоящее время уже существуют пленки из полисахаридов, крахмала, желатина и агар-агара, однако технология создания съедобных пленок для созревания и хранения сыра не является проработанной в полной мере. Авторы статьи находят интересным для своего исследования создание биопленки из амилазного крахмала, поскольку пленки из данного полисахарида обладают улучшенными структурными и механическими свойствами по сравнению с обычным крахмалом. Это позволит создавать продукцию с заданными функционально-технологическими свойствами, что открывает возможность ее применения при созревании и хранении сыра, мясных и рыбных продуктов, кондитерских изделий и плодоовощной продукции.

Технология создания биоразлагаемых пленок найдет применение в пищевой промышленности при упаковке пищевых продуктов, как скоропортящихся, так и с длительным сроком хранения. В сельском хозяйстве пленки найдут свое применение в

качестве защитного покрытия для фруктов, мытых овощей и ягод. Съедобная биопленка может заменить не разлагаемую полимерную пленку как упаковочный материал для ряда пищевых продуктов. Это поможет улучшить экологическую ситуацию в мире и увеличить срок хранения продуктов. Биоразлагаемые пленки способствуют сохранению ресурсов и сокращению отходов. Создание, использование и внедрение подобных пленок положительно скажется на состоянии окружающей среды в вопросах компостирования и возвращения отходов в цикл производства. Потребность в органических пленочных материалах в последние годы неуклонно растет и пользуется спросом во всем мире.

Литература

1. Лукин Н.Д., Ананских В.В., Шлеина Л.Д., Родионова А.В. (2019) Биоразлагаемые съедобные пленки на основе крахмала // Пищевая промышленность. 2019. № 11. С. 13–15.
2. Съедобная упаковка технологии будущего [Электронный ресурс]. Режим доступа https://packer-dv.ru/useful_articles/sedobnaya-upakovka-tehnologii-budushhego/ (дата обращения: 22.02.2023).
3. Европа запретила одноразовый пластик: чего ждать в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/60e829f79a794766ad12a657> (дата обращения: 22.04.2023).
4. Ковалева О.А., Здравова Е.М., Киреева О.С., Поповичева Н.Н. Композиция съедобной и биоразлагаемой пленки на основе ламинарии беломорской // «Безопасность и качество продуктов». 2021. С. 42-45.
5. Леонтьев А.П., Савицкая Т.А. Многофункциональные съедобные упаковочные пленки с растительными добавками // БГУ. Минск, Беларусь. 2020. С. 1-4.

ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Суворова В.А.¹ (магистр), Юльметова Р.Ф.¹
Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: suvorova_var@mail.ru; liya974@mail.ru

Аннотация

Попытки решить проблемы обращения с промышленными отходами посредством разработки технических средств по переработке отходов приведут к повышенным затратам для предприятия. По этой причине встает вопрос: «что лучше?» – увеличенные тарифы за вывоз и утилизацию отходов или усовершенствование системы обращения с отходами с уже имеющимися технологиями [1]. Целью данного исследования является разработка рекомендаций для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова

Отходы производства и потребления, оптимизация обращения с отходами, система управления отходами, металлургическое предприятие, класс опасности отходов.

Организация системы экологически - безопасного оптимизированного обращения с отходами производства является актуальной проблемой в нашей стране, которую приходится решать каждому промышленному предприятию.

Оптимизация обращения с отходами представляет собой процесс нахождения наилучших путей решения задач, связанных с отхообразованием.

Этапы обращения с отходами были рассмотрены на научно-производственном предприятии, основной деятельностью которого является изготовление машиностроительной продукции общего и специального назначения. Наличие в структуре предприятия цехов для изготовления продукции из металла общего и специального назначения, цехов по обработке металла, окраски деталей, а также дополнительных участков хранения сырья и готовой продукции для обеспечения частичного автономного производственного процесса по изготовлению продукции.

В цехе металлообработки производят основную долю продукции из металла. Сырье для производства изделий поступает в цех силами поставщиков на деревянных поддонах, которые являются возвратной тарой. В зависимости от заказа, материал для продукции проходит разный процесс металлообработки на соответствующем оборудовании. Среднегодовой объем обрабатываемого черного металла – 168,2 т., алюминия – 63,6 т. Доля отходов при металлообработке – 10 – 15%, коэффициент безвозвратных потерь – 1,1. Стружки черных металлов и алюминия собирают на участке в промежуточные емкости – ящики и в конце смены выносят в металлические контейнеры для стружки черных металлов и алюминия соответственно.

Для получения необходимых свойств, изделия подвергают термической обработке в камерных печах. Отходов от данного процесса не образуется.

После проведения металлообработки, готовую деталь подвергают ультразвуковой чистке в специальном моечном аппарате. Установка предназначена для очистки изделий сложного профиля и деталей точной механики.

Цех гидроабразивной резки используют при необходимости вырезки детали с особой точностью. При таком способе обработки металла используется гранатовый песок, поступающий на предприятие в полипропиленовых мешках, которые являются возвратной тарой.

В малярном цехе для покраски изделий используют эмалевые краски и различные виды грунтовок. Покраску осуществляют пульверизаторами. Банки из-под краски частично собирают в контейнер для мусора, частично возвращают поставщику.

Производственно-хозяйственная деятельность предприятия сопровождается образованием 22-х видов отходов производства и потребления, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Отходы предприятия

№	Наименование и класс отходов	Всего отходов т/год
Всего отходов I класса опасности		0,045
1	Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминисцентные, утратившие потребительские свойства	0,045
Всего отходов II класса опасности		0,013
2	Химические источники тока марганцово-цинковые щелочные неповрежденные отработанные	0,013
3	Отходы негалогенированных органических растворителей в смеси незагрязненных	1,251
4	Отходы материалов лакокрасочных на основе сложных полиэфиров в среде негалогенированных органических растворителей	0,267
5	Отходы материалов лакокрасочных на основе меламиновых смол в среде негалогенированных органических растворителей	0,002
6	Лакокрасочные материалы на основе эпоксидных смол, утратившие потребительские свойства	0,456
7	Отходы клея полиизоцианатного, содержащие этилацетат	0,005
Всего отходов IV класса опасности		192,800
8	Эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металлов отработанные, содержащие масла или нефтепродукты в количестве менее 15%	14,0
9	Отходы песка от очистных и пескоструйных устройств	144,0
10	Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	29,0
11	Мусор и смет производственных помещений практически неопасный	4,8
12	Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %)	0,9
13	Приборы КИП и А и их части, утратившие потребительские свойства	0,1
Всего отходов V класса опасности		97,300
14	Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	42,4
15	Лом и отходы алюминия несортированные	2,0
16	Лом и отходы титана в кусковой форме незагрязненные	0,4
17	Стружка черных металлов несортированная незагрязненная	40,0
18	Стружка алюминиевая незагрязненная	10,5
19	Стружка бронзы незагрязненная	0,4
20	Стружка латуни незагрязненная	0,4
21	Стружка титана и титановых сплавов незагрязненная	0,6
22	Абразивные круги отработанные, лом отработанных абразивных кругов	0,6

Примечание: таблица составлена на основании собственного анализа журнала «Образования и движения отходов» на научно-производственном предприятии [2].

Отходов V класса образуется 32,7 %, IV класса составляют 66,5 % и I—III класса опасности образуются менее 1 %. Количество отходов пятого класса опасности зависит от количества металлов и сплавов, подлежащих переработке. Все отходы предприятия подлежат сбору, хранению, обработке, транспортировке, утилизации и обезвреживанию в соответствии с договорами, заключенными с организациями, имеющими лицензию на этот вид деятельности. Данный ход представлен на рисунке.

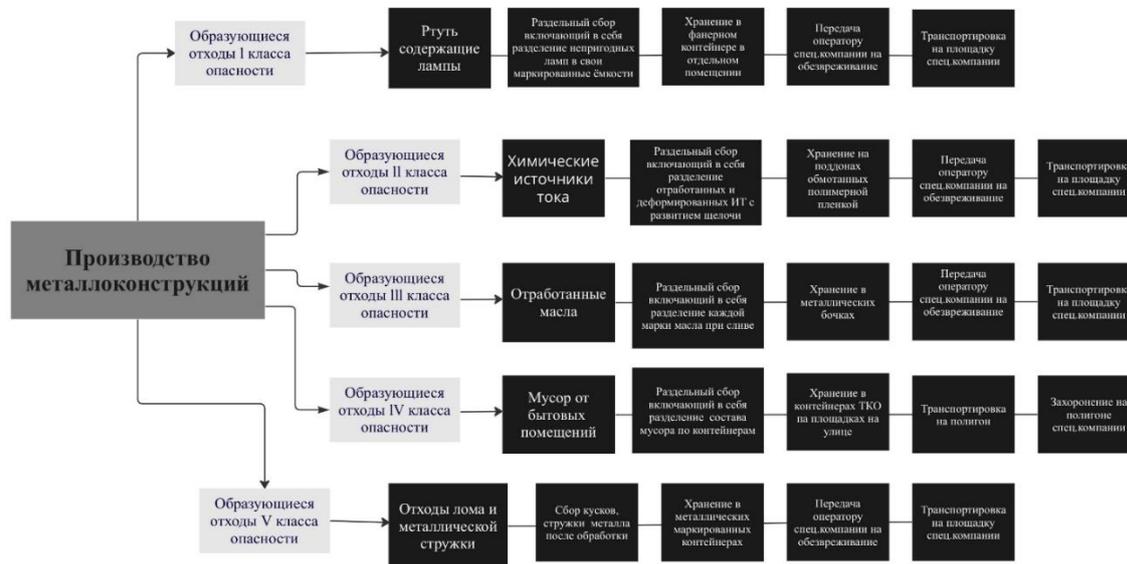


Рисунок. Схема движения отходов на предприятии

Для оптимизации обращения с отходами применимы методы по следующим направлениям:

- рационализация основных объектов и процессов производства с помощью усовершенствования работы оборудования;
- повышение умений и навыков обращения с отходами среди сотрудников предприятия;
- сокращение количества продукции относящиеся к категории «брак»;
- организация целесообразного сбора и хранения отходов производства;
- пересмотр действующих договоров с компаниями по продаже, сбору, утилизации, захоронению отходов.

Следовательно, можно разделить эти направления на два подхода – технологический и управленческий.

Для отходов I класса опасности необходимо установить новый металлический герметичный контейнер с маркировкой «ртуть содержащие лампы», а также приобрести демеркуризационный набор.

Для обращение с отходами II класса опасности необходимо соблюдать правила «обращения и перемещения отходов» для минимизации случаев повреждения и разлива содержимого аккумулятора путем его деформации.

Отходы III класса опасности, а именно отработанные масла, необходимо собирать в герметичные контейнеры для дальнейшей биологической обработки, где отработка расслаивается на воду и нефтепродукты.

Для отходов IV класса опасности организовать сбор огарков электродов, которые не имеют покрытия и представляющую собой обычную металлическую проволоку, для последующей переплавки и производства новых расходных материалов.

Для отходов V класса опасности предприятию стоит заменить контейнеры и ящики, для большей сортировки отходов производства, а также часть этих отходов подвергать прессовке для уменьшения их объема в целях экономии на перевозке [3].

К управленческому подходу можно отнести процедуру проведения контрольных мероприятий, включающие в себя: обязательную подготовку и переподготовку персонала по профильному обучению, например, в сфере анализа потерь или контроля отходов в процессе выпуска продукции.

Так, например, при установке специализированных ящиков типа ТК-200 для сбора металлической стружки и металлосодержащих кусков, относящихся к V классу опасности, с целью их дальнейшей продажи для вторичной переработки, предприятие за 7 лет эксплуатации оборудования (срока службы оборудования) получит высокую прибыль. Эффективность проекта представлена в таблице 2.

Таблица 2

Показатели рентабельности проекта на производстве

Показатель	Единица измерения	Значение
Общие инвестиции	руб.	963 000
Чистая годовая экономия	руб./год	1 157 000
Срок окупаемости	год	0,8
Чистый дисконтированный доход	руб.	3 974 579
Внутренняя норма рентабельности	%	24
Индекс доходности	–	4,1

Примечание: таблица составлена на основании собственного исследования.

Таким образом, для рационального отходообразования в виде металлической стружки и металлосодержащих кусков на предприятии, рекомендуется приобрести оборудование, упомянутого выше. Его использование приведет к повышению ресурсосбережения и к уменьшению степени загрязнения окружающей среды в целом.

Внедрение рекомендованных мер позволит снизить сумму ежегодных расходов на управление отходами. Помимо экономических выгод, грамотное обращение с отходами даст компании выйти на международные стандарты в этой области, получить сертификаты серии ISO 14000, расширить рынок своего продукта, повысить уровень доверия потребителей и заслужить положительную репутацию.

Литература

1. ИТС 15-2021 ИТС НДТ 15-2021 Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов).
2. Программа производственного экологического контроля / Каукенас А.Н., Чупрова Т.В.; от 19.10.21.; № 12-30-0729-21/24. 7 с.
3. Методы обращения с отходами на предприятии: внедрение системы управления по обращению отходами / Сахапова Т.С., Баранова К.О., Хуснутдинов М.И., Тихонов В.А. // Mining Industry Journal. 2021. № 5. С. 94-98. DOI 10.30686/1609-9192-2021-5-94-98. EDN KERCYM.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Туганова Р.С.¹ (студент), Юльметова Р.Ф.¹
Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.¹
1 – Университет ИТМО
email: tuganovaregina@yandex.ru, liya974@mail.ru

Аннотация

В данном исследовании рассмотрено использование современных информационных технологий для решения ряда экологических проблем в сельском хозяйстве. Предложенное решение включает разработку моделей машинного обучения для дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель с помощью спутниковых изображений. Это позволит принимать своевременные решения, улучшить управление ресурсами и повысить эффективность сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые слова

Точное земледелие, сельское хозяйство, дистанционный мониторинг, машинное обучение, нейронные сети.

В последние годы устойчивость и продуктивность сельскохозяйственных систем находятся под угрозой, что связано с множеством факторов, например: климатические условия, водные ресурсы и отсутствие высокотехнологичных решений. В связи с этим необходимо разрабатывать и внедрять методы дистанционного мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения для повышения урожайности культур и оптимизации затрат на мелиорацию. Ученые подчеркивают важность использования передовых технологий, которые способствуют снижению негативных последствий интенсивных агротехнических мероприятий и предотвращению деградации почв и эрозионных процессов. Решение ряда проблем требует постоянного инновационного развития, включая использование современных информационных технологий, направленных на улучшение показателей эффективности сельскохозяйственного производства и обеспечение устойчивого развития отрасли [1].

Точное земледелие представляет собой инновационное решение в сельскохозяйственной отрасли [2]. Эта высокотехнологичная дисциплина включает сбор, хранение, обработку и дистрибуцию цифровой информации из многочисленных источников, что дает возможность анализировать и осознать пространственно-временную динамику сельскохозяйственного производства. Такой подход помогает разрабатывать обоснованные стратегии управления сельскохозяйственными угодьями и контролировать их результаты. С технологической точки зрения точное земледелие основывается на применении цифровых инструментов и анализе данных с целью повышения эффективности производства и рационального использования доступных ресурсов, что способствует устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

Для того чтобы точное земледелие могло действительно демонстрировать свою эффективность, крайне важно иметь достоверное представление о текущем состоянии местных сельскохозяйственных культур, что позволит применять специализированные методы управления с использованием автоматизированного оборудования. Надежная и своевременная информация о состоянии земельных ресурсов играет решающую роль в развитии устойчивого сельского хозяйства и его успешной адаптации к меняющимся условиям. Такие актуальные данные позволяют формировать политику, направленную на повышение показателей производительности сельского хозяйства, и содействуют обновлению географических баз данных, что, в свою очередь, обеспечивает возможность

принимать обоснованные решения в отношении сельскохозяйственного производства. Следовательно, для получения точной информации о землях, предназначенных для сельскохозяйственной деятельности, крайне важно правильно определить и актуализировать контуры полевых участков, а также иметь возможность быстро и оперативно обновлять их.

В настоящее время одним из главных источников сведений о сельскохозяйственных угодьях служат кадастровые карты, которые фиксируют границы полевых участков. Тем не менее, для поддержания актуальности такой информации требуется ее регулярное обновление, что подчеркивает важность определения границ сельскохозяйственных полей. Обычно процесс определения границ земель на основе спутниковых изображений осуществляется вручную, однако такой подход является неэффективным и затратным, особенно при работе с обширными территориями, такими как районы, области или государство в целом.

Точное земледелие основано на применении данных дистанционного зондирования Земли, таких как изображения или видеоматериалы, полученные с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или спутников. Эти изображения обеспечивают детализированный обзор земной поверхности и позволяют идентифицировать, определить местоположение, охарактеризовать ее особенности. В данной работе используются спутниковые изображения, поскольку они предоставляют большую площадь сельскохозяйственных полей. Однако, сохранение точности и соблюдение временных рамок при обработке этих данных остаются актуальными проблемами, решаемыми с помощью машинного обучения, которое является механизмом точного земледелия [3]. Машинное обучение – это раздел искусственного интеллекта, который сосредоточен на использовании данных и алгоритмов для имитации процесса обучения и постепенного улучшения точности. Данный подход способствует повышению урожайности, составлению карт полей, интеллектуальному мониторингу посевов и сельскохозяйственных культур. Главным вектором работы является применение методов машинного обучения для автоматизации картирования полей и определения выращиваемых культур с целью получения актуальной информации о состоянии сельскохозяйственных земель.

Исследование направлено на разработку автоматической системы мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения на основе нейронных сетей, используя спутниковые снимки. В рамках данной работы для обучения моделей используются нейронные сети, которые доказали свою эффективность в множестве областей, в частности, в машинном обучении. В области компьютерного зрения с помощью нейронных сетей часто решаются четыре ключевые задачи: классификация, локализация, семантическая сегментация и инстанс-сегментация. В данный момент наше исследование фокусируется на классификации и инстанс-сегментации.

Первоочередная задача исследования заключается в сборе подробной информации с использованием спутникового зондирования для дальнейшего применения в обучении нейронных сетей. Затем проводится анализ полученных данных и их оптимизация для максимальной эффективности в процессе обучения. Следующим ключевым этапом является разделение земельных участков на отдельные поля, что позволит точно определить разновидности сельскохозяйственных культур. В этом контексте используется передовой метод инстанс-сегментации, обеспечивающий высокую точность в области облачных вычислений. Завершающим этапом исследования станет применение классификации для идентификации различных видов культур. Благодаря этому подходу будет возможно автоматически определить вид посевов и состояние растительного покрова. Такой анализ имеет важное значение для выявления факторов, которые оказывают влияние на урожайность, устойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Ключевым компонентом данного исследования являются алгоритмы машинного обучения, разработанные на основе анализа спутниковых снимков, полученных от группировки спутников Sentinel-2. Эти спутники были созданы в рамках проекта по глобальному экологическому мониторингу в программе "Коперник". Sentinel-2 регулярно предоставляет оптические изображения с высокой степенью детализации и пространственным разрешением. Используя данные, предоставленные спутниками Sentinel-2, исследователи и специалисты могут проводить более детальное изучение динамики растительного покрова, эффективно контролировать состояние почв и сельскохозяйственных культур, а также совершенствовать методы управления земледелием и планирования севооборота.

Первым этапом работы стало создание нейронной сети для автоматического определения границ сельскохозяйственных полей. Использование инстанс-сегментации для автоматизированного картирования полей помогает предотвратить ухудшение состояния сельскохозяйственных земель благодаря точному распознаванию и дифференциации различных культур и типов почв в рамках выделенного поля. Пример прогнозов модели, которая автоматически определяет границы полей, можно увидеть на полученных изображениях, представленных на рисунке 1.



Рис. 1. Пример предсказаний модели сегментации

Следующим этапом стала идентификация видов культур с помощью классификации, что способствует борьбе с деградацией сельскохозяйственных угодий, предоставляя подробную информацию о разновидностях культур и их текущем состоянии. Примеры прогнозов модели классификации, которая автоматически определяет различные виды культур, представлены на рисунке 2.

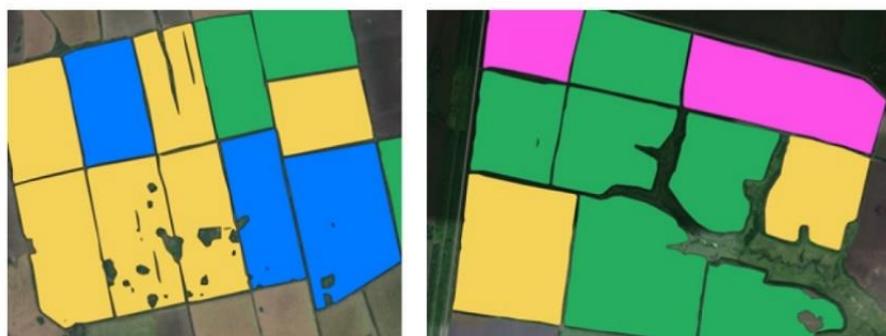


Рис. 2. Пример предсказаний модели классификации

В результате работы была обучена модель машинного обучения для выявления границ сельскохозяйственных полей с использованием инстанс-сегментации, что позволяет провести последующую классификацию культур с целью улучшения состояния земель и минимизации риска деградации почв. В ходе обучения нейросетевых моделей были достигнуты следующие показатели: точность определения границ полей

и типов культур составила 0,974 и 0,898 соответственно. Эти результаты свидетельствуют о высокой точности обученных моделей, что может быть применено для разработки стратегий улучшения качества почв и обеспечения продуктивности сельскохозяйственных угодий в долгосрочной перспективе.

Исследование демонстрирует потенциал применения автоматического мониторинга для повышения точности и эффективности управления землями сельскохозяйственного назначения. Более того, данные подходы могут способствовать разработке инновационных решений в сфере агротехнологий, что будет способствовать улучшению качества продукции и устойчивости аграрных систем на глобальном уровне. Таким образом, автоматический мониторинг может предотвратить ухудшение состояния сельскохозяйственных земель.

Литература

1. Bucci G., Bentivoglio D., Finco A., Belletti M. Exploring the impact of innovation adoption in agriculture: how and where Precision Agriculture Technologies can be suitable for the Italian farm system? // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2019. V. 275. №. 1.
2. Shamin A., Frolova O., Makarychev V., Yashkova N., Kornilova L., Akimov A. Digital transformation of agricultural industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2019. V. 346. №. 1.
3. Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review // IEEE Access. 2020. V. 9. P. 4843–4873.

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Фахртдинова С.З.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: sabinafaxry@itmo.ru

Аннотация

В исследовании проанализирован опыт применения предиктивных систем контроля выбросов загрязняющих веществ. Рассмотрены стандарты применения этих систем в ЕС и США. Представлены ответы участников рынка предиктивных систем касательно использования предиктивной аналитики на производстве.

Ключевые слова

Предиктивная система, автоматическая система непрерывного контроля выбросов, выбросы загрязняющих веществ, загрязнение атмосферы, наилучшие доступные технологии.

В ИТС НДТ 22.1 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения» в области мониторинга выбросов загрязняющих веществ в атмосферу рассматриваются следующие методы контроля промышленных выбросов:

- прямые измерения;
- косвенные параметры;
- коэффициенты выбросов;
- метод материального баланса;
- предиктивные методы.

К предиктивным методам относятся предиктивные системы контроля выбросов (ПСКВ) загрязняющих веществ в атмосферу [1]. ПСКВ не может непосредственно измерять концентрации загрязняющих веществ, но она, основываясь на эмпирической модели, может спрогнозировать уровень выбросов, используя полученные данные от измерительных установок [2]. По оценкам исследователей, мировой рынок ПСКВ активно развивается и будет иметь среднегодовой темп роста более 7,2%, а также достигнет 14,2 млрд долларов США к концу 2030 года. В настоящее время лидирующими регионами применения ПСКВ являются Северная Америка и Европа [3].

Финский центр технических исследований VTT провел масштабное исследование касательно применения ПСКВ на территории Европы. Контролирующим органам в области экологии стран Европы была направлена анкета, содержащая следующие вопросы:

1. Используется ли ПСКВ в вашей стране?
2. Одобрены ли ПСКВ вашими властями для использования при оценке выбросов?
3. Каким вы видите будущее ПСКВ?

Исследователи получили ответы, которые представлены в таблице [4].

Из ответов можно сделать вывод, что ПСКВ широко используются в Нидерландах и Дании, при соблюдении ряда условий - в Великобритании, а во Франции, Германии и Италии ПСКВ широко не используются.

Ответы контролирующих органов в области экологии стран Европы на анкету исследователей VTT касательно применения ПСКВ

№	Страна	Полученный ответ
1	Дания	<p>1. ПСКВ разрешено использовать в газовых турбинах и для оценки NOx. Как на суше, так и на морских платформах.</p> <p>2. Существует датское руководство по применению ПСКВ. В Дании есть небольшая фирма, производящая ПСКВ - Weel & Sandvig.</p> <p>3. Это определено будущее для оффшорных целей, трудно сказать, как насчет применения на суше, возможно</p>
2	Нидерланды	<p>1. и 3. ПСКВ широко используются в Нидерландах, большинство ПСКВ предназначены для мониторинга NOx.</p> <p>2. В Нидерландах существует собственное руководство по использованию и обеспечению качества данных ПСКВ. Этот документ используется в качестве справочного документа для Рабочей группы 37</p>
3	Германия	<p>1. Нет, ПСКВ не используется в Германии в качестве обычной системы мониторинга.</p> <p>2. ПСКВ не одобрен властями Германии.</p> <p>3. Предстоит проделать большую работу по использованию ПСКВ в очень сложных условиях работы электростанций и газотурбинных установок Германии</p>
4	Италия	<p>1. и 3. В Италии ПСКВ широко не используется и, скорее всего, не будет использоваться и в будущем. Относительно легко записать все необходимые параметры для процессов, но как их учитывать, например, при сбоях в системе борьбы с выбросами (это не проблема для NOx).</p> <p>2. ПСКВ может использоваться для ориентировочных измерений, но не для официальных измерений</p>
5	Франция	<p>1. Некоторые ПСКВ использовались на установках для сжигания топлива (нефти и газа).</p> <p>2. ПСКВ недостаточно хорошо рассматриваются Министерством окружающей среды. ПСКВ может использоваться только для измерения выбросов в процессе сгорания, а также для определения NO и CO.</p> <p>3. Министерство окружающей среды Франции не одобряет такого рода процессы мониторинга</p>
6	Великобритания	<p>1. Да, ПСКВ используются в Англии, но их применение ограничено компрессорными турбинами в национальной газораспределительной системе для оценки выбросов NOx.</p> <p>2. Мы разрешаем их использование, если оператор может продемонстрировать, что ПСКВ дают достоверные результаты. Мы применяли руководящие принципы USEPA неофициально.</p> <p>3. Наша позиция заключается в том, что оператор может использовать их в тех случаях, когда автоматическая система непрерывного контроля выбросов (АСНКВ) сложны в использовании и когда ПСКВ обеспечивают достоверные результаты. Они также потенциально могут использоваться в качестве резервных систем, когда АСНКВ не работает</p>

В РФ ПСКВ тоже не получили распространения. К возможным сдерживающим факторам распространения ПСКВ на территории РФ можно отнести:

- отсутствие нормативной базы, регламентирующей сферу применения ПСКВ;

- отсутствие нормативной базы, регламентирующей правила создания, эксплуатации и требования к ПСКВ;
- отсутствие требований к метрологическому обеспечению ПСКВ;
- отсутствие опыта эксплуатации ПСКВ.

В рамках данного исследования проведен опрос участников рынка ПСКВ. Цель опроса – определения текущего уровня состояния развития ПСКВ, установление контролируемых газов и оценка будущего положения этих систем в мире. Составлен анкетный лист, который был направлен выбранным игрокам рынка: ABB, CMC Solutions, Hint Global, Technology Edge, Advantech Sensor, Durag Group, Weel & Sandvig, General Electric, Siemens, Parker, Sick, Emerson, Метран, Enviro Technologies, HORIBA, Acoem Ecotech, OPSIS, ENCO, ENVILYSE, ECM ECO Monitoring, AAVOS, Sequopro, KULL INSTRUMENTS, Referans Çevre Teknolojileri, Trace Environmental Systems, Future CEMS, Thermo Fisher Scientific и Baker Hughes Company.

Анкетный лист содержал следующие вопросы:

1. Для каких объектов и предприятий нацелено ваше производство ПСКВ?
2. На какую нормативную документацию вы опираетесь при производстве ПСКВ? Поддерживается ли их использование на государственном уровне? Можете ли вы дать ссылки на эти нормативные документы?
3. Как осуществляется метрологическое обеспечение ПСКВ? Как проверяется точность систем при выпуске из производства и при эксплуатации?
4. Оцените, пожалуйста, будущее положение ПСКВ в мире. Какие драйверы роста и препятствия есть на пути их развития?
5. Могут ли ПСКВ, по вашему мнению, составить конкуренцию АСНКВ сейчас и в будущем? Почему?
6. Дополнительные комментарии по данной теме.

Ответы получены от следующих респондентов: ABB, CMC Solutions, Hint Global, Technology Edge, Durag Group и Siemens. Все ответы проанализированы и суммированы в несколько пунктов.

Объекты и предприятия для ПСКВ. Участниками опроса выделены следующие установки для применения ПСКВ:

- источники выбросов после сжигания газообразного топлива или мазута,
- котлы,
- турбины,
- биогазовые установки,
- сушилки,
- технологические нагреватели,
- печи по производству олефинов,
- нагреватели на сырой нефти,
- вращающиеся печи,
- морские суда,
- оффшорные платформы,
- установки регенеративного химического окисления.

Респонденты подчеркнули, что ПСКВ могут применяться в качестве альтернативы инструментальному контролю в обоснованных случаях.

Нормативная документация по ПСКВ. В ответах респонденты ссылались на два стандарта в области мониторинга выбросов в атмосферу:

1. Свод федеральных нормативных актов, раздел 40 «Охрана окружающей среды», Часть 60 «Стандарты производительности для новых стационарных источников», Технические характеристики (PS-16).

2. CEN/TS 17198:2018 «Выбросы из стационарных источников - Системы прогнозирования выбросов (PEMS) - Применимость, исполнение и обеспечение качества».

Первый документ относится в Своду федеральных нормативных актов США. В нем содержатся технические характеристики PS-16, которые стали первым задокументированным документом касательно метрологического обеспечения ПСКВ в мире. Второй документ CEN/TS 17198:2018 распространен в странах Европы и является опорным при внедрении ПСКВ на производство.

Прогнозируемые параметры. Большинство участников опроса ответили, что ПСКВ используют при определении показателей выбросов NO, NO₂, SO₂, CO, CO₂, углеводородов, окисляющих компонентов (O₂) и других загрязняющих веществ.

Метрологическое обеспечение. На вопрос о метрологическом обеспечении ПСКВ все участники опроса ссылались на техническую спецификацию USEPA PS-16, которая содержится в Своде федеральных нормативных актов США.

Будущее положение ПСКВ в мире. Респонденты отметили, что усиление экологических требований, ESG повестки в мире неизбежно приведет к тому, что ПСКВ будут пользоваться большим спросом в силу экономических показателей, простоты обслуживания, а также скорости внедрения. Будущее ПСКВ будет зависеть от нормативных документов и определении областей применения. В области, где применение АСНКВ невозможно, ПСКВ будут актуальны.

ПСКВ как конкурент АСНКВ. Эксперты утверждают, что внедрение ПСКВ именно взамен АСНКВ более чем экономически оправдано. Врезка и наладка инструментальных способов предполагает большой объем капитальных затрат, тогда как внедрение программных продуктов будет кратно меньше.

Результаты опроса показали, что, по мнению участников рынка ПСКВ, предиктивные системы могут применяться в обоснованных случаях в качестве альтернативы инструментальным методам. В качестве нормативной базы для внедрения и эксплуатации ПСКВ эксперты рассматривают стандарты США и ЕС. Было отмечено, что будущее ПСКВ определено в области, где применение АСНКВ невозможно.

В данной работе показано, что рынок ПСКВ быстро развивается и достигнет \$14,2 млрд к 2030 году. Определено, что область для быстрого развития для этих систем - нефтегазовая сфера. Нидерланды, Великобритания и Дания находятся в топе по использованию ПСКВ, а в Германии и Италии ПСКВ не получили широкого распространения. В результате проведенного опроса определено, что ПСКВ могут применяться в качестве альтернативы инструментальному контролю в обоснованных случаях при определении показателей выбросов NO, NO₂, SO₂, CO, CO₂ в атмосферу. При метрологическом обеспечении ПСКВ зарубежными компаниями за основу берется спецификация США PS-16.

Литература

1. ИТС 22.1-2021 ИТС НДТ 22.1-2021 Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения [Электронный ресурс]. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDo csDetail.php? UrlId= 1647&et kstructure_id=1872 (дата обращения: 27.04.2023).
2. Система предиктивного мониторинга выбросов [Электронный ресурс]. URL: <https://cronosgroup.kz/ekologicheskiy-monitoring/sistemy-avtomaticheskogo-kontrolya-vybrosov/data cems-sistema-prediktivnogo -monitoringa-vybrosov/> (дата обращения: 27.04.2023).
3. Predictive Emission Monitoring Systems Market [Электронный ресурс]. URL: <https://www. marketresearchfuture.com/ reports/predictive- emission-monitoring-system-market-8005> (дата обращения: 27.04.2023).

4. Olli Antson, Tuula Pellikka. Predictive Emission Monitoring Systems, PEMS and their acceptance and use in Europe, research report [Электронный ресурс]. URL: <http://mmeafinalreport.fi/files/MMEA%20WP4%20D4.2.2.5%20Predictive%20Emission%20Monitoring%20Systems%20PEMS%20and%20their%20acceptance%20and%20use%20in%20Europe.pdf> (дата обращения: 27.04.2023).

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ

Ференцева М.К.¹

Научный руководитель – к.б.н., доцент Несмелова Н.Н.¹

¹ – Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Аннотация

В настоящее время значимую роль в сознании человека занимает экологическая культура. Она формируется не только посредством проведения учебно-воспитательной работы в образовательных учреждениях, но и благодаря общественной включенности. Этот вопрос требует пристального внимания. Поэтому актуально изучение структуры экологического сознания молодежи.

Ключевые слова

Экология, экологическая культура, молодежь, экологическое сознание.

В настоящее время значимую роль и влияние на становление и закрепление в сознании человека занимает экологическая культура. Она формируется не только посредством проведения учебно-воспитательной работы в образовательных учреждениях, но и благодаря общественной включенности.

Массмаркет, доверху наполненный экологичными товарами, проводимые экологические акции в поддержку защиты природы – все это, несомненно, оказывает влияние на формирование экологической культуры современного общества.

Проблема взаимоотношений человека и природы стоит остро с давних времен, однако актуальной она остаётся и по сей день.

В издании Дерябо С.Д., Ясвина В.А. «Экологическая педагогика и психология» говорится о том, что на каждом этапе пути развития отношений между человеком и природой складывалось особое экологическое сознание, свойственное конкретному этапу выстраивания отношений [1, 2]. Это еще раз подчеркивает тот факт, что принадлежность к месту и времени оценивания экологической ситуации играет важную роль в анализе состояния экологической культуры.

Проблема данного исследования заключается в динамичности экологической культуры современной молодежи и ее малоизученности.

В современном мире понятие «экологический» наделено не только стандартным пониманием, но и имеет больший смысл. Для раскрытия термина экологический возникает необходимость обращения к исходному слову такому как экология [3].

Так, в экологическом словаре термин экология трактуется как «синтетическая биологическая наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания».

Отсюда экологический – «относящийся к окружающей среде, как правило, с оттенком сохранения ее природных качеств и роли в жизни людей».

В нынешнее время стало популярным добавлять приставку эко- не только к понятиям, связанным с природными качествами, но и к обыденным вещам, например, товарам массового производства с целью роста их продаж. Взять к примеру различные магазины, а то и сети супермаркетов, которые предлагают экологичные товары – от пищевых до товаров бытового пользования (уходовые средства, текстильные изделия наподобие шоперов, товары для ухода за домом – экологические чистящие средства).

Сейчас термин экологический больше тренд, однако из-за этого он не теряет своего благого посыла. Благодаря внедрению в жизнь общества эко-вещи и трактование экологии как тренда происходит побуждение огромных масс людей на заботу не только о себе, но и об окружающей их среде.

С течением времени забота о себе приравнивается к заботе об окружающем, таким образом на бессознательном уровне у людей формируется экологическое сознание.

Исследование экологического сознания – сложный социальный феномен. Сложность обуславливается трансформацией, формированием и закреплением отношений «общество-природа». Гармонизация таких отношений зависит напрямую не только от экологической ситуации в мире, но и действиями человека на пути к выстраиванию правильной модели поведения по отношению к природному.

Фокусируясь на определенной категории, а именно, современная молодежь, важно отметить, что их включенность в формирование экологической культуры общества в целом доставлено велика.

Вовлеченность в проводимые мероприятия, направленные на «сбережение» природного, подтверждается результатами социологического исследования.

Для определения уровня экологической осознанности была сформирована анкета для проведения онлайн-анкетирования, которое отвечало следующим задачам:

1. Определение уровня понимания терминологии, используемой повсеместно.
2. Достоверность знаний относительно встречающихся в жизни экологических товаров, услуг, действий.
3. Степень участия в заботе об экологическом и доля присутствия экологического в жизни студента.
4. Наличие/отсутствие осознанности при пользовании экологическим.
5. Уровень экологического сознания и принципы его формирования.
6. Определение наличия факторов, влияющих на формирование экологического сознания.

Опрос проводился на онлайн-площадке в социальной сети «ВКонтакте». Выбор платформы для опроса обусловлен тем, что сейчас 90% представителей категории молодежи так или иначе имеют доступ к социальным сетям и проводят там немало времени.

Опрашиваемая категория – лица, обучающиеся в высших учебных заведениях, возрастная категория от 18 до 28 лет, проживающие в городе Томске.

Ключевые результаты опроса:

1. Участие в экологических акциях принимает 43 человека из 69 опрошенных. В опросной форме под экологической акцией понималось как коллективное мероприятие по сбору мусора, так и замена пластиковых пакетов на текстильные шопперы, одноразовых стаканов под кофе на многоразовую термочашку и так далее.
2. У большинства опрошенных под «экологичным» понимается то, что содержит в себе приставку эко-, не приносит вред природе и является частично натуральным.
3. Для улучшения экологической ситуации в регионе большая часть молодежи, заполнившие анкету, готовы принимать участие в экологических акциях и сдавать мусор на переработку.
4. Идеальная экологическая обстановка по мнению опрошенных та, что не оказывает вредоносного воздействия на природную среду.

Выводы

Проведено онлайн-анкетирование, по результатам которого определено текущее состояние экологической культуры и ее место в сознании молодежи. По результатам проведенного опроса можно также заключить, что экологическая культура современной молодежи динамична и неоднозначна, находится во влиянии внешних факторов и имеет способность как к положительной, так и к отрицательной динамике. В дальнейшем планируется проведение социального эксперимента, направленного на выявление факторов, влияющих на формирование экологической осознанности молодежи, для определения формы воздействия на нее, а также способов влияния на экологическую культуру в целом.

Литература

1. Дерябо С.Д., Ясвин В.А. Экологическая педагогика и психология. Ростов-на Дону: «Феникс». 1998. 480 с.
2. Ясвин В.А. Формирование экологической культуры не сводится к экологическому образованию / Ясвин В.А. // бюллетень Центра экологической политики России «На пути к устойчивому развитию России» №34, 2006 [Электронный ресурс]: электрон. журн. URL: http://www.ecopolicy.ru/upload/File/Bull_34ru.pdf (дата обращения: 10.12.2022).
3. Академик. Экологический словарь терминов, [Электронный ресурс]: URL: <https://ecolog.academic.ru/2243/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F> (дата обращения: 12.02.2023).

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ФРЕОНОВ

Хованская Ю.С.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: uliya.hovanskaya@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИРМА №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация

В данной работе приводится обоснование выбора источника излучения для экспериментального образца, построенного на основе спектроскопии комбинационного рассеяния для фреонов. Вместе с этим приводится описание самого метода, а также необходимые компоненты и исследуемые виды материалов, типы используемых источников излучения, а также оптимальные длины волн. Было проведено сравнение эффективности различных лазеров при разнородных изучаемых свойствах веществ.

Ключевые слова

Рамановская спектроскопия, фреоны, источник излучения, длина волны, комбинационное рассеивание.

Спектроскопия комбинационного рассеяния основана на явлении рассеяния света, которое происходит при взаимодействии света с молекулами вещества. При поглощении фотона молекула поглощает энергию и переходит в возбужденное состояние. Затем молекула испускает фотон, который имеет частоту, отличную от частоты поглощенного фотона. Это явление называется также рамановским рассеянием в честь учёного, обнаружившего это явление, Ч.В. Рамана.

Рамановская спектроскопия может использоваться для анализа различных типов материалов, включая органические и неорганические соединения, полимеры, биологические образцы, минералы и металлы. Данный метод является неразрушающим и быстродействующим, в связи с этим широко применяется в научных исследованиях, анализе качества продукции, медицине, криминалистике и других областях. Рассеянный свет имеет уникальный спектр, который зависит от химического состава, и позволяет определить характеристики вещества, такие как строение и конфронтация, состояние и т.д. Большая часть рассеянного света имеет ту же длину волны, что и лазерный источник, и не дает никакой информации о свойствах изучаемого объекта, однако небольшое количество света рассеивается на разных длинах волн (или цветах), которые зависят от химической структуры анализируемого вещества – это называется рамановским рассеянием [1].

Основными компонентами рамановского спектрометра являются:

1. Лазерный источник излучения - используется для возбуждения молекул образца и получения рамановского рассеяния.
2. Монохроматор - используется для разделения рамановского рассеяния на различные длины волн.
3. Детектор - используется для определения интенсивности рамановского рассеяния.
4. Образец - используется для изучения его рамановского спектра.
5. Оптические элементы - используются для направления света на образец и сбора спектра рамановского рассеяния.

б. Компьютер и программное обеспечение - используются для обработки и анализа данных рамановского спектра.

Исследование спектров фреонов в рамановской спектроскопии можно осуществлять при помощи различных источников излучения, в зависимости от требуемой чувствительности и характеристик исследуемого объекта. Источник излучения влияет на:

- энергию возбуждения молекул. Источник излучения должен иметь достаточно высокую энергию, чтобы возбудить молекулы в образце. Однако, если энергия излучения слишком высока, это может привести к деструкции образца;
- частоту излучения. Частота излучения должна точно совпадать с резонансной частотой молекулы, чтобы достичь максимальной чувствительности и разрешения;
- интенсивность излучения. Интенсивность излучения должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить достаточный уровень сигнала для анализа [2].

Источник излучения должен иметь достаточно высокую мощность и спектральную чистоту, чтобы обеспечить достаточно интенсивное рамановское рассеяние. Сам по себе сигнал, который представляет собой рамановское рассеяние, очень слаб и составляет около менее 0.01% от излучаемой энергии возбуждения, т.к. на каждые 10⁶-10⁹ фотонов приходится лишь один фотон комбинационного рассеяния, поэтому так важна мощность источника. Например, для анализа жидких образцов часто используют лазеры с длиной волны в ближнем инфракрасном диапазоне, а для анализа твердых образцов могут использоваться лазеры с более короткой длиной волны. Для исследования биологических образцов, таких как ткани или клетки, часто используют лазеры с длиной волны в ближнем инфракрасном диапазоне, так как они могут проникать глубже в образец и не повреждают его. Для исследования жидких образцов можно использовать лазеры с длиной волны в видимом диапазоне, так как они могут проникать в жидкость и не вызывают ее испарения. Таким образом, правильный выбор источника излучения способствует получению максимально качественных и точных результатов исследования образца [3].

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) использует лазерное излучение для возбуждения молекул и анализа рассеянного света. Наиболее распространенным источником излучения для КР-спектроскопии является лазер, который может быть настроен на различные частоты и имеет высокую интенсивность. Также могут использоваться другие источники излучения, такие как световые диоды и лампы с различными фильтрами, но они не пользуются популярностью в связи с тем, что лазеры обладают рядом преимуществ, такими как узкий спектр излучения и высокая мощность, которые позволяют получать четкие и точные спектры.

В рамановской спектроскопии используются лазеры с различными длинами волн, в зависимости от того, какие типы молекул и материалов исследуются. Каждая молекула имеет определенный набор длин волн, на которых происходят рамановские переходы. Для исследования конкретной молекулы необходимо определить спектр комбинационного рассеяния и выбрать длину волны, на которой происходит наибольшее количество рамановских переходов. Если же требуется исследовать несколько различных молекул, то необходимо выбрать длину волны, на которой происходят рамановские переходы для совокупности молекул. Для анализа фреонов могут использоваться лазеры с различными длинами волн: 532 нм, 633 нм, 785 нм и 1064 нм.

Наиболее распространенные лазеры – это лазеры на основе аргонового газа (Ar) с длиной волны 488 нм или 514 нм; неодимового стекла (Nd:YAG) с длиной волны 1064 нм; титан-сапфирового кристалла (Ti:sapphire) с длиной волны 785 нм или 532 нм; диодов (LD) с длиной волны 785 нм или 532 нм. Используемые длины волн отличаются в основном по трем параметрам: эффективность возбуждения, флуоресценция и тепловое влияние на вещество. Чем больше длина волны, тем меньше будет сказываться флуоресценция, однако при большей длине волны с наибольшей вероятностью

происходит нагрев исследуемого вещества. При 532 нм вещество нагревается незначительно, его испарение маловероятно, при 1064 нм вещество начинает сильно нагреваться, кипеть и испаряться при отсутствии мощных охлаждающих элементов, поэтому следует внимательно отнестись к выбору длины волны. Также при увеличении длины волны интенсивность комбинационного рассеяния уменьшается пропорционально четвертому порядку, что свидетельствует о разнице в 16 раз между 532 и 1064 нм.

Одним из важных явлений, негативно сказывающихся на окончательных результатах исследования является флуоресценция. Флуоресценция – это процесс поглощения, а меньшее количество молекул поглощается в ближнем инфракрасном диапазоне (785 нм и 1064 нм). Флуоресценция может исходить от образца, подложки или оптических элементов, таких как объектив. Вероятность возникновения флуоресценции гораздо выше, чем комбинационного рассеяния, что приводит к гораздо более интенсивному сигналу, который может эффективно скрывать комбинационный сигнал. Данный эффект проявляется при анализе образца. Флуоресценция может перекрыть часть полезного спектра, так на длинах волн 532 и 633 нм влияние флуоресценции более выражено, чем на 785 или 1064 нм. На двух последних данный эффект ослабевает и может стать практически незаметным или вообще исчезнуть. Это связано с тем, что на данных длинах волн недостаточно энергии для возбуждения молекул флуоресценции. Существует метод решения негативного влияния флуоресценции – фотообесцвечивание, оно снижает все флуоресцентные сигналы до минимально возможного уровня.

Длина волны 532 нм обладает высокой эффективностью возбуждения, чувствительностью и высоким качеством получаемого изображения. Благодаря данным характеристикам можно увидеть даже малейшее изменение в молекулярной структуре фреонов, распознавать различные компоненты фреонов, а также получать более точные результаты при анализе вещества. Однако на этой длине волны возможна флуоресценция. Возбуждение с длиной волны 532 нм особенно хорошо подходит для изучения оксидов металлов и неорганических материалов.

Длина волны 633 нм находится в видимой области спектра, что позволяет наблюдать спектры с помощью обычных оптических элементов, таких как линзы и зеркала. В основном используется для исследований тканей в медицинских задачах. Она обладает чуть меньшим влиянием флуоресценции, чем 532 нм, но время анализа образца увеличивается в 4 раза.

Длина волны ближнего инфракрасного диапазона - 785 нм - отличается от предыдущих подавлением флуоресценции и небольшим тепловым влиянием. Однако мощности возбуждения на данной длине волны достаточно для получения хороших результатов.

Длина волны 1064 нм обеспечивает максимально возможное подавление флуоресценции, но обладает наибольшим тепловым эффектом в связи с требованием максимальной мощности лазера, что увеличивает риск повреждения или кипения образца и потребует дополнительной осторожности и охлаждающих элементов. Типичные образцы, для которых требуется лазер с длиной волны 1064 нм, включают красители, пигменты и пищевые масла.

Вследствие вышеизложенных фактов, для исследования фреонов не следует брать длину волн 1064 нм из-за большого времени анализа и низкой разрешающей способности, а также 633 нм, т.к. влияние флуоресценции остается на высоком уровне по сравнению с 532 нм, однако при 532 нм разрешающая способность и эффективность возбуждения являются максимальными. 532 нм позволяет получить максимально качественные иллюстрации спектра комбинационного рассеяния и высокой скоростью анализа. В свою очередь 785 нм обладает лучшим балансом между эффективностью рассеяния, влиянием флуоресценции, эффективностью детектора и доступностью экономичных и компактных высококачественных лазерных источников.

Помимо вышеперечисленных отдельных длин волн существуют также лазеры с возможностью перестройки длины волны в широком диапазоне. Они позволяют минимизировать негативное влияние таких параметров, как флуоресценция и поглощение элементом тепла, и уменьшить скорость анализа. Для исследования фреонов следует использовать длины волн 532 нм и 785 нм и, при возможности, анализировать вещество с помощью двух разных длин волн.

Литература

1. Спектроскопия / Беккер Ю. пер. с нем. Казанцевой Л.Н. под ред. Пупышева А.А., М. Поляковой В. Москва: Техносфера. 2009. 527 с.: ил., табл.; 25 см. (Мир химии; 4 (11)).; ISBN 978-5-94836-220-5 (в пер.).
2. Асеев В.А., Бабкина А.Н., Миронов Л.Ю., Нурьев Р.К. Спектроскопические методы исследования материалов фотоники. СПб: Университет ИТМО. 2021. 97 с.
3. Попов Е.Э., Виткин В.В. Лазерная спектроскопия биологических объектов Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО. 2022. 46 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПИЩЕВЫМИ ОТХОДАМИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Хуторная Ю.А.¹, Сергиенко О.И.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

1 – Университет ИТМО

e-mail: khutornaia@itmo.ru

Аннотация

В работе рассматривается оценка воздействия на окружающую среду различных сценариев обращения с пищевыми отходами организаций общественного питания, расположенных на территории Васильевского острова Санкт-Петербурга. При выборе наилучшего сценария обращения с отходами предпочтение в первую очередь должно отдаваться методу, наиболее приоритетному с точки зрения известной иерархии отходов. Однако важнейшими критериями для выбора того или иного сценария должны стать экологические показатели воздействия, которые количественно можно оценить на основе выполнения полной оценки жизненного цикла (ОЖЦ). Для частичной экологической оценки сценариев в жизненном цикле в работе рассматривается потенциал глобального потепления (ПГП). В рамках исследования оцениваются четыре альтернативных варианта управления: существующая система, основанная на неэффективном раздельном сборе и последующем захоронении, и три альтернативы, включающие раздельный сбор пищевых отходов.

Ключевые слова

Сценарий обращения с отходами, оценка жизненного цикла, потенциал глобального потепления, пищевые отходы, переработка отходов, корма для животных, удобрения.

Актуальность работы обусловлена тем, что одной из основных проблем переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) является плохая сортировка или ее полное отсутствие, что и создает проблемы из-за присутствия в ТКО пищевых отходов [1]. Раздельный сбор пищевых отходов и их переработка позволяет эффективно перерабатывать другие полезные фракции ТКО [2]. Выбор наилучшего сценария обращения с отходами позволит не только снизить их негативное воздействие на окружающую среду, но и превратить их в ценное вторичное сырье. В работе на примере Василеостровского района Санкт-Петербурга, произведена оценка возможных сценариев обращения с пищевыми отходами. Для выбора оптимального варианта, в первую очередь, необходимо проанализировать существующую инфраструктуру и имеющиеся в распоряжении технологии, местные условия на рассматриваемой территории, определить источники образования отходов и их характеристики.

Васильевский остров является самым густонаселенным районом Санкт-Петербурга, общей площадью – 10,9 км² и плотностью населения 13,3 тыс. человек на 1 кв. км. Район имеет недостаточную сеть автомобильных дорог общей протяженностью 86,9 км и сложную транспортную ситуацию. Транспортное сообщение с остальной частью города осуществляется через 6 автомобильных мостов, с ограничением движения для грузового транспорта.

Основными источниками пищевых отходов среди организаций общественного питания на территории Васильевского острова являются: детские сады - 40 единиц; школы - 25 единиц; рестораны и кафе - около 600 единиц. Объем образования твердых коммунальных отходов по Василеостровскому району оценивается в 79 195 т в год, из них не менее 21 700 т составляют органические отходы. Суммарный объем образования пищевых отходов составляет около 7078 т ежегодно.

В настоящее время схема обращения с отходами на территории Василеостровского района предусматривает раздельный сбор пищевых отходов в организациях общественного питания, что частично регулируется действующим СанПиН 1.2.3685-21

[3], однако затем пищевые отходы смешиваются с другими видами отходов и доставляются для дальнейшего захоронения на полигон на расстоянии около 50 км от места образования.

Выбор альтернативных сценариев был произведен для системы раздельного сбора пищевых отходов в организациях общественного питания Васильевского острова, существующей инфраструктуры для переработки отходов и доступных технологий и их аппаратурного обеспечения для организации новых предприятий по переработке. Для сравнительной оценки сценариев был выбран потенциал глобального потепления (ПГП).

Для выбора наиболее оптимального варианта обращения с пищевыми отходами одним из решающих факторов явилось наличие в Санкт-Петербурге аппаратурной инфраструктуры для их переработки. Официальный перечень предприятий для переработки различных видов отходов включает 55 объектов на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области [4]. Эти объекты получили разрешение на сбор, транспортировку, переработку, обезвреживание и размещение отходов I-IV классов опасности. В первом альтернативном сценарии управления пищевыми отходами, образующимися в организациях общественного питания, был рассмотрен вариант ускоренного биокомпостирования на базе установки, используемой на Мусороперерабатывающем заводе (МПБО-2), состоящей из четырех биобарабанов, общей мощностью по переработке 600 т органических отходов за цикл. Расстояние транспортировки отходов принималось равным 50 км. Сценарий предполагает сбор пищевых отходов из организаций общественного питания и их транспортировку на завод МПБО-2 для дальнейшей переработки в компост. Хранение финального продукта переработки предполагается на открытой территории.

Согласно первоначальному проекту, МПБО-2 был ориентирован на переработку биоразлагаемой части ТБО путем биотермического компостирования во вращающихся барабанах в компост для сельскохозяйственного использования [6]. В связи с отсутствием раздельного сбора пищевых отходов и значительным изменением состава отходов за последние 20 лет образующаяся органическая фракция поступает на перерабатывающее предприятие в общем составе ТБО, содержащих компоненты высокого класса опасности. В результате конечный компост загрязнен тяжелыми металлами и не пригоден для использования в сельском хозяйстве по санитарным нормам. Переработка отсортированных пищевых отходов позволит вернуться к первоначальному проекту по переработке отходов в высококачественный компост.

Во втором сценарии был рассмотрен вариант переработки пищевых отходов в корма для животных. Сценарий предполагает сбор и транспортировку отходов на ближайший свиноводческий комплекс ЗАО «Племзавод «Ручьи», временное хранение в холодильных помещениях, дальнейшую высокотемпературную обработку и переработку во влажные корма для животных [5]; расстояние транспортировки отходов принималось равным 49 км. Предприятие работает по замкнутому циклу производства с мощностью 13 тыс. голов свиней в год и обладает необходимой инфраструктурой для хранения и переработки отходов во влажные корма.

В третьем сценарии рассмотрено применение сушки пищевых отходов с получением удобрения. Поскольку Васильевский остров находится в историческом центре Санкт-Петербурга и является изолированным островом, сценарий предполагает организацию нового предприятия по переработке отходов в высококонцентрированные удобрения в непосредственной близости к местам образования отходов на территории района. Метод переработки основан на сушке с использованием установки Gaia производства Южной Кореи мощностью по переработке 20 тонн в день. Согласно информации производителя, данная технология сочетает в себе процессы измельчения, обезвоживания и стерилизации, что приводит к снижению массы отходов до 85-90%. Поскольку готовый продукт переработки обладает повышенной ценностью, в сценарий был включен этап упаковки и хранения в сухом помещении.

Для каждого из четырех сценариев обращения с пищевыми отходами на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга [6] был произведен расчет входных материальных и энергетических потоков в границах рассмотренных производственных систем. По результатам инвентаризационного анализа в соответствии со стандартами ISO 14040 и ISO 14044 [7] была проведена оценка ППП. Последовательность выполнения расчета ППП в жизненном цикле включает четыре основных этапа:

- 1) определение цели и области применения ОЖЦ;
- 2) выполнение инвентаризационного анализа;
- 3) непосредственный расчет показателей воздействия;
- 4) интерпретация результатов и составление отчетности.

Цель исследования была определена, как выбор наилучшего сценария, т.е. наиболее устойчивого с точки зрения управления пищевыми отходами. В качестве критерия оценки устойчивости каждого из сценариев был выбран объем выбросов CO₂ в т-экв на одну тонну пищевых отходов.

Для всех сценариев в границы производственной системы были включены все виды деятельности, связанные с обращением с отходами: транспортировка отходов, предварительное хранение, обработка, упаковка и последующее хранение. При транспортировке отходов учитывались тип грузовика, используемого для перевозки, вес перевозимого материала, расход топлива и расстояние от места сбора пищевых отходов до места переработки. Для расчетов, связанных с энергопотреблением был учтен тип электроэнергии и способ ее генерации, характерный для данной территории.

Для выполнения расчетов процессы были смоделированы с использованием программного обеспечения Gabi и дополнены с литературным обзором. Были собраны первичные данные для описания технологий обработки отходов (данные, связанные с использованием материалов, энергии и образованием выбросов), местоположения, занимаемой территории и расстояний до предприятий по переработке.

Оценка негативного воздействия была произведена в упрощенном виде, с учетом только основных факторов негативного воздействия. Были включены потребление электроэнергии и топлива, используемого в технологическом оборудовании. Предшествующие процессы, такие как образование пищевых потерь и отходов в процессе потребления продуктов питания в организациях общественного питания и образование смешанных пищевых отходов, были исключены из рассмотрения. При незначительной разнице в показателях такая система требует дополнения и уточнения параметров.

Система сбора отходов также не учитывалась в границах системы, исходя из допущения, что образование пищевых отходов и система их сбора одинаковы для всех сценариев и, соответственно, будут равны и ППП этих процессов. В качестве функциональной единицы для сравнения сценариев выбрана одна тонна пищевых отходов. Результаты расчетов приведены в таблице.

Сценарий ускоренного компостирования на оборудовании МПБО-2 показал самый высокий уровень воздействия ППП на одну тонну отходов - 1583,02 kg CO₂ eq, второй по величине показатель - 864,96 kg CO₂ eq соответствует текущему методу обращения с отходами, далее 36,516 kg CO₂ eq - переработка на оборудовании Gaia и наименьший показатель 5,18 kg CO₂ eq соответствует сценарию переработки отходов во влажные корма для животных.

Сценарий ускоренного компостирования имеет наибольшее количество выбросов в результате использования старой технологии. Установка МПБО-2 спроектирована в 1987 году. Конструкция не предусматривает улавливания CO₂. Выбросы CO₂ в процессе компостирования суммируются с выбросами CO₂ в результате высокого потребления электроэнергии. Полученный результат показывает, что на данный момент предприятие

полностью устарело, так как оказывает слишком серьезное воздействие на окружающую среду.

Таблица 1

**Значение ПГП для четырех сценариев
обращения с пищевыми отходами, CO₂ кг-экв. на одну тонну**

Сценарий	Транспорт	Переработка	Хранение	Упаковка	Всего
1. Захоронение	2,96	862	-	-	864,96
2. Получение компоста методом ускоренного компостирования	2,96	1580	0,06	-	1583,02
3. Получение влажных кормов	2,96	1,884	0,336	-	5,18
4. Сушка с получением удобрения	0,296	36	0,06	0,16	36,516

Сценарий с переработкой пищевых отходов во влажные корма продемонстрировал наименьшее влияние на ПГП. Сценарий с сушкой отходов и переработкой в концентрированные удобрения, продемонстрировал больший уровень выбросов CO₂ из-за объема электроэнергии, необходимой для переработки.

Несмотря на то, что в представленной системе расчетов сценарий захоронения не был определен, как худший, он также продемонстрировал высокий уровень выбросов CO₂. Важно отметить, что при рассмотрении более широкого спектра критериев оценки и учета таких факторов, как, например, загрязнение воды и почвы, негативное воздействие, связанное с захоронением пищевых отходов на полигонах значительно возрастет.

Выполненная оценка воздействия на окружающую среду четырех сценариев обращения с пищевыми отходами и выбор наиболее устойчивого из них на основе расчета потенциала глобального потепления позволил выявить наиболее предпочтительный вариант для обращения с пищевыми отходами на территории Васильевского острова. В качестве наилучшей альтернативы захоронению пищевых отходов в рассмотренных границах стал метод переработки пищевых отходов с получением влажных кормов для животных.

Литература

1. Единая концепция обращения с ТКО на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. 2021 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://spb-neo.ru/>. (дата обращения: 30.03.2023).
2. Pooja Yadav and Samadder S.R. Life cycle assessment of solid waste management options: A Review // Recent Research in Science and Technology. 2014. № 6(1). С. 113-116.
3. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Введен

- 28.01.2021.
4. Территориальная схема обращения с производственными с отходами производства и потребления. Распоряжение Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга от 13.07.2020 № 193-р.
 5. Dou Z., Toth J., and Westendorf M. Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications // *Global Food Security*. 2018. № 17.
 6. Чусов А., Негуляева Е., Романов М. Оптимизация системы обращения с твердыми отходами в Санкт-Петербурге на основе изучения морфологического состава // *Международная научная конференция «Экология для строительной отрасли»*. 2018.
 7. International Organization for Standardization. ISO 14040 International Standard. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Geneva, Switzerland. 2006.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Шевченко А.А.¹ (магистрант второго года обучения)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹
1 – Университет ИТМО
e-mail: Nastyatimoshevskaya@mail.ru

Работа выполнена по заданию органов государственной власти 2022/2023 учебном году «Оценка экономической и социальной эффективности рынка тепловой энергии на территории Санкт-Петербурга».

Аннотация

Данная работа направлена на оценку эффективности экономической и социальной эффективности рынка тепловой энергии на территории Санкт-Петербурга. Нормативно-правовые акты Российской Федерации направляют информацию о тепловой энергии и разъясняют основные понятия в сфере теплоснабжения. В работе показана история становления теплоснабжения в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Ключевые слова

Теплоснабжение, рынок тепловой энергии, альтернативная котельная, история теплоснабжения, энергоснабжающая организация, эффективность тепловой энергии, оценка теплоснабжения.

Сфера теплоснабжения носит важный характер в жизни города. Цель данной работы состоит в том, чтобы оценить экономическую и социальную эффективность рынка тепловой энергии на территории Санкт-Петербурга. Нормативно-правовые акты в сфере теплоснабжения устанавливает государственная власть. Государство занимается актуализацией информации на рынке тепловой энергии. Информация об основных понятиях тепловой энергии, о методах расчёта тарифа на теплоснабжения носит обязательный характер в сфере теплоэнергетики. На данный момент в Санкт-Петербурге актуален такой метод тарификации как затраты плюс. Тариф формируется исходя из фактических затрат компании за предыдущий год. В современном ценообразовании энергоснабжающие организации стремятся к уменьшению затрат. Но при существовании метода затраты плюс такой заинтересованности у компаний нет. В 2017 году законодательно был закреплён метод альтернативной котельной. Суть метода в том, чтобы подключиться к готовому источнику, а не строить собственный. Данный метод позиционирует себя как способ определения величины тарифа и модель отношений между участниками рынка тепловой энергии [1].

История развития системы теплоснабжения в Санкт-Петербурге берёт своё начало с первой половины двадцатого века. Именно тогда был проложен первый трубопровод от гидроэлектростанции под номером три до девяносто шестого дома на набережные реки Фонтанки. Протяжённость трубопровода была всего 250 метров, но для города это стало поистине знаковым событием. К 1931 году протяжённость теплосети составляла порядка 16 километров. Через восемь лет начала работать круглосуточная диспетчерская служба. А уже на следующий год, в 1940, появился полноценный абонентский отдел для учёта тепловой энергии в Санкт-Петербурге. Великая Отечественная война началась в период подготовки к отопительному сезону 1941-1942 годов. Несмотря на постоянные обстрелы, опасность и голод, инженеры активно ликвидировали повреждения на тепловых сетях и отогревали кострами замёрзшие трубы. 23 февраля 1943 года в блокадном Ленинграде начали получать воду сразу четыре бани. После победы в Великой Отечественной войне перед инженерами стояла задача вернуться к довоенным результатам теплоснабжения в городе. В 1955 году протяжённость тепловых сетей

составляла 142 километра. В 1971 году к тепловым сетям в Санкт-Петербурге было подключено 9526 зданий различного назначения. В северной столице находилось уникальное сооружение, которое не имело аналогов в мировом масштабе. Суздальская тепловая магистраль имела протяжённость 10,7 км от Северной теплоэлектроцентрали до котельной «Парнас». В девяностых годах прошлого века в результате приватизации образовалось АОЗТ «Ленэнерго». В начале октября 2005 года «Ленэнерго» вошло в состав ОАО «ТГК №1» [2].

Перечень компаний составляет порядка 52 организаций в 2023 году. Данные организации снабжают тепловой энергией северную столицу России.

Существующая модель рынка тепловой энергии может быть представлена несколькими вариациями. В первом случае тепловая компания по своим собственным тепловым сетям доставляет тепловую энергию до конечного потребителя. Во втором случае между двумя энергоснабжающими компаниями заключается контракт на предоставление услуг. Компания, которая не имеет собственных сетей, арендует у второй компании тепловые сети и по ним доставляет тепловую энергию для своих потребителей.

Недостатки существующей модели теплоснабжения охватывают всю сферу тепловой энергии. Износ оборудования и, как следствие, повышенная аварийность на тепловых сетях. Чрезмерные потери тепловой энергии при передаче тепла от генерирующих источников к конечным потребителям. Высокая задолженность потребителей тепловой энергии за теплоснабжение. Отсутствие единого центра ответственности перед государством и конечными потребителями в сфере пользования тепловой энергией. Отсутствие механизмов конкуренции на рынке тепловой энергии. Объединение потенциально конкурентных и монопольных видов деятельности в одной организации. Высокая себестоимость теплоснабжения происходит из-за отсутствия эффективного распределения генерирующих источников. Ресурсоснабжающие организации ограничены в источниках финансирования даже при значительном износе оборудования тепловых сетей. Отсутствие полноценного контроля со стороны властей за процессом теплоснабжения в Санкт-Петербурге. На рынке присутствуют низкие показатели качества и надёжности сферы теплоснабжения. Необходимо обратить внимание на недостаточные механизмы ответственности энергоснабжающих организаций.

С помощью показателей нынешней системы теплоснабжения можно составить SWOT-анализ (таблица) [3].

С помощью представленного анализа можно наглядно увидеть каждую из сторон современного рынка теплоснабжения в Санкт-Петербурге. Также можно выделить ключевые факторы каждой стороны. Безусловно, сильная сторона – это постоянный и стабильный из года в год спрос на тепловую энергию со стороны потребителей. Здесь спрос будет всегда, сейчас это особенно важно. Слабая сторона – это, конечно же, колоссальный износ оборудования, отсюда вытекают значительные потери как тепловой энергии, так и материальных затрат на восстановление. Основной угрозой вполне можно считать отсутствие источников финансирования. Чаще всего именно из-за нехватки средств происходят проблемы в сфере теплоснабжения у энергоснабжающих компаний. Затраты растут, привлечение кредитных средств становится необходимостью.

В графе «Возможности» необходимо уделить особое внимание метрологическому обеспечению приборов учёта тепла. Большая возможность исходит от внедрения метрологических основ в теплоснабжение. Внедрение централизованного метрологического обеспечения приборов учёта. Метрологическое обслуживание позволит избежать большинство недочётов в сфере теплоснабжения. Отсутствие потерь энергии благоприятно повлияет на экономическую эффективность теплоснабжения, компании смогут вовремя предупреждать потери. Со стороны конечных потребителей возрастет доверие, что положительно скажется на социальном эффекте.

SWOT-анализ сферы теплоснабжения в Санкт-Петербурге

<p>Сильные стороны (Strengths)</p> <ul style="list-style-type: none"> • постоянный спрос со стороны потребителей; • продолжение деятельности в кризисных условиях; • возможность получения государственной поддержки (гос. гарантии, рассрочка налогов, субсидии) 	<p>Слабые стороны (Weaknesses)</p> <ul style="list-style-type: none"> • высокий физический износ оборудования; • значительные потери тепловой энергии при транспортировке; • отсутствие единого центра ответственности; • зависимость ЭСО от субсидий из бюджета города; • разность организационно-правовых форм ЭСО (унитарное предприятие, АО, ООО) накладывает ограничения на возможность привлечения средств путём выпуска ценных бумаг
<p>Возможности (Opportunities)</p> <ul style="list-style-type: none"> • внедрение централизованного метрологического обеспечения приборов учёта тепла; • модернизация рынка теплоснабжения, оптимизация отношений ЭСО, бюджета и потребителей, путём переключения неэффективных источников теплоснабжения на ТЭЦ и создание ЕТРО 	<p>Угрозы (Threats)</p> <ul style="list-style-type: none"> • риск снижения фактического объёма теплоотпуска ЭСО вследствие повышения температуры в зимний период, что ведёт к снижению доходов; • отсутствие источников финансирования текущих затрат, привлечение кредитных средств; • снижение бюджетных инвестиций и субсидий на компенсацию недополученных доходов; • аварийность теплосетей в результате недофинансирования инвестиционных программ

Модернизация системы организации рынка тепловой энергии должна проходить комплексно и поэтапно. В первую очередь нужно выявить неэффективные источники генерации энергии. Такие источники подлежат ликвидации для избавления от неэффективных затрат. Необходимо разработать программы для сокращения затрат на каждой энергоснабжающей организации. Оптимизация трудового процесса, эффективное распределение нагрузки в том числе на генерирующие мощности. Разработка единой теплораспределяющей организации возможна совместно с другими источниками теплоэнергии. Необходимо наделить ЕТРО ответственностью перед всеми участниками процесса теплоснабжения. Единый центр для обращений и оборота тепловой энергии. На всей территории Санкт-Петербурга есть смысл ввести единую ценовую зону. Такая зона даст возможность существовать методу альтернативной котельной. Перед этим важно определить справедливую цену в Санкт-Петербурге. Для привлечения частного капитала к процессу модернизации теплоснабжения нужно заключать энергосервисные контракты с подрядчиками. Такие организации будут заинтересованы в развитии теплоснабжения, ведь достигаемая экономия в денежном эквиваленте будет направляться напрямую к подрядчику для компенсации выполненных работ.

Внедрение модели теплораспределяющей организации поможет концентрации всех процессов теплоснабжения в одной организации. Для полезной работы теплораспределяющей организации нужно выполнить ряд мероприятий. Необходимо

реорганизовать работу ГУП «ТЭК СПб». Имущество компании будет переведено в уставной капитал единой теплораспределяющей организации.

Многообразная сфера теплоснабжения требует особого внимания. Для изменений в лучшую сторону к системе нужно подходить комплексно. Со стороны государства и со стороны общественности должны быть предприняты меры по модернизации рынка тепловой энергии. Главным итогом преобразований теплоснабжения в Санкт-Петербурге будет соблюдение всех требований по транспортированию тепла потребителям. Конечные потребители получат качественные услуги, а энергоснабжающая организация будет увеличивать прибыль.

Литература

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://businessyield.com/ru/marketing/cost-plus-pricing/> (дата обращения 26.04.2023).
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2940 (дата обращения 26.04.2023)
3. Чекалин В.С., Краснова А.В. Развитие рынка теплоснабжения в Санкт-Петербурге // Экономика и бизнес. 2021. с. 220-227.

АПРОБАЦИЯ НОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА НА ОЦЕНКУ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ

Шестель А.А.¹ (студент), **Гаврецкая А.В.¹** (студент), **Николаев Е.М.¹** (аспирант)
Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.

1 – Университет ИТМО
e-mail: shestel@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодegradации», НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

В работе описана методика проведения апробации разработанной установки, позволяющей выполнять оценку биодegradации материалов в условиях аэробного компостирования. Разработанная схема включает в себя проверку работоспособности и герметичности установки, градуировку насоса и контроль работы термостата. Определено необходимое количество реактивов для проведения процесса, а также подобраны компоненты для компостной смеси.

Ключевые слова

Биодegradация, компостирование, стандарт, стадия, биопластики.

По мировым и российским оценкам прирост производства биополимеров значителен и прогнозируется в будущем, это можно видеть на рисунке 1 [1]. Поэтому возможность проведения оценки свойств биополимеров является крайне важной проблемой. В первую очередь это относится к компостируемым материалам. На данный момент на российском рынке отсутствуют инструментальные методы проведения оценки биоразлагаемых материалов, что затрудняет проверку их свойств.

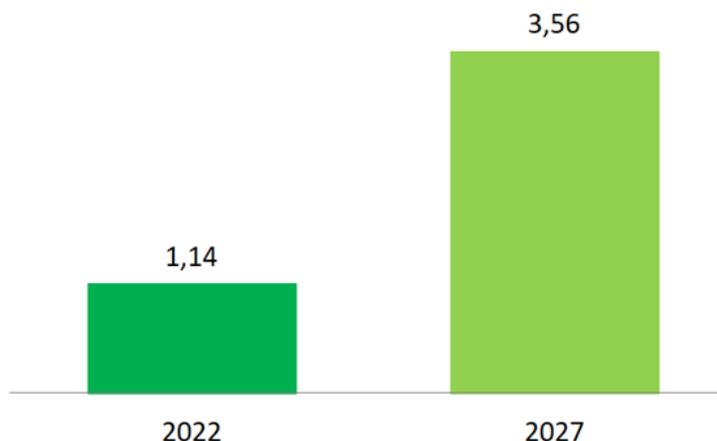


Рис. 1. Прогноз рынка компостируемых пластиков

Целью данной работы являлось создание и апробация разработанной установки на проведение анализа на оценку биоразложения, это было реализовано за счет выполнения следующих задач:

1. Создать установку.
2. Разработать методику работы.
3. Отладить режимы работы.
4. Проанализировать результаты.

На данный момент существует ряд стандартов, которые содержат методики проведения оценки биodeградации материалов в условиях аэробного компостирования. Данные стандарты приведены на рисунке 2. Всего их на данный момент четыре. Основываясь на сложности и дороговизне применяемого оборудования, а также необходимой полноте анализа в качестве основополагающего стандарта для разработки установки был выбран ГОСТ Р 57219-2016 Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 2. Гравиметрический метод анализа диоксида углерода, выделяемого при лабораторном испытании [2]. Важно отметить, что данный национальный стандарт имеет международный аналог – ISO 14855-2, на базе которого уже производится международная сертификация «OK Compost», символ которой приведен на рисунке 3 [3].



Рис. 2. Существующие стандарты



Рис. 3. Обозначение «OK Compost»

Апробация установки включает в себя ряд стадий, первой из них была проверка установки на холостом ходу. Для этого все емкости заполняли водой и осуществляли подачу воздуха в систему. Таким образом, проверялась работоспособность установки.

Следующим важным шагом была проверка элементов системы на герметичность. Для этого осуществляли замеры объема входящего и выходящего воздуха. Их равенство позволяет говорить о герметичности системы. Проведенные испытания подтвердили герметичность системы.

Стандарт не содержит прямого указания на необходимое количество реактивов, поэтому было необходимо убедиться в том, что подобранного количества хватит на все время проведения анализа. Для этого все емкости заполняли реактивами в соответствии со стандартом. Емкость для компостирования оставляли пустой. Проверка выполнялась

без компоста, благодаря этому было возможно сократить время проведения процесса за счет увеличения его скорости. Подача воздуха в установку осуществлялась со скоростью 100 л/ч. Температура процесса поддерживалась $58 \pm 2^\circ\text{C}$. Продолжительность опыта составила 42,5 часа, что эквивалентно проведению процесса при скорости 10 мл/мин в течение 295 суток, а при скорости 30 мл/мин – 98 суток. Про истечение времени эксперимента была проведена визуальная оценка степени отработки реактивов, она составила менее 80%, что позволяет считать данное количество загрузки достаточным для проведения оценки биодegradации с минимальной вероятностью замены реактивов во время эксперимента.

Следующим элементом, подлежащим апробации, является термостат. Необходимо было убедиться, совпадает ли температура в термостате с температурой, которую показывает электронное табло. Для этого термометры помещали в термостат, на пульте термостата выставляли температуру проведения оценки - 58°C . Замеры показаний термометров проводили через равные временные интервалы в 30 минут. Так было выяснено, что, в связи с наличием потерь тепла в окружающую среду, для поддержания температуры 58°C внутри термостата на электронном табло необходимо установить 60°C .

На табло насоса отображается скорость в об/мин, нам же необходимы значения в мл/мин, поэтому было необходимо проведение градуировки. Для этого необходимо найти соотношение между оборотами насоса в минуту и объемом подаваемого воздуха в минуту. На табло насоса устанавливались значения выполняемых им оборотов в минуту с шагом в 10 единиц. Выводящий шланг насоса помещали в цилиндр, заполненный водой, и замеряли объем и время вытеснения воды. Измерения проводились в трех повторностях, для расчетов использовались средние значения. Полученные данные обрабатывались и преобразовывались в градуировочный график, представленный на рисунке 4, на нем дополнительно выделен интересующий нас рабочий интервал.

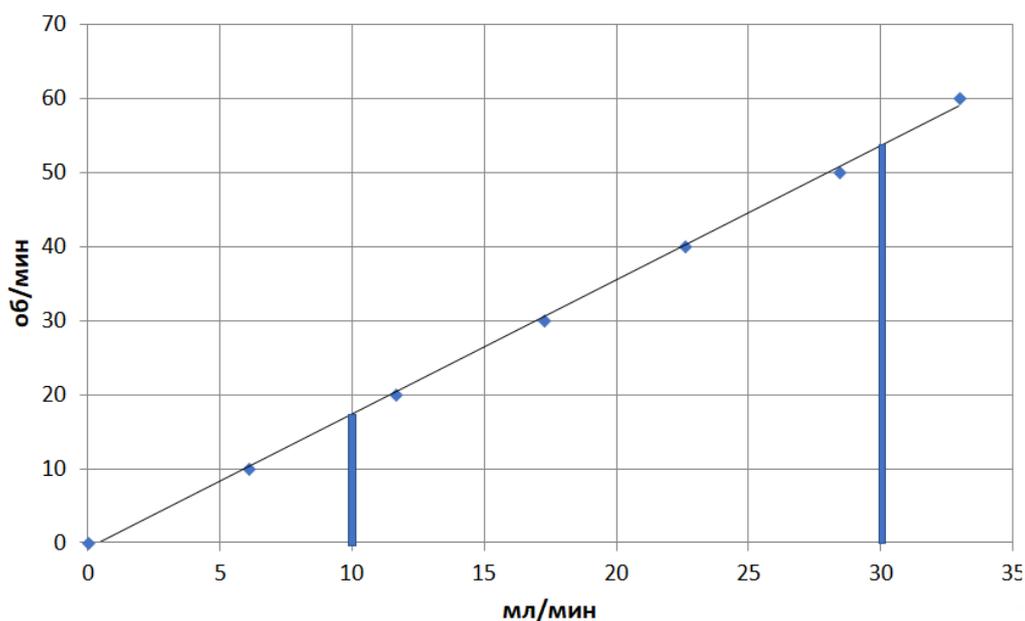


Рис. 4. Градуировочный график

Заключительной стадией стала подготовка компоста. Стандарт содержит требования к его характеристикам. В первую очередь определяет количество компоста в пересчете на сухое вещество и необходимое количество влаги. Компост, используемый в работе, хранился значительное время, поэтому было принято решение о введении дополнительного комплекса бактерий для активации компоста. Также стандарт устанавливает требования к рН компоста: от 7 до 9 единиц. Было выявлено, что

используемый компост имеет более низкие значения рН, поэтому был введен специальный рН корректор, повышающий водородный показатель. В соответствии со стандартом необходимо добавить источник азота, в данной работе это был сернокислый аммоний, и инертный влагоудерживающий материал. В качестве влагоудерживающего материала использовали вспученный вермикулит.

Таким образом, в ходе работы разработана схема апробации установки для проведения оценки биодegradации материалов, включающая в себя:

- 1) проверку на холостом ходу с водой;
- 2) проверку герметичности;
- 3) проверку на холостом ходу с реактивами;
- 4) проверку термостатов;
- 5) градуировку насоса;
- 6) приготовление компоста.

В ходе работы подобрано необходимое количество реактивов для проведения анализа, а также подобраны компоненты для приготовления компоста. Проведена проверка возможности создания и поддержания необходимых условий проведения процесса, а именно температуры, скорости потока воздуха и герметичности. На данный момент установка запущена с исследуемым материалом.

Литература

1. European Bioplastics: Bioplastics market data [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (дата обращения 09.04.2023).
2. ГОСТ Р 57219-2016 Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 2. Гравиметрический метод анализа диоксида углерода, выделяемого при лабораторном испытании. М.: Стандартинформ. 2016. 15 с.
3. OK compost & Seedling [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tuv-at.be/green-marks/certifications/ok-compost-seedling/> (дата обращения: 10.04.2023).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ

Юплова В.В.¹ (магистрант)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцева О.Н.¹

¹ – Университет ИТМО

e-mail: valentina.yuplova@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается возможность уменьшения углеродного следа цепочки производства замороженного полуфабриката «Картофель фри». Проводится анализ исследований, в которых проводилась оценка цепочки производства картофеля фри из разных стран. В частности, рассмотрено два наиболее полных исследования, проведенных в США и Швейцарии. Оба исследования не обладают необходимыми параметрами для формирования рекомендаций по уменьшению углеродного следа, тем самым подтверждая необходимость дальнейшего практического исследования.

Ключевые слова

Картофель фри, углеродный след, замороженные овощные полуфабрикаты, хранение картофеля, хранение замороженных полуфабрикатов.

В современном мире люди зачастую стремятся выбирать здоровую пищу, соблюдать режим и сохранять баланс между удобством и пищевой ценностью продуктов. Однако несмотря на данное стремление, в сознании общественности все еще существует большое количество мифов о питании. В частности, люди привыкли считать, что замороженные продукты потеряли свою пищевую ценность и обладают большим экологическим следом в связи со сложной обработкой, предшествующей этапу хранения [1].

Однако ведя речь о замороженных овощах не стоит забывать о важной детали - не все овощи возможно выращивать круглогодично, или же, зачастую, это попросту невыгодно. В частности, речь идет о картофеле. Специфический годовой цикл агропромышленного предприятия по выращиванию и обработке картофеля способствует постановке задач об оптимизации системы производства для получения продукта высокого качества и пищевой ценности, а также максимальной выгоды, как в денежном, так и в экологическом отношении.

Целью работы является оценка возможности применения существующих мировых практик расчета углеродного следа цепочки производства замороженного картофеля фри.

Для выполнения этой цели, были поставлены следующие задачи:

- провести анализ литературных источников по теме расчета углеродного следа или оценки жизненного цикла замороженного картофеля фри;
- изучить мировой опыт применения методик расчета углеродного следа цепочки производства картофеля фри;
- оценить возможность использования методик для формирования рекомендаций по уменьшению углеродного следа для производителей картофеля фри в РФ.

В качестве объекта исследования была выбрана производственная цепочка изготовления картофеля фри, начиная от этапа выращивания и заканчивая этапом реализации. Данная цепочка удобна тем, что в своем наиболее применяемом варианте имеет два этапа хранения. Первый - этап хранения свежего картофеля в течение 7 месяцев с последующим процессом получения замороженного полуфабриката, второй -

этап производства замороженного полуфабриката и его последующее хранение в течение 7 месяцев.

Расчет углеродного следа является значимой частью оценки жизненного цикла продукции. Уже существующие исследования проводят оценку жизненного цикла различных продуктов из картофеля по принципу “от колыбели до могилы”. Исследование, проведенное в США, рассматривает как жизненный цикл свежего картофеля, так и картофеля фри. Показатель углеродного следа этапа хранения свежего картофеля (как итогового продукта) составляет 0.129 кг CO₂-экв. При этом хранение свежего ресурса для картофеля фри включено в этап производства замороженного полуфабриката и составляет 0.222 кг CO₂-экв.

Таблица

Показатель углеродного следа различных этапов цепочки картофеля фри в США

	Замороженный картофель фри, кг CO ₂ -экв	Свежий картофель, кг CO ₂ -экв
Фермерское хозяйство	0.22	0.15
Производитель/Хранение	0.41	0.13
Реализация	0.25	0.25
Потребитель	0.46	0.44
Обработанные биоотходы	-0.12	-0.0055
Общий углеродный след	1.2	0.97

В таблице представлены результаты расчетов углеродного следа для цепочки производства замороженного картофеля фри и производства свежего картофеля в США на 1 кг потребленного картофеля фри [2]. При проведении сравнительного анализа очевидна разница в объемах. Во-первых, для производства картофеля фри требуется больше картофеля собранного на этапе фермерского хозяйства. Это обусловлено различием в количестве образующихся потерь и отходов. Во-вторых, очевидно различие в этапах производства и хранения, в цепочках замороженного картофеля фри и свежего картофеля соответственно. Это связано с наличием в цепочке производства замороженного картофеля фри процессов заморозки и термической обработки продукта.

В-третьих, в данном исследовании не учтено различие в видах хранения продукта на этапе реализации. На этапе потребителя предполагается повторная термическая обработка картофеля фри и хранение продукта в холодильнике. Объем биоотходов, углеродный след от которых был предотвращен, несравнимо больше в цепочке картофеля фри в связи причинами, обозначенными ранее.

Несмотря на полученные в исследованиях данные, они не могут быть однозначно применимы к выбранным для анализа технологиям производства картофеля фри, поскольку существенно отличаются параметры расчета, так в данном исследовании учтено географическое расположение цепочки, а также отсутствуют временные критерии - расчет был проведен на функциональную единицу продукции.

В исследовании, проведенном в Швейцарии, отдельно вынесен этап хранения свежего картофеля, как ресурса производства замороженного картофеля фри, однако полностью отсутствует упоминание о хранении замороженного полуфабриката [3]. В соответствии с цепочкой, представленной в данном исследовании хранение замороженного полуфабриката производится только в домашнем холодильнике после покупки продукта потребителем.

В данном исследовании общий углеродный след цепочки равен 2.05 кг CO₂-экв. Однако данное исследование не приводит абсолютных численных значений углеродного следа этапов, представляя их лишь в форме графика (рисунок).

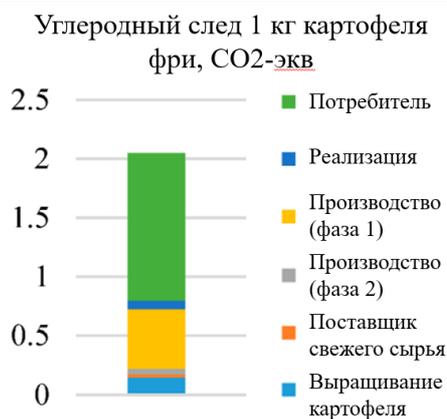


Рисунок. Углеродный след 1 кг картофеля фри, изготовленного и потребленного в Швейцарии [3]

В связи с большими затратами электроэнергии на жарку и функционирование домашнего холодильника, а также предполагаемой длительностью хранения этап потребителя в данном исследовании приносит наибольший вклад в углеродный след. На втором месте находится второй этап производства, включающий в себя жарку и заморозку продукта. В связи с объемами производства углеродный след на 1 функциональную единицу оказывается не так велик. Однако повторяя исследование из США, в данном исследовании отсутствуют временные рамки этапов, полностью отсутствует этап промышленного температурного хранения.

Можно отметить, что данные, представленные в литературных источниках, не дают четкой картины и не применимы для создания рекомендаций по снижению углеродного следа для производителей в Российской Федерации. В связи с этим будет проведено практическое исследование с использованием данных компании, занимающейся производством картофеля фри в РФ. Исследование будет представлять собой сравнительный анализ углеродного следа двух вариантов цепочки производства замороженных полуфабрикатов в двух контрольных точках – 1 и 7 месяцев хранения.

Проведенные исследования позволят дать рекомендации производителям и потребителям замороженного полуфабриката картофеля фри по получению и потреблению продукта с минимальным экологическим следом.

Таким образом, был проведен анализ существующих исследований по вопросам углеродного следа системы производства замороженных полуфабрикатов из картофеля. Выделены различия в результатах исследований, изучающих производственные цепочки, расположенные в разных странах. Установлено отсутствие исследований углеродного следа замороженной овощной продукции в Российской Федерации. Для расчета углеродного следа определены варианты производственных схем и установлены контрольные точки производства замороженного полуфабриката «Картофель фри».

Литература

1. Connell P. M. et al. Negative associations of frozen compared with fresh vegetables // *Appetite*. 2018. V. 127. P. 296-302.
2. Parajuli R., Matlock M. D., Thoma G. Cradle to grave environmental impact evaluation of the consumption of potato and tomato products // *Science of The Total Environment*. 2021. V. 758. P. 143662.
3. Mouron P. et al. Environmental profile of the Swiss supply chain for French fries: Effects of food loss reduction, loss treatments and process modifications // *Sustainability*. 2016. V. 8. №. 12. P. 1214.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОХИМИЯ.....	5
Nairouz Deeb, Georgy Otinov, Al-Abbass Mohamed DEVELOPMENT OF A GENETICALLY ENGINEERED SYSTEM FOR VACUOFECTION BASED ON PROBIOTIC STRIAN ESCHERICHIA COLI NISSLE 1917.....	6
Аксенов Р.Г., Комиссарова А.В. АНАЛИЗ ГЕНОМНЫХ ВАРИАНТОВ КЛЕТОК Escherichia coli K12, УСТОЙЧИВЫХ К ИНФЕКЦИИ ФАГОМ T7.....	9
Ateiah M., Bushaev A.A. DEVELOPMENT OF FLUORESCENT HYBRIDIZATION PROBES FOR HIGHLY SELECTIVE DETECTION OF DOUBLE STRANDED DNA ANALYTES AT 37°C AND ROOM TEMPERATURE.....	14
Булкина А.М., Савин А.М. РАЗРАБОТКА СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТКАНЕЙ МИОКАРДА.....	18
Goncharov V.V., Petrova M.S., Belyaev V.E., Domareva N.P. SYSTEMS FOR THE TARGETED DELIVERY OF DRUGS UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASOUND.....	23
Кутырев М.А., Исакова А.М. БАКТЕРИЦИДНЫЕ ПОРОШКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА.....	26
Luzanova A.M., Tonkii I.S., Golovinsky R.P. PARSING SYSTEM FOR CHEMICAL REACTIONS.....	29
Petrova M.S., Semenov A.V., Goncharov V.V., Belyaev V.E. USE OF ELECTROCHEMICAL METHOD IN EVALUATION OF CORROSION INHIBITOR CONTENT IN WATER AND OIL-WATER EMULSION.....	32
Шумкова В.А., Добровольская О.А., Высочинская В.В. КОМПЛЕКСЫ ПРОТАМИН-МРНК.....	35
КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, МУЛЬТИМЕДИА И ИНТЕРФЕЙСЫ.....	39
Генчева А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВО ВРЕМЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРОЦЕДУР.....	40

Демидова А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ VR-ТРЕНАЖЁРА КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ И НЕЙРОМЕТАБОЛИЧЕСКОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	44
Лясковская В.А. КОНЦЕПТ-АРТ КАЗУАЛЬНЫХ ИГР КАК ФОРМА СОЦИАЛЬНОЙ РЕФЛЕКСИИ: ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕЖИВАНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В АДАПТАЦИОННЫЕ ПЕРИОДЫ.....	48
Мажекенова С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПРОГРАММЫ ELECTROSENS.....	52
Микитюк Т.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	57
Мирский О.В. ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАКА ТОЧЕК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АДАПТИВНОГО СКАНИРОВАНИЯ 3D-ПРОСТРАНСТВА.....	64
Сенотрусова А.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ОКУЛОГРАФИИ В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРФЕЙСОВ.....	78
Сорокин М.В. СРАВНЕНИЕ СИНХРОННОГО И АСИНХРОННОГО МЕТОДОВ ЮЗАБИЛИТИ- ТЕСТИРОВАНИЯ.....	81
Спиридонова К.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПОКАЗАННОЙ ПОЗИЦИИ В ТАБЛИЦЕ ЛИДЕРОВ С ЧАСТОТОЙ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ В ИГРОФИЦИРОВАННОЙ ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	86
Чудинова М.А. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ СОЗДАНИЯ РАСТРОВОГО ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА «СОВВИ».....	91
НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ.....	96
Галай О.О. ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПРОТОКОЛОВ.....	97

Ефремов А.И. ОЦЕНИВАНИЕ ВИДЕОРЕЗИУМЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	100
Курдюмов Д.А. ОБЗОР МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СИМПТОМОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ПАЦИЕНТОВ.....	104
Петрова А.В. НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ КОЖНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПО ФОТОГРАФИЯМ.....	107
Сизов М.С. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОМОЩИ ЖЕСТОВ КИСТИ РУКИ.....	110
Трубицына А.М., Бодров К.Ю. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ-ВИЗУАЛИЗАТОРА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА.....	115
Храпов О.Н. РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО ПРОФОРИЕНТАЦИОННОГО НАБОРА ДЛЯ НАГЛЯДНОЙ ДЕМОНСТРАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ, ЭЛЕКТРОНИКЕ, СОЗДАНИЮ УМНЫХ УСТРОЙСТВ, ПРОГРАММИРОВАНИЮ, РОБОТОТЕХНИКЕ, СХЕМОТЕХНИКЕ.....	126
Чумаков А.А. ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНКИ ОТЗЫВА О ТОВАРАХ.....	133
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ.....	138
Басова Т.В. РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	139
Лаптев А.А., Третьяков С.Д. ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	144
Левин Ф.Н., Герасимов Е.Е. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ ADONIS.....	147
Пономаренко М.В. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ В РАЗРЕЗЕ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ.....	151

Ремизов Б.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ.....	156
КОМПЬЮТЕРНЫЕ И КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	160
Бондаренко М.И. УЛУЧШЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ.....	161
Власова М.А., Шевченко А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ.....	166
Кольчурин М.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	170
Нгуен Н.К., Ван Ц. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ.....	176
Синикова Д.Д., Власова М.А., Климова Е.Н. РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ПО МАГНИТНЫМ ПОЛЯМ.....	184
Наjjouz А. LAYER2 BLOCKCHAIN-BASED INFORMATION AND PAYMENT SYSTEM FOR SMART PARKING.....	188
Санджиева А.В., Царькова М.А. РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	194
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	200
Береговенко И.И. ПОИСК АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ОБОБЩЕННЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АНДЕРСОНА-ДАРЛИНГА ДЛЯ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ.....	201
Красильникова А.А. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОЛЗУЧЕСТИ ТОЛСТОСТЕННОЙ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ АНИЗОТРОПИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФОЙХТА.....	207
Лумбина К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИТ-ЛАНДШАФТА.....	214

Матвеева А.А. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕНТРОВ.....	217
Некрасов А.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ ВУЗА.....	221
Неупокоева Е.О. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КЛАСТЕРА.....	228
Сандракова Ю.В. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ PROCESS MINING.....	232
Свиридов Д.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОЛИОЗА.....	236
Трубников А.В. ИМИТАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЁТА НА СУДНО В УСЛОВИЯХ КАЧКИ.....	245
Фотин А.Д., Зун П.С. ГИБРИТИЗАЦИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ И АГЕНТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ СОСУДА ПОСТРЕДСТВОМ ТРИЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ.....	249
Эндреш А.С. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ОТ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	253
Яворук Т.О. АППРОКСИМАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА.....	257
Ярошенко М.А. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	261
ХИМИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ.....	265
Богачёва Е.А. СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА.....	266

Лобановская Е.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСТНИЧНЫХ ПОЛИСИЛОКСАНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ СИСТЕМ.....	270
Титова С.И., Возняковский А.А., Возняковский А.П. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ И МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ DLP МЕТОДА 3D-ПЕЧАТИ.....	274
ЭКОЛОГИЯ.....	278
Аникиева Д.Д. УСТОЙЧИВЫЙ РЕСУРСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В УРБОЭКОСИСТЕМАХ.....	279
Борисов М.М., Сучкова Е.П. ДЕСЕРТ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОЙ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРУКТОВО-ОВОЩНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ.....	283
Видлер А.Д. ГЕТЕРОТРОФНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	289
Гаврецкая А.В., Шестель А.А., Николаев Е.М. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА.....	293
Гайдуков Д.А. ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЁННОСТИ ГОЛЛАНДСКОЙ БОЛЕЗНИ ВЯЗОВ (ГРАФИОЗА ИЛЬМОВЫХ) В УЛИЧНОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ НА ПРОСПЕКТЕ НАРОДНОГО ОПОЛЧЕНИЯ.....	297
Ганева Д.С. ПЫЛЕПОДАВИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	304
Gimatdinova A.G. GRAVITATION AS A SOURCE OF ENERGY STORAGE.....	310
Горбулина А.Р., Кузнецова К.Г., Письменная А.П. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТЕИНА ИЗ ЛИЧИНОК МУХИ HERMETIA ILLUCENS В КАЧЕСТВЕ КОРМА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ.....	318
Груздева А.А. ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБА TRAMETES VERSICOLOR.....	322

Данилов А.В., Тумин Е.И. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ.....	326
Желначева П.В., Кулешова Т.Э. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА В МИКРОБНО-ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.....	330
Зарипова Е.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХЛАДАГЕНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА.....	334
Извекова А.А. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, НА ПРИМЕРЕ ИБУПРОФЕНА, В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ.....	338
Кисарова М.Ю., Юльметова Р.Ф. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	342
Кондратьева С.А. ХИМИЧЕСКИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОСЕЛКА ТОКСОВО.....	350
Лекомцева М.В. АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ БОКСИТОВ.....	356
Мазурик Д.И. СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	360
Максименко Н.И. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОБНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВА, АККУМУЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	366
Миниахметова А.В., Сергиенко О.И. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ДЕКЛАРИРОВАНИЮ ПРОДУКЦИИ.....	370
Некрасова А.С. АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ОБУЧЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ В ОАО «РЖД».....	374

Necherurenko A.I. COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMOCHEMICAL PROCESSING TECHNOLOGIES FOR WASTE REMAINING AFTER MUNICIPAL SOLID WASTE SORTING.....	378
Николаев Е.М. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ.....	387
Okonov S.S. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR OBTAINING ANTIBACTERIAL NANOCOMPOSITES FROM PLANT MATERIALS.....	396
Орынбаева М.М. СОКРАЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	404
Permyakova A.A. COMPARATIVE ANALYSIS AND VEGETATION CHARACTERISTICS OF SOIL-PLANT COMPLEXES OF THE BASTAK NATURE RESERVE.....	409
Подкопаева А.А., Забелина А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРОВ.....	414
Подледнева Л.В. ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК».....	418
Разина И.И. ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ДОБАВОК ИЗ ПОБОЧНОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	423
Румянцев Д.С. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ.....	427
Сергеенков С.В., Салахов А.А., Мысин М.А. АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР СЕРЕБРА КАК МЕТОД БОРЬБЫ С МИКОЛОГИЧЕСКИМИ АГЕНТАМИ РАСТЕНИЙ.....	433

Ситанов Р.Д., Константинова Ю.А., Извекова Т.В. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ УВОДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.....	438
Соколов А.А. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК».....	442
Соломатина Ю.О. НАСТРОЙКА И ОТЛАДКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО ПАРАМ ЦИКЛОГЕКСАНА.....	446
Сотова Е.Д., Сучкова Е.П. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНOK И ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ.....	450
Суворова В.А., Юльметова Р.Ф. ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	454
Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ.....	458
Фахртдинова С.З. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ.....	462
Ференцева М.К. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ.....	467
Хованская Ю.С. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ФРЕОНОВ.....	470
Хуторная Ю.А., Сергиенко О.И. ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПИЩЕВЫМИ ОТХОДАМИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА.....	474
Шевченко А.А. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	479

Шестель А.А., Гаврецкая А.В., Николаев Е.М. АПРОБАЦИЯ НОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА НА ОЦЕНКУ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ.....	483
Юпова В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ.....	487

XII Конгресс молодых ученых

Сборник научных трудов

Том 3

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 09.12.2023

Заказ № 4763 от 09.12.2023

Тираж 100 экз.

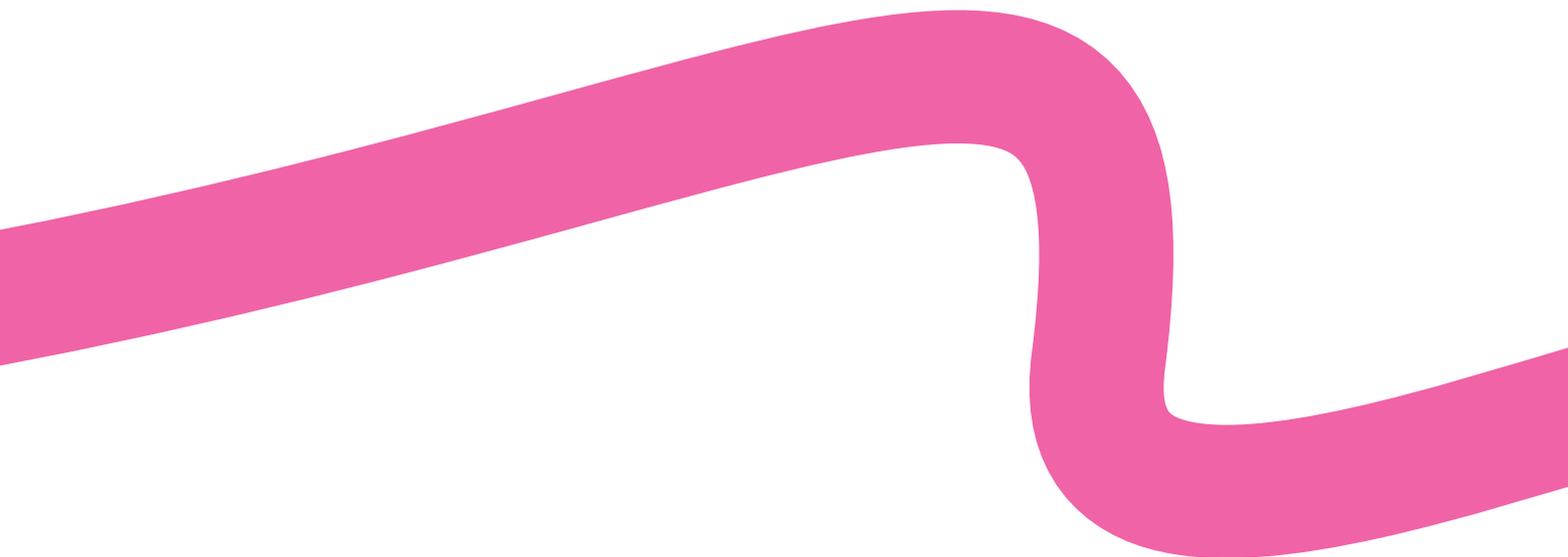
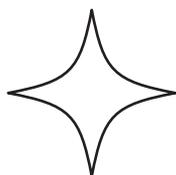
Н.Ф. Гусарова

Отдел развития бренда
Университета ИТМО

Я.Я. Платунова

Печатается в авторской редакции

Отпечатано: Учреждение «Университетские коммуникации»
199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, 16



ISBN 978-5-7577-0702-0



9 785757 707020

**Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., д. 49, литер А