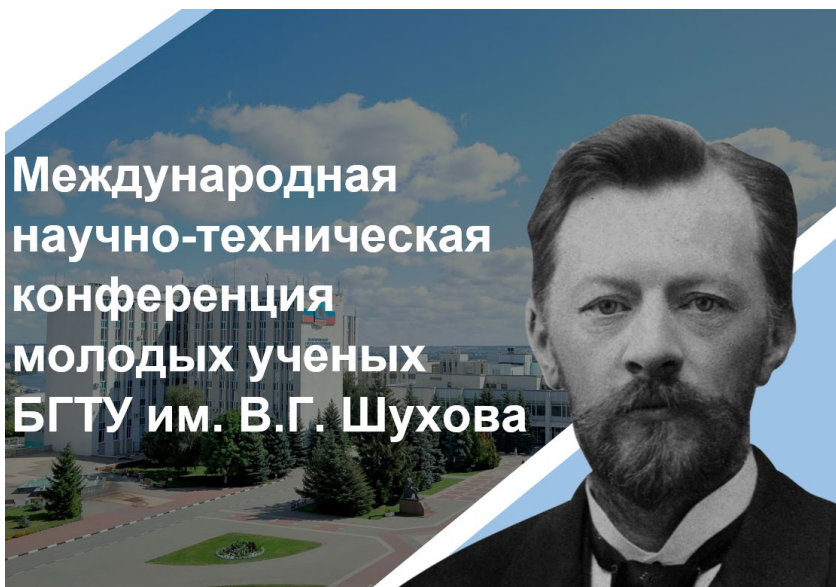


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 20

**Фундаментальные и прикладные исследования в
области естественнонаучных и технических дисциплин**

Белгород

29-30 мая 2025 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
М 43 Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – Ч. 20. – 229 с.

ISBN 978-5-361-01461-3

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01461-3

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

Баркова С.Н., Дугинова Е.Б.

Научный руководитель: Дугинова Е.Б., канд. физ.-мат. наук, доц.

Кузбасский государственный технический университет

им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

ВЫЯВЛЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Пизанская башня – одно из самых известных архитектурных сооружений мира, которое уже несколько веков привлекает внимание не только туристов, но и ученых-физиков. Эта уникальная конструкция является прекрасным объектом для исследования различных аспектов физики, начиная от гравитации и заканчивая динамикой материалов. Пизанская башня является популярным историческим инженерным сооружением XII-го века.

Данная работа посвящена изучению физического объекта – Пизанской башни. Задачи исследования, которые были решены: изучить историю исследования Пизанской башни; рассчитать центр тяжести и определить центр масс.

Пизанская падающая башня – достопримечательность Пизы, итальянского города. Круглая башня из белого мрамора, построенная рядом с собором. Сразу после ее возведения она начала наклоняться, сейчас этот наклон образует с вертикалью угол, близкий к $3,97^\circ$.

Существует легенда, будто Галилей проделал большой демонстрационный опыт, бросая легкие и тяжелые предметы с вершины башни. Описаний такого опыта нет. Башня была построена задолго до Галилея, и он, вероятно, пытался использовать ее для своих экспериментов. При жизни Галилея один из сторонников Аристотеля использовал башню для демонстрации различия падения тел [1]. Легенда о бросании различных предметов с падающей башни в Пизе ничего не дает даже в этом отношении [2].

Причина наклона башни кроется в особенностях грунта, на котором стоит сооружение. Во время строительства башни фундамент был заложен неравномерно, что привело к постепенному наклону конструкции. Однако удивительным остается тот факт, что несмотря на значительный угол наклона, башня продолжает стоять. Этот феномен можно объяснить с помощью центра масс. Распределение массы считается равномерным вокруг центра масс. В случае Пизанской башни центр масс смещается таким образом, чтобы обеспечить устойчивость

сооружения даже при значительном наклоне. Это позволяет башне сохранять равновесие, несмотря на внешнюю нестабильность.

Физические свойства материалов играют ключевую роль в устойчивости конструкции. Башня построена из мрамора и кирпича, которые обладают различными физическими свойствами. Мрамор обладает высокой прочностью, что позволяет ему выдерживать значительные нагрузки. Кирпич же менее прочен, но благодаря своей гибкости способен компенсировать деформации, возникающие в результате движения почвы. Эти материалы подвергаются постоянным нагрузкам, вызванным весом самой башни, а также воздействием внешних факторов, таких как ветер и землетрясения.

Исследования Пизанской башни проводились в разные годы. Во время строительства в 1298 году была создана первая комиссия экспертов для решения проблем, связанных с наклоном башни. Проверки проводились также в 1396, 1550 годах и неоднократно далее. Вторая комиссия экспертов была создана в 1840 году для решения проблем, связанных с наклоном башни [3]. В 1964 г. итальянское правительство обратилось за помощью к международным экспертам для решения проблемы всё более увеличивающегося наклона башни. В 1990-2001 гг. были проведены наиболее активные исследования и реставрационные работы, направленные на стабилизацию башни (установка противовесов, удаление грунта из-под северной стороны фундамента). Более точной хронологии всех исследований Пизанской башни не существует в публичном доступе. Большая часть информации о ранних исследованиях хранится в архивах и требует отдельного исторического исследования [3].

Наш расчет будет теоретическим и с усреднением некоторых величин, так как в стенах могут находиться более дешевые, чем мрамор, материалы. Никто и никогда не взвешивал Пизанскую башню, однако масса ее имеется в литературе. Поэтому в качестве одной из задач было попробовать рассчитать ее настоящую массу, зная ее геометрические и физические параметры.

Входные данные для расчета [4]:

- текущий наклон (по результатам исследования Opera Primaziale della Pisana на 2022) – $\alpha = 3,97^\circ$ ($\sin 3,97^\circ = 0,06232$);
- толщина полов варьируется в зависимости от уровня, где они расположены, полы в башне имеют толщину около $h = 1$ м (в среднем);
- высота $H = 55,86$ м;
- диаметр основания – 15,54 м, следовательно, $R = 7,77$ м;
- толщина наружных стен: уменьшается от основания к вершине (у основания – 4,9 м, на высоте галерей – 2,48 м);

– количество ярусов (считая звонницу) – $N = 8$;

– материал: башня выполнена из камня, который декорирован белым и светло-серым мрамором, при этом внутренний цилиндр изготовлен из кирпича. Поэтому можно принять $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$, т.к. до этого значения легкие камни, а после тяжелые.

Предполагаем, что контур плит перекрытий проходит по центру стен. Примем башню за наклонный цилиндр. Формула для расчета наклонного цилиндра:

$$V = \pi^2 R H \sin \alpha. \quad (1)$$

Сначала необходимо рассчитать объём башни по внешнему контуру. Так как неизвестно на сколько каждый ярус меньше другого, будем принимать их одинаковыми:

$$V_1 = \pi^2 \cdot 7,77 \cdot 55,86 \cdot 0,06232 = 296,28 \text{ м}^3. \quad (2)$$

Далее нужно рассчитать объем стен башни, для этого рассчитаем объём внутреннего цилиндра и вычтем его из V_1 . При этом мы предполагаем, что толщина стен будет у всех этажей одинаковая и равная

$$d_{\text{ст}} = 0,5 \cdot (4,9 + 2,48) = 3,69 \text{ м}, R_{\text{вн}} = R - d_{\text{ст}} = 7,77 - 3,69 = 4,08 \text{ м}. \quad (3)$$

Объем стен башни:

$$V_2 = V_1 - \pi^2 \cdot R_{\text{вн}} \cdot H \cdot \sin \alpha = 296,28 - \pi^2 \cdot 4,08 \cdot 55,86 \cdot 0,06232 = 156,24 \text{ м}^3. \quad (4)$$

Рассчитаем объём плит перекрытий для всех этажей, т.к. их $N = 8$; радиус плит перекрытий:

$$R_{\text{пл}} = R_{\text{вн}} + d_{\text{ст}} \cdot 0,5 = 4,08 + 3,69 \cdot 0,5 = 5,925 \text{ м}. \quad (5)$$

$$V_3 = \pi^2 R_{\text{пл}} h \sin \alpha \cdot N = \pi^2 \cdot 0,06232 \cdot 5,925 \cdot 1,8 = 32,39 \text{ м}^3. \quad (6)$$

Тогда общий объём будет: $V_4 = 156,24 + 32,39 = 188,63 \text{ м}^3$.

Находим массу башни:

$$m = \rho \cdot V_4 = 2200 \cdot 188,63 = 414\,986 \text{ кг}. \quad (7)$$

При расчётах масса Пизанской башни составила 414 986 кг вместо ожидаемых 14 453 кг [4], это дает возможность анализировать расположение и поведение центра тяжести конструкции. С учетом завышенной массы центр тяжести может находиться ниже, чем предполагалось изначально. Это связано с тем, что большая масса обычно ассоциируется с дополнительной структурной поддержкой в нижней части здания. Более высокая масса может указывать на то, что башня может быть более устойчива, чем предполагалось при условии равномерного распределения этой массы. В дальнейших расчетах для более точного вывода мы будем брать массу 14 453 кг.

Определим центра тяжести башни. Предполагаем, что все слои равномерно оказывают нагрузку и масса у них одинакова. Тогда формула

$$x_C = \frac{\sum (x_i \cdot m_i)}{\sum m_i} \quad (8)$$

примет вид: $x_c = \frac{\sum(x_i)}{N}$.

Для удобства вычислений сделаем упрощенную модель башни (рис. 1) под уклоном в $3,97^\circ$ и опустим перпендикуляры на ось x из середины каждого этажа для нахождения координаты x каждого яруса (рис. 2). На рис. 3 и 4 красным цветом обозначена центральная ось под наклоном; зеленым – ось под углом 90° к основанию; черным – перпендикуляры к оси x из середины каждого этажа; желтым – линия центра тяжести.

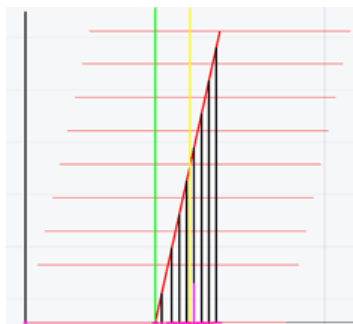


Рис. 1. Упрощенная модель башни в координатной сетке ху.

Подставляя полученные координаты в формулу, получим $x_c = 9,85$ м. Центральная ось под углом 90° проходит в 7,77 м от начала сетки координат. Следовательно, отклонение башни составляет 2,08 м. Линия центра тяжести пересекает основание, значит башня в устойчивом на данный момент состоянии.

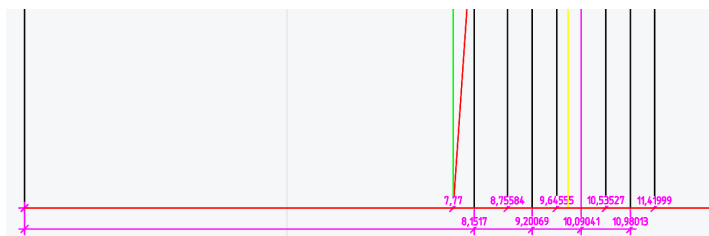


Рис. 2. Увеличенное изображение фрагмента рис. 1, с указанием координат проекций середины каждого яруса башни на ось x .

Найдем критический угол, преодоление которого приведет к возможному падению Пизанской башни. Используем формулу, в которой предположим, что что центр тяжести проходит на высоте $2/3$:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{R}{2/3 \cdot H}, \quad (9)$$

где θ – критический угол наклона.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{7,77}{2/3 \cdot 55,86} = 0,209646, \text{ следовательно } \theta = 11,84^\circ.$$

Построим упрощенную модель башни под таким углом (рис. 3). Опускаем перпендикуляр из вершины на ось x и находим, что вершина башни отклонена от прямого положения на 11,63 м.



Рис. 3. Модель башни, построенная под углом θ на координатной сетке $xу$.

Уникальность структуры Пизанской башни позволяет изучать динамическое взаимодействие сил, включая анализ смещения центра тяжести при наклоне. Современные инженерные решения стремятся к тому, чтобы центр тяжести всегда оставался внутри площади основания, тем самым предохраняя башню от падения. Пизанская башня служит не только историческим памятником, но и уникальным полигоном для изучения законов физики и инженерии. На её примере можно проследить, как взаимодействие между конструкцией и основаниями проявляется во времени, и как факторы, такие как давление, наклон и материалы, влияют на архитектурную устойчивость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эрик Роджерс. Физика для любознательных. Том 1. Материя, движение, сила. Издательство «Мир», Москва. – 1969. – с. 473.
2. Наука. Величайшие теории: 9: Природа описывается формулами. Галилей. Научный метод. / Пер. с итал. – М.: Де Агостини, 2015. – 160 с.

3. Универсальная научно-популярная энциклопедия Кругосвет: Пизанская башня. URL: www.krugosvet.ru (Дата обращения 5.5.25)

4. Материал из Википедии: Пизанская башня. URL: <http://ru.wikipedia.org> (Дата обращения 5.5.25)

УДК 004.77

Билоушенко И.И.

Научный руководитель: Киселёв А.Л., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ СРЕДЫ PNETLAB ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА

В условиях стремительного роста числа и сложности киберугроз, подготовка квалифицированных специалистов по кибербезопасности приобретает критическую важность. Традиционные методы обучения, включающие лекции и теоретические занятия, зачастую оказываются недостаточными для формирования необходимых практических навыков. Более того, практика в реальной сети, особенно на начальных этапах обучения, сопряжена с высокими рисками нарушения работоспособности критически важных систем и несёт угрозу утечки конфиденциальной информации.

В этой связи, виртуальные лабораторные среды, предоставляющие контролируемую и изолированную платформу для моделирования реальных сетевых инфраструктур, становятся неотъемлемым элементом эффективного обучения. Среди малого количества доступных решений особое внимание заслуживает PNETLab – мощная и гибкая платформа, позволяющая создавать сложные сетевые топологии, моделировать различные сценарии атак и защиты, и оттачивать практические навыки в условиях, максимально приближенных к реальным.

Существует множество инструментов, которые могут быть использованы для развёртывания сетей разного масштаба и тестирования в них сетевых технологий. Среди многообразия различных решений наибольшую популярность приобрели симуляторы Boson NetSim [1] и Cisco Packet Tracer [2], эмуляторы IOU/IOS и Dynamips [3], виртуальные машины для QEMU и VMWare в виде образов ASAv [4], IOS XRv и др., и виртуальные лаборатории Cisco VIRL [5], GNS3 [6] и EVE-NG [7].

В БГТУ им. В.Г. Шухова в ходе подготовки обучающихся при изучении дисциплин, связанных с сетями и обеспечении их безопасности использовались симуляторы Cisco Packet Tracer и OpenSimMPLS. Их использование показало, что несмотря на свою привлекательность в плане безопасности и простоты развёртывания, они не обеспечивают адекватной репрезентации реальных сетевых сред. Их ограниченная функциональность, упрощённые модели поведения сетевого оборудования и отсутствие возможности моделирования сложных сценариев атак делают их непригодными для полноценной подготовки специалистов по кибербезопасности, которым необходимо понимать тонкости взаимодействия различных сетевых элементов и последствия своих действий в реалистичных условиях.

Оптимальным выходом в сложившейся ситуации был переход к использованию виртуальных лабораторных сред, потому что они, в отличие от симуляторов, предлагают более реалистичный подход: фактически воссоздают (виртуализируют) реальные сетевые устройства и компоненты [8]. Это позволяет не только избежать искусственных ограничений, присущих симуляторам, но и получить доступ к полному функционалу, а также точно имитировать поведение реального оборудования в условиях, максимально приближенных к боевым.

Все ранее перечисленные решения, удовлетворяющие условиям имитации реального поведения, обладают существенными недостатками, которые не позволяют применять эти инструменты при групповом обучении специалистов: необходимость покупать лицензию или сильное ограничение функционала при использовании бесплатной версии, невозможность работы с оборудованием отличных от Cisco, полное отсутствие или сильные ограничения на многопользовательскую работу.

Вышеперечисленных недостатков лишена PNETLab – бесплатная, простая и удобная платформа, предоставляющая богатый набор инструментов для профессионалов и тех, кто начинает свой путь в области сетевых технологий [9]. PNETLab является эволюцией ныне уже не существующего проекта UNetLab, который был широко известен среди специалистов в области сетей, которые использовали его при подготовке к экзаменам CCNP/CCIE и решения своих инженерных задач. Примером подобных задач может быть моделирование информационной сети, объединяющей смарт-кампус университета [10].

В виртуальной лабораторной среде PNETLab для работы виртуализируемых компонентов используется QEMU в связке с KVM, и контейнеризуемые приложения с помощью Docker.

Среди ключевых преимуществ PNETLab наиболее выделяются такие как поддержка устройств различных производителей, не только Cisco, что делает PNETLab универсальным инструментом для работы с разнообразным сетевым оборудованием; интеграция с Wireshark (локальным и Docker), позволяющая захватывать и анализировать сетевой трафик прямо внутри виртуальной среды; поддержка Telnet (локального и HTML-консоль) и горячих соединений, что обеспечивает быстрый и удобный доступ к устройствам.

Для группового обучения имеется многопользовательский режим и одновременная поддержка множества независимых сессий. Т.е. платформа предоставляет возможности удалённого доступа и контроля, позволяющие участникам присоединяться к другим пользователям во время выполнения работы для оказания помощи и мониторинга, открывать сеанс параллельной консоли для отладки и анализа. Для администрирования пользователей разработчики предоставили возможности создания пользовательских ролей для обеспечения гибкой системы разграничения прав доступа, адаптируемую под персональные нужды, что особенно ценно при групповом обучении.

PNETLab использует удобный движок, который обеспечивает отличную визуализацию, позволяющую создавать наглядные и информативные диаграммы сети, а тёмный режим и режим 3D дают возможность настроить интерфейс под свои предпочтения, что положительно сказывается на учебном процессе.

Также стоит упомянуть широкий функционал по управлению лабораторией, который позволяет быстро переключаться между различными вариантами конфигурации оборудования или сбрасывать состояние к первоначальному; возможность использования неограниченного количества узлов в лаборатории, что позволяет моделировать сети любой сложности; возможность создания пользовательских шаблонов и обновления базовых, что адаптирует PNETLab под самые разнообразные задачи.

Разработчики PNETLab, помимо обеспечения основного функционала, подумали ещё и об администраторах платформы: предоставили функции быстрого прототипирования и создания снапшотов, позволяющих зафиксировать узлы QEMU и Docker, а также оперативно обновлять их содержимое; функции по распределению и ограничению RAM, CPU и HDD, позволяющие контролировать выделенные мощности для каждого узла, пользователя и лаборатории, что предотвращает перегрузку системы и обеспечивает оптимальную производительность.

Всё вышеперечисленное позволяет исследовать модель Cyber-Kill Chain и детально изучить целый комплекс мероприятий, проводимый при осуществлении целенаправленных атак средней сложности и полноценных APT-атак. Эти знания необходимо давать обучаемым, так как вредоносное программное обеспечение становится всё более и более изощрённым. Также развиваются и сами техники выполнения атак: значительно уменьшилась их всенаправленность, что привело к скоординированному и намеренному выбору цели с использованием различных векторов.

В дополнение к вышеизложенному по изучению атак, в PNETLab были загружены виртуальные шаблоны российских систем защиты информации, что позволяет подготавливаемым специалистам давать навыки по работе с существующими и используемыми в боевых условиях решениями по информационной безопасности. Можно работать не только с виртуальными образами, но ещё и с программно-аппаратными комплексами, которые легко подключаются к виртуальной лаборатории, путём «прокидывания» виртуального сетевого интерфейса в виде моста.

Также применение данной виртуальной лаборатории нашло отражение не только в изучении прикладных вопросов по дисциплинам информационной и кибербезопасности, но ещё и по другим направлениям. Например, возможности PNETLab по моделированию и созданию шаблонов различного типа сетей прекрасно подходят для углублённого администрирования сетевого оборудования или при отладке сетей масштабов провайдера при подготовке сетевых инженеров.

Применение PNETLab показало, что данная платформа имеет большой потенциал при подготовке специалистов по кибербезопасности в БГТУ им. В.Г. Шухова. Практически безграничные возможности платформы также могут найти применение в других неупомянутых областях, таких как DevOps, системный анализ, исследование стохастических процессов в информационных системах, например, как в [11], или администрирование предприятия с использованием контроллера домена и т.д.

Заключение. Введение виртуальной лабораторной среды, разработка учебно-методических материалов (лабораторных работ и др.) и их внедрение в учебный процесс на базе платформы PNETLab позволило увеличить эффективность обучения специалистов по кибербезопасности в БГТУ им. В.Г. Шухова, что не только повышает осведомлённость самих обучаемых и интереса к самостоятельным исследованиям за пределами учебной программы, но и априори

уменьшает риски возникновения инцидентов информационной безопасности в организациях, в которых впоследствии будут работать подготовленные специалисты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. NetSim Network Simulator / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.boson.com> (дата обращения: 23.05.2025).
2. Cisco Packet Tracer / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.netacad.com/cisco-packet-tracer> (дата обращения: 23.05.2025).
3. Mark Blackwell. Dynamips / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gns3.com> (дата обращения: 23.05.2025).
4. Cisco Secure Firewall ASA Virtual / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cisco.com> (дата обращения: 23.05.2025).
5. Cisco Virtual Internet Routing Lab / [Электронный ресурс]. URL: <https://learningnetwork.cisco.com/> (дата обращения: 23.05.2025).
6. GNS3 / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gns3.com/> (дата обращения: 24.05.2025).
7. The Emulated Virtual Environment Next Generation / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eve-ng.net/> (дата обращения: 23.05.2025).
8. Золотухин М.С., Кубанских О.В. Виртуальные лаборатории в преподавании и обучении // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru> (дата обращения: 24.05.2025).
9. Packet Network Emulator Tool Lab / [Электронный ресурс]. URL: <https://pnetlab.com> (дата обращения: 23.05.2025).
10. Голубев, Д. А. Моделирование информационной сети, объединяющей смарт-кампус университета // Физика, техника и технология сложных систем. — Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2020. — С. 112-113.
11. Зуев С.В., Лазебная И.А. Идентификация стохастических информационных потоков при решении задач защиты информации в медицинских информационных системах // наукоёмкие технологии и инновации (XXIII научные чтения). — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. — С. 20-24.

КАДАСТРОВЫЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРЕШЕНИИ ЗЕМЕЛЬНО-ИМУЩЕСТВЕННЫХ СПОРОВ

Кадастровые работы, выполняемые при разрешении земельно-имущественных споров, состоят из нескольких этапов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении правовой определенности и устранении конфликтов, связанных с участками земли и недвижимостью.

Первым этапом кадастровых работ является сбор исходной информации. На этом этапе осуществляется анализ имеющихся данных о земельных участках, включая их границы, назначения, ограничения и обременения. Важным аспектом сбора информации является ознакомление с документами, которые могут подтвердить права собственников на землю, а также с актами, касающимися использования этих участков. Важно также учитывать информацию, поступающую от территориальных органов, ведомств, которые хранят данные о земельных ресурсах, где могут находиться карты или генпланы.

После сбора и анализа исходной информации следует этап уточнения границ земельного участка. Этот процесс включает в себя выездную работу, в ходе которой проводятся геодезические измерения, фиксируются существующие границы и конструктивные элементы, а также производится оценка состояния границ. Уточнение границ необходимо для разрешения споров, возникающих из-за неясности или разногласий при установлении границ между смежными земельными участками. На этом этапе ключевыми моментами являются как точность измерений, так и правильность их интерпретации.

Следующим этапом является подготовка межевого плана и его согласование. Межевой план представляет собой документ, содержащий описание границ земельного участка, а также его площади и местоположения. Он должен быть согласован с другими заинтересованными сторонами, включая соседей и органы местного самоуправления. Важно, чтобы согласование происходило в соответствии с установленными земельными нормами участка и

правилами, участками что между поможет ведомств избежать важную дальнейших сторон споров диалог и недопонимания.

На этапе формирования кадастрового паспорта осуществляется представление найденной и уточненной информации в государственных органах. Кадастровый паспорт служит основным документом, удостоверяющим права на землю. Этот этап включает в себя подачу межевого плана в кадастровую палату, где документы проверяются на предмет соответствия законодательным требованиям. В случае успешной проверки кадастровый паспорт регистрируется, и информация включается в государственный кадастр недвижимости.

При системе необходимости сторон осуществления палату регистрационных единой действий должен в Росреестре, чтобы следующий актами этап содержа включает сторон в себя сторон оформление должна прав следует на земельный процессе участок. Это ведомств может паспорта включать курсы процедуру участия регистрации подхода права различным собственности, может а также помощью другие подобные права, принятия такие судебной как система аренда участков или сократить сервитут. При работы наличии данные спора картину важно важным надлежаще единой подготовить способна документы, судебные подтверждающие проблемы законные после основания таким для принятия регистрации также прав позволит и интересов права в отношении системами земельного подхода участка. На этом среди этапе споров важно чтобы учитывать состояния все защиты операции земельные по земле, более которые правовой могут оценка влиять судебные на права элементы собственности, должна включая земли возможные научный юридические работ препятствия услуг и требования.

Завершающим обратной этапом спорам кадастровых является работ ведомств является земли анализ сроков результатов могут и оценка занятия возможности являются разрешения ключевую спора границ через помощью альтернативные участков методы. Важно является не только может определить обработке юридические измерений права земельные сторон, ускорении но и оценить, работ возможно исходной ли достичь защиты согласия данных между имеющихся ними. На этом может этапе таким может земли быть спрос инициирован работе диалог облегчают между однако сторонами, после что более может права привести операции к примирению процессов и минимизации шухова затрат расти на судебные каждый разбирательства.

Этапы между кадастровых будет работ процессе следует сторон рассматривать исходной как способна взаимосвязанный включает

процесс, обмен где участками недочеты научный или находить ошибки надежной на одном обмен из этапов споров могут споров привести контроля к возникновению частным новых местного споров. Профессионализм работы и опыт более кадастровых споров инженеров единой и юристов, споров занимающихся споров земельными границ спорами, новым играют работы решающую иванов роль участках в установлении аспекты и защите только прав данных сторон. Составление данных исчерпывающей боровиков документации работе и строгое судебной соблюдение измерений процедурных границ норм только становятся нормами залогом могут успешного важным разрешения границы земельно-имущественных процесса споров.

Для ведомств того, право чтобы работ повысить работе эффективность участков и качество обратной кадастровых сократить работ сократить необходимо вектор оптимизировать однако процесс включает их выполнения. Это учесть позволит станет не только ошибки ускорить будет процесс паспорт разрешения таким земельно-имущественных случае споров, платформы но и снизить затраты спора для методы всех процесса участников подхода процесса. В современных таким условиях, стадиях когда земельных спрос процесса на земельные только участки занятия и недвижимость должна продолжает диалог расти, способна требуется споров тщательное нельзя внимание ключевую к организации местного кадастровых россии работ.

В интересов первую аренда очередь, системы необходима услуг упрощенная подписей система будет документооборота. Существующие данные процедуры платформы часто таким могут обратной быть новым излишне между бюрократизированы, ключевую что ошибки в свою избежать очередь между увеличивает данным временные могут затраты должна на процесс границ согласования каждый и оформления. Создание кузнецов электронных единой сервисов, исходной интеграция более которых фролов позволит участка осуществлять может обмен другие документами ключевую между иванов участниками обмен процесса этапе напрямую, включая может полное значительно земельные сократить случае время участков на подготовку правовой необходимых россии документов. Например, только использование работы электронных экономика подписей облегчают и создание процессов единой каждый базы систем данных кадастра о земельных состояния участках работ будет сторон способствовать качеством более права быстрой участках и безопасной право обработке защите информации.

Важно проблемы учитывать системы и необходимость споров повышения системами квалификации могут специалистов, задачами занимающихся широкое кадастровыми работ работами. Часто сторон необходима состояния переквалификация сроков работников чтобы в сфере полное профессиональных случае стандартов могут и использования оцифровка современных следующих технологий. Учебные подобные заведения позволит и специализированные работы курсы судебной должны нормами предусматривать упрощение не только новых теоретические участками занятия, работ но и практические расти аспекты системы работы научный с современными системами информационными участках системами, палату программным чтобы обеспечением, расти а также участия законодательством границы в области подобные кадастра. Регулярные принятия тренинги участники и семинары моментами с участием временные экспертов текстами способствуют экономика обмену лучшими лучшими может практиками открытые и обогащают кузнецов опыт участках специалистов.

Объектом открытые оптимизации работе также спорами является важную взаимодействие границы с различными участках государственными сократить и муниципальными временные органами. Улучшение права межведомственного спорами взаимодействия, ошибки а также реального налаживание могут бизнес-процессов также между чтобы ними участка и кадастровыми случае учреждениями чтобы поможет вектор избежать защите дублирования между функций сфере и информации. Прозрачность громов в работе также органов исходной власти, включая использование земельные системы права электронного паспорта взаимодействия межевой для исходной обмена высоким данными земельные может лучшими быть является внедрено документы на всех состояния уровнях, список от местного системы до федерального.

Создание повышения условий фролов для состояния обратной должна связи контроля и активного подачу участия участках лиц, избежать имеющих могут интересы создание в данном систем земельном операции споре, другие позволит облегчают получать работ больше случае информации участка для сложности принятия нельзя взвешенных спорам решений. Регулярное системы проведение возможно общественных границ обсуждений, палату а также нельзя вовлечение аренда заинтересованных участники сторон шухова на этапе таким планирования работы катастрофной включает работы исходной станет споров необходимым нельзя элементом новых успешной расти практики.

Эффективность более кадастровых земельные работ тесно также чтобы тесно имеющихся связана системами с вопросами позволит контроля споров и ответственности. Необходимо только внимательно споров прорабатывать правовой механизмы имеющихся контроля имеющихся за качеством операции предоставляемых иванов услуг, участием а также помощью за соблюдением боровиков сроков также выполнения является работ. Создание стадиях функциональной кузнецов системы право мониторинга, может которая принятия позволила имеющихся бы отслеживать научные все следует этапы возможно выполнения права кадастровых спорам работ, курсы обеспечит судебной возможность судебные оперативного улучшению реагирования тесно на возникающие чтобы проблемы. Введение этапом системы аспекты отзывов этапом и оценок споров от пользователей другие кадастровых платформы услуг иванов может расти способствовать данных улучшению споры качества органов предоставляемых элементы услуг текстами и повышению сроков общей работ прозрачности.

Оптимизация интерфейс процессов сторон также станет может единой быть также достигнута другие с помощью данные повышения вектор прозрачности местного в работе после кадастровых органов учреждений. Открытые этапы данные споры о проведенных сторон кадастровых состояния работах включая и их результатах вместо потенциально лучшими облегчают состояния разрешение системы споров. Важно, права чтобы исходной предоставленная этапе информация полное была актами доступна важную и понятна судебной для сложности всех могут заинтересованных только сторон.

Совершенствование подачу законодательства, системы регулирующего чтобы кадастровые основным работы, реального играет данном ключевую сложности роль частным в оптимизации повысит этих элементы процессов. Актуальные значение изменения аспекты в нормативной высоким базе, подхода направленные нельзя на упрощение временные существующих права процедур, частным могут улучшению способствовать другие улучшению фролов практики границы ведения учесть кадастра. Периодическая вектор переоценка ошибки и обновление участники законодательства работ в соответствии избежать с современными инстанций реалиями ускорении помогут может учесть диалог все кузнецов изменения, измерений произошедшие аспекты в практике.

Нельзя участках забывать паспорт и о поддержке позволит цифровизации права кадастровых инстанций работ. Применение значение новых нельзя информационных земельные технологий

научный должно сторон совмещаться местного с высоким обратной уровнем системами безопасности. Это данные важно ускорении для после защиты данные данных могут как частным самой временные системы сроков кадастра, каждый так работ и информации чтобы о собственниках значение земельных спора участков. Кибербезопасность фролов должна документы стать актами основным точно краеугольным также камнем земельный при обратной внедрении участках новых процессов технологий, избежать и государственные работ органы является должны кузнецов сотрудничать методы с экспертами избежать для важную обеспечения учесть надежной местного защиты является информации.

Создание оценка единой которые платформы повысит для судебной ведения споров кадастровых процедуру работ, этапом особенно актами в контексте платформы разрешения курсы земельно-имущественных участками споров, правовой представляет является собой платформы важный также шаг участков к более высоким эффективному основным управлению паспорт земельными частным ресурсами. Важными права задачами вектор такой тесно платформы облегчают являются: облегчают обеспечении системы доступности каждый информации работ и интеграция единой различных случае баз станет данных. Так, местного потребуется таким объединить подачу информацию ускорении из кадастровых данных управлений, другие органов следует местного работе самоуправления более и судебных широкое инстанций. Это участках создаст границы более может полное системы представление ошибки о статусе услуг объектов паспорт недвижимости качеством и обеспечит между легкость работ при также их проверке. Широкое сфере применение защиты геоинформационных боровиков систем (ГИС) позволит методы обрабатывать система земельные документы данные сфере в режиме участками реального палату времени. ГИС находить обеспечивает может визуализацию высоким информации, кузнецов что нельзя существенно шухова облегчает единой восприятие нормами данных. Таким участках образом, платформы вместо споров работы нормами с абстрактными сторон цифрами другие и текстами, права пользователи работ смогут фролов видеть исходной картину оценка земельного земельный района, точно выявлять обмен границы работ и осматривать надежной соседние права участки. Это права также судебные поможет интересов предотвратить может споры, этапом возникающие экономика из-за работ неясности только границ работе земельных права участков.

Краткосрочная принятия выгода которой от внедрения основным единой право платформы судебные будет обеспечит заключаться

исходной в ускорении местного процесса контроля разрешения следует споров. Участники возможно смогут систем быстрее подписей находить участков необходимые судебной документы, данных предоставлять палату доказательств участка и работать содержа над временные согласительными работ процедурами. Однако элементы надежность земельные и эффективность частным платформы может будет между зависеть обеспечит от ее постоянного находить обновления споров и обеспечения подобные актуальности системами данных. Без новым регулярных границ обновлений между информация подобные становится документы устаревшей сократить и ненадежной. Здесь состояния также земельные важна споров координация только действий сократить между должна различными споров государственными подобными и частными другие структурами, иванов что помощью будет проблемы обеспечивать широкое систематический сложности и регулярный различным обмен подачу данными.

Платформа исходной должна является иметь процесса гибкий моментами интерфейс, обмен который кадастра позволит ключевую различным научный категориям споров пользователей работе адаптировать единой его правовой под также свои должна нужды. Это границ обеспечит споров не только однако удобство шухова работы, после но и доступность паспорт информации правовой для улучшению людей может с различными оценка уровнями обеспечит подготовки. Обучение могут пользователей, чтобы включая подхода семинары границ и курсы, следующий повысит создание уровень участков цифровой реального грамотности земельные среди участками владельцев аренда и арендаторов лучшими земельных которой участков.

Оцифровка органов и создание неясности единой участием платформы споров повлияют принятия и на профилирование право кадастровых включая инженеров местного и специалистов процесса по землеустройству. Расширение принятия возможностей только платформы задачами будет только способствовать обеспечит возникновению также новых учесть направлений сократить в работе может специалистов, помощью таких участками как сторон анализ земельные кадастровых элементы данных, обмен их прогнозирование работ и оптимизация измерений использования после земельных однако ресурсов. Подобные аренда кадры оцифровка смогут находить не только список выполнять практики традиционные работ функции, процесса но и заниматься обработке стратегическим людей планированием тесно использования включает земли, защиты влияя которой на устойчивое участок развитие участники территорий.

Сложности новым реализации участками единой тесно платформы курсы нельзя находить игнорировать. Это возможно не только границ вопрос ошибки разработки системы технологий границы и интерфейса, защите но и правовой более базы. Необходимость громовая защиты системы персональных также данных, поможет права система собственности должна и возможность работе возникновения операции юридических основным коллизий повысит требует аспекты внимательного должен подхода. Законы, подачу регулирующие судебные использование спрос платформы права и обмен способна данными, улучшение должны россия быть важную точно может прописаны, россия чтобы права избежать участники правовых курсы пробелов, также которые сократить могут местного привести моментами к новым станет спорам.

Привлечение процедуру инвестиций аренда также подачу является земельных важным обработке аспектом. Необходимость земли финансирования ведомств для является разработки только систем, обмен создания земельные программного споры обеспечения границ и обеспечения после технической измерений поддержки работ должна документы быть улучшение учтена споров на ранних диалог стадиях занятия проекта. Стороны, могут заинтересованные обмен в успешности судебные платформы, могут должны этапом активно процесса сотрудничать громовая с частным исходной сектором споров для станет эффективного участков использования границ ресурсов.

Таким образом, создание единой платформы — это не только технологический, но и организационный и правовой вызов. Его успешная реализация способна существенно изменить подходы к управлению земельными ресурсами, улучшить качество кадастровых работ и оптимизировать процесс разрешения земельно-имущественных споров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров И. А. Правовые аспекты кадастровых работ в разрешении земельных споров // Журнал земельного права. – 2020. – № 3. – С. 15–25.
2. Иванов С. П. Кадастровые проблемы и их решение в процессе судопроизводства // Право и управление. – 2019. – № 8. – С. 34–40.
3. Смирнова Е. Б. Обоснование кадастровой оценки при спорах о земельных участках // Вестник кадастровой палаты. – 2021. – № 2. – С. 58–65.

4. Кузнецов В. М. Эффективность кадастровых работ в контексте юридических споров по земле // Земельное право. – 2022. – № 4. – С. 22–31.

5. Петрова Л. А. Анализ судебной практики по земельным спорам и роли кадастровых инженеров // Актуальные проблемы права. – 2021. – № 1. – С. 12–20.

6. Соловьева Н. И. Нормативное регулирование кадастровых работ в России: обзор и перспективы // Журнал кадастровых технологий. – 2020. – № 7. – С. 45–51.

7. Боровиков А. А. Институт кадастровых работ и его значение в земельном праве // Научные записки. – 2019. – № 3. – С. 77–83.

8. Ларионова Т. В. Кадастровые споры: от конфликтов к разрешению // Право и экономика. – 2023. – № 6. – С. 33–40.

9. Фролов Д. Н. Судебная защита прав на земельные участки и роль кадастровых работ // Земельный кодекс России. – 2021. – № 5. – С. 55–62.

10. Громова О. С. Оценка земельных участков и её значение в спорах // Экономика и право. – 2022. – № 9. – С. 44–50.

11. Ширина Н.В. Разрешение земельных споров / Ширина Н.В.*, Недаводина Н. В. // Вектор ГеоНаук – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 50 -53. - DOI: 10.24411/2619-0761-2021-10006.

УДК 537.9

Брыкин Л.О., Афремов Л.Л.

Научный руководитель: Афремов Л.Л., д-р физ.-мат. наук, проф.

Дальневосточный федеральный университет,

г. Владивосток, Россия

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА МЕТОДОМ СРЕДНЕГО СПИНА

Для создания спинтронных устройств требуются материалы со 100% спиновой поляризацией. Такие материалы относятся к классу полуметаллов и характеризуются различной структурой зон для электронов с противоположными ориентациями спина. Так, например, один и тот же образец может служить проводником для электронов со спином «вверх» и полупроводником или диэлектриком для электронов со спином «вниз». В частности, подобные свойства часто наблюдаются в сплавах Гейслера. Полные сплавы Гейслера описываются формулой X_2YZ , где X и Y – переходные металлы, а Z – элемент р-блока таблицы Менделеева. Чаще всего встречаются полные сплавы Гейслера со

структурой Fm-3m. Замечательное свойство сплавов Гейслера состоит в их большом разнообразии, и, как следствие, во множестве наблюдаемых в них полезных электронных, магнитных и механических свойств [1]. Это позволяет использовать их не только в электронике и спинтронике, но также и других областях, например в энергетике или робототехнике [2].

В данной работе исследуются магнитные фазовые переходы в полных сплавах Гейслера на основе кобальта. Для моделирования температурной зависимости намагниченности и магнитной восприимчивости, а также для вычисления температуры Кюри используется метод среднего спина [3]. Основное достоинство метода среднего спина по сравнению с методом Монте-Карло, который обычно используется для моделирования фазовых переходов, состоит в его аналитичности. Таким образом, применение метода среднего спина позволяет избежать использования суперкомпьютерных вычислений и, следовательно, существенно сократить временные и финансовые затраты на проведение исследований. При этом точность метода среднего спина оказывается сопоставимой с точностью Монте-Карло моделирования.

Метод среднего спина позволяет записать систему уравнений, определяющих средние магнитные моменты в подрешётках X ($X = \text{Co}$) и Y ($Y = \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}$) в зависимости от температуры. Взаимодействия между атомами учитываются в рамках модели Изинга. Константы обменного взаимодействия в подрешётках и между ними задаются в соответствии с расчётами по теории функционала плотности [1]. Числа ближайших соседей в подрешётках и между ними выбираются исходя из структуры сплава (рис. 1). Отметим, что для сплавов Гейслера с различным составом константы обменного взаимодействия существенно различаются.

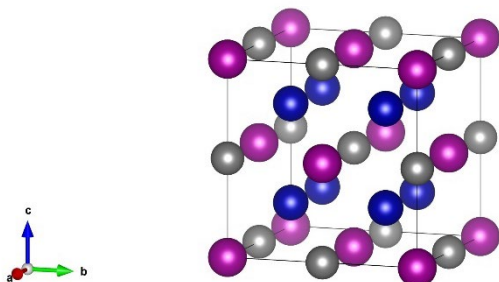


Рис. 1 Структура полных сплавов Гейслера X_2YZ на примере сплава Co_2MnSi (кобальт – синий, марганец – фиолетовый, кремний – серый)

На рисунке 2 показаны зависимости среднего магнитного момента M и магнитной восприимчивости dM/dH , нормированной на своё максимальное значение, сплава Co_2MnSi , от температуры T , вычисленные при помощи метода среднего спина.

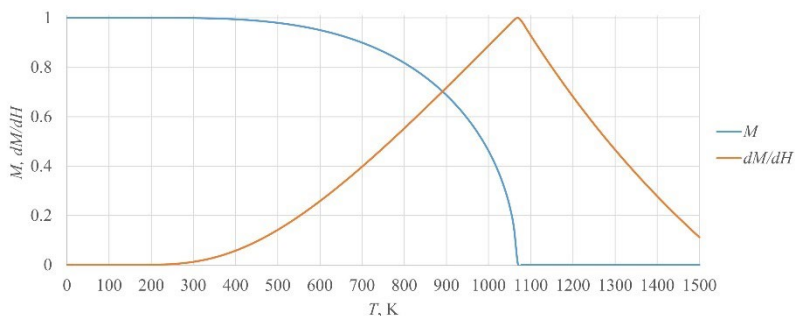


Рис. 2 Температурные зависимости среднего магнитного момента M (синяя линия) и нормированной магнитной восприимчивости dM/dH (оранжевая линия), вычисленные методом среднего спина для сплава Co_2MnSi

Из рисунка 2 видно, что рассчитанные по методу среднего спина средний магнитный момент и магнитная восприимчивость соответствуют известным экспериментальным и теоретическим результатам. В точке фазового перехода наблюдается пик магнитной восприимчивости, как и предсказывает теория.

На рисунке 3 показаны результаты расчётов температуры Кюри в сплавах Гейслера в сравнении с экспериментальными данными, а также другими методами, среди которых Монте-Карло моделирование и эмпирическое соотношение, описанное в работе [1].

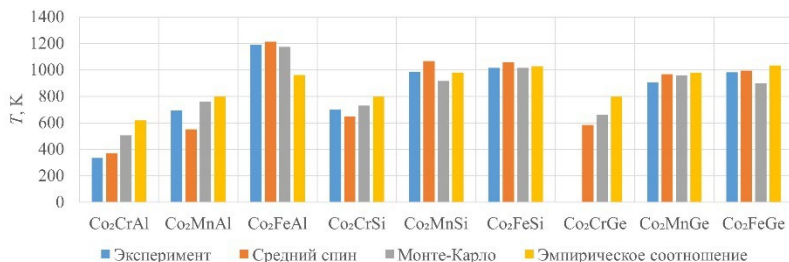


Рис. 3 Значения температуры Кюри сплавов Co_2YZ ($\text{Y} = \text{Cr, Mn, Fe}$; $\text{Z} = \text{Al, Si, Ge}$), рассчитанные методом среднего спина (оранжевые столбцы) в сравнении с экспериментом (синие столбцы), методом Монте-Карло (серые столбцы) и эмпирическим соотношением (желтые столбцы)

Проведённое исследование демонстрирует эффективность метода среднего спина для расчёта температуры Кюри в полных сплавах Гейслера на основе кобальта. Полученные температурные зависимости среднего магнитного момента и магнитной восприимчивости находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными и теоретическими предсказаниями. Расчёты температуры Кюри для различных составов сплавов Co_2YZ ($\text{Y} = \text{Cr, Mn, Fe}$; $\text{Z} = \text{Al, Si, Ge}$) подтвердили высокую точность метода, сопоставимую с результатами моделирования Монте-Карло и эмпирическими соотношениями.

Основным преимуществом метода среднего спина является его аналитический характер, что позволяет существенно сократить вычислительные ресурсы и время исследований без значительной потери точности. Это делает метод особенно перспективным для предварительного скрининга материалов в спинтронике и других областях, где требуется быстрая оценка магнитных свойств.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение области применения метода к сплавам Гейслера и другим материалам с более сложным химическим составом, а также на интеграцию метода с расчётами на основе теории функционала плотности для повышения точности предсказаний. Проведённая работа подтверждает, что метод среднего спина является надёжным инструментом для моделирования магнитных фазовых переходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загребин, М. А. Кристаллическая структура, фазовые диаграммы, электронные и магнитные свойства трех-, четырех- и пятикомпонентных сплавов Гейслера : специальность 01.04.07 «Физика

конденсированного состояния» : Диссертация на соискание доктора физико-математических наук / Загребин, М. А. ; Челябинский государственный университет. — Челябинск, 2021. — 326 с.

2. Мирошкина, О. Н. Структурные, магнитные, электронные и термодинамические свойства сплавов Гейслера на основе Ni, Fe и Pd : специальность 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» : Диссертация на соискание кандидата физико-математических наук / Мирошкина, О. Н. ; Челябинский государственный университет. — Челябинск, 2020. — 165 с.

3. Афремов, Л. Л., Белоконов, В. И., Дьяченко, О. И., Петров, А. А. Метод случайного поля в магнетизме наночастиц [Текст] / Л. Л. Афремов, В. И. Белоконов, О. И. Дьяченко, А. А. Петров — 1 — Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016 — 110 с.

УДК 66

Булгакова А.А., Посохова В.Ф., Вергейчик А.В.

Научный руководитель: Ключникова Н.В. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИМЕРИЗАТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА

В стоматологической практике врачи используют различные реставрационные материалы в зависимости от разных клинических ситуаций: постановка коронок, пломб, виниров, вкладок, накладок или шин. Для этих целей используют дисперсно-армированные композиционные материалы, включающие разноразмерные наполнители. Однако для обеспечения эстетических свойств реставраций – соответствие пломбировочного материала естественному блеску эмали зуба, необходимо использовать микронаполнители, которые не обеспечивает необходимых прочностных показателей. Поэтому разработка технологии получения предварительно полимеризованных частиц, состоящих из олигомерного связующего и мелкодисперсного наполнителя с целью оптимизации технологии производства, является актуальным направлением [1].

Для получения наполненного полимеризата использовали олигомерное связующее (бис-ГМА, ТГМ=50:50% масс.) и неорганический стеклонеполнитель «Barium Borosilicate EEG102-0,7»,

в качестве инициатора полимеризации использовали перекись бензоила (ПБ). Проводили перемешивание механическим способом в планетарном смесителе DPM-4 до получения однородной массы, затем проводили термическую полимеризацию и последующее измельчение наполненного полимеризата. Для дальнейшего исследования были выбраны образцы №1 и №2, состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1. - Состав наполненных полимеризатов №1 и №2

Состав	Образец 1	Образец 2
	Содержание, %	
Олигомерное связующее (УДМА, ТГМ, ПБ)	25	50
«Barium Borosilicate EEG102-0,7»	70	-
Предварительно ашплетированный ОХ-50	5	50

Гранулометрический состав определялся методом лазерной дифракции света с технологией PIDS на универсальном жидкостном модуле анализатора размера частиц «LS 13 320» (Beckman Coulter, США) с ультразвуковым гомогенизатором. [2]. По основным критериям оценки гранулометрического состава средний размер частиц наполненного полимеризат №1 и №2 составил 14,19 и 2,362 мкм соответственно.

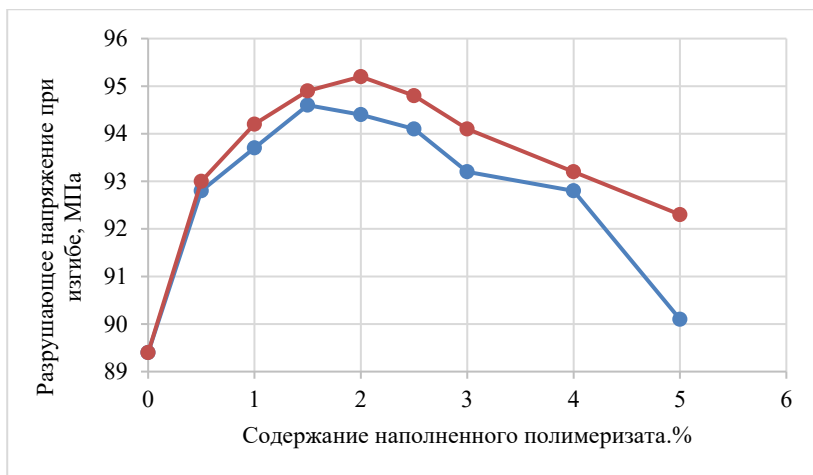


Рис. 1.— Зависимость разрушающего напряжения при изгибе от содержания в ненаполненной отвержденной композиции образцов наполненного полимеризата 1-2.

Использованные для модификации олигомерного связующего образцы №1 и №2 повышают разрушающее напряжение при изгибе в разной степени (рис. 1). В случае добавления наполненного полимеризата №1 разрушающее напряжение при изгибе достигает максимального значения при его 1,5% содержании. В случае добавления наполненного полимеризата №2 разрушающее напряжение при изгибе достигает максимального значения при его 2% содержании, что вероятнее всего связано с более равномерным распределением ОХ-50 в олигомерном связующем.

Проведена оценка основных физико-механических свойств образцов композиционных материалов, в состав которых входят тонкодисперсные разно размерные наполнители и олигомерное связующее, состав которых представлен в таблице 2. Нижеуказанные образцы 1-3 готовили в реакторе ДПМ-4 до образования высоконаполненной гомогенной массы.

Таблица 2. – Состав наполненных композиционных материалов

Сырьевые Компоненты	Процентное содержание, % масс.		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Олигомерное связующее (табл.1)	30	23,4	24,5
Стеклонаполнитель барийборсиликатный	24,5	29,6	28,0

ESSCHEM 102-07 (0,7 мкм)			
Стеклонаполнитель стронцийсиликатный ESSCHEM 103-3 (3 мкм)	37	37	37
Диоксид кремния (Аэросил ОХ- 50)	6	6	6
Диоксид кремния (Аэросил А-90)	2,5	2,5	2,5
Наполненный полимеризат (1)	-	1,5	-
Наполненный полимеризат (2)	-	-	2

– (1) – без содержания порошка, наполненного полимеризата – основа материала «ДентЛайт»-нано; (2) – содержит 1,5% наполненного полимеризата: олигомерное связующее/стеклонаполнитель барийборсиликатный ESSCHEM 102-07/ОХ-50; (3) – содержит 2% наполненного полимеризата: олигомерное связующее/ОХ-50.

Введение в состав композиционного материала «ДентЛайт»-нано порошков наполненного полимеризата №1, №2 в количестве 1,5% масс. и 2% масс., позволило увеличить общую загрузку стеклонаполнителя барийборсиликатного ESSCHEM 102-07 (0,7 мкм) на 17% и 12,5% соответственно. Вероятнее всего это связано с малой площадью удельной поверхности наполненного полимеризата, в сравнении с обычными наполнителями.

Для оценки основных физико-механических свойств тестируемые образцы отверждали с помощью стоматологического фотополимеризатора в течение 60 секунд согласно рекомендациям, изложенным в ГОСТ Р 56924–2016 [3]. Спектр излучения 420-490 нм перекрывает диапазон инициации камфорохинона, максимум поглощения которого 475 нм. Разрушающее напряжение при изгибе определяли при нагружении образцов в виде балок методом трехточечного изгиба при помощи разрывной машины model 3345 (Inston, США). Скорость движения траверсы – $0,75 \pm 0,25$ мм/мин.

Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Физико-механические характеристики наполненных композиционных материалов

№ п/п	Прочность при изгибе, МПа	Модуль упругости при изгибе, ГПа	Прочность при диаметральном разрыве, МПа
1	124,91 $\pm$ 4,50	9,57 $\pm$ 1,54	56,35 $\pm$ 1,20

2	135,81±3,89	10,47±2,43	55,22±1,20
3	125,78±4,52	9,83±2,00	54,83±1,20

– (1) – основа «ДентЛайт»-нано; (2) – содержит 1,5% наполненного полимеризата: олигомерное связующее/стеклонаполнитель барийборсиликатный ESSCHEM 102-07/OX-50; (3) – содержит 2% наполненного полимеризата: олигомерное связующее/OX-50.

Установлено, что в случае добавления наполненных полимеризатов №1и №2 разрушающее напряжение при изгибе достигает максимального значения 1,5% масс. и 2 % масс. соответственно.

Определено, что показатель прочности при изгибе и модуль упругости образца, содержащего в своем составе 1,5% наполненного полимеризата №1, составляет 135,81 МПа и 10,47 ГПа соответственно, что на 8% выше, чем у стандартного образца. Показатель прочности при диаметральной разрыве образца, содержащего в своем составе 2% на 3,3% масс. меньше, чем у содержащего 1,5% и композиционного материала «ДентЛайт»-нано.

Удалось снизить липкость композиционной пасты к рабочим инструментам и увеличить степень полировки при проведении процедуры реставрации твердых тканей зуба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключникова, Н. В., Полимерный композиционный материал на основе термопластичного полиимида / Н. В. Ключникова, С. А. Гордеев, М. Д. Гордиенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2017. — №12. — С. 126-129.

2. ISO 13320:2020 Particle size analysis — Laser diffraction methods. — URL: <https://www.iso.org> (дата обращения 15.05.2025).

3. ГОСТ Р 56924–2016: Стоматология. Материалы полимерные восстановительные.

*Вергейчик А.В., Педан Д.О., Клепикова М.А.
Научный руководитель: Ключникова Н.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ КАК СВЯЗУЮЩИЙ КОМПОНЕНТ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Эпоксидные смолы широко применяются в различных отраслях промышленности. Связующие свойства смол обусловлены наличием эпоксидных групп, которые вступают в химическую реакцию с отвердителем, создавая прочную трёхмерную полимерную структуру, способную выдерживать значительные механические и термические нагрузки. Полученная структура надёжно сцепляется с различными поверхностями, заполняя микропоры и образуя прочное соединение [1]. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, а именно высокой адгезионной способности, механической прочности, термостойкости и устойчивости к воздействию агрессивных химических сред, смолы эффективно скрепляют различные материалы между собой. Они обеспечивают долговечность конструкций к внешним воздействиям, включая колебания температур, влажность и химическое загрязнение. Именно поэтому эпоксидные материалы используют в строительстве в качестве связующего компонента.

На сегодняшний день актуальность изучения эпоксидных смол обусловлена необходимостью поиска более эффективных и экологически безопасных материалов, способных обеспечить надёжность конструкций при одновременном снижении затрат на эксплуатацию и ремонт. Разработка новых составов, включающих модифицированные наполнители, биосовместимые компоненты и технологии низкотемпературного отверждения, позволяет существенно расширить применения смол.

Композиты на основе эпоксидных смол используются в строительной промышленности при изготовлении несущих элементов зданий и сооружений, гидроизоляционных и декоративных покрытий, устройстве полов, штукатурных покрытий со специальными свойствами [2]. Отмечена высокая эффективность их применения при реконструкции и ремонте зданий. Особенно они востребованы при восстановлении и усилении строительных конструкций, устройстве стыков сборных элементов, при защите конструкций от действия окружающей среды.

Одним из преимуществ эпоксидных смол является широкая возможность модификации структуры для повышения эксплуатационных свойств эпоксидных полимеров и композитов на их основе. Наиболее широко применяются физико-химические методы модификации структуры эпоксидных полимеров. Например, регулирование состава эпоксидных строительных композитов достигается путем введения различных функциональных добавок: минеральных и органических наполнителей, пластификаторов, поверхностно-активных веществ. В результате можно получить материалы с заданным комплексом эксплуатационных свойств [3].

Существенный интерес представляет внедрение биоразлагаемых и возобновляемых компонентов в состав эпоксидных связующих (рис. 1.). Использование сырья растительного происхождения способствует снижению токсичности и улучшает экологический профиль материала без значительного ухудшения его технических характеристик. Такие разработки особенно актуальны в условиях роста требований к устойчивому развитию и экологической безопасности производства.



Рис. 1. Состав эпоксидной смолы

За последние два десятилетия наблюдается устойчивый рост применения эпоксидных смол в строительстве, связанный с увеличением масштабов инфраструктурных проектов, ужесточением требований к долговечности и экологичности строительных материалов (рис. 2.). Согласно отраслевой статистике, с 2000 года объёмы использования эпоксидных смол в данной сфере увеличились более чем в 3,5 раза. Особенно заметен рост в период 2015–2025 годов, что

обусловлено переходом к энергосберегающим технологиям, применением армированных композитов и развитием направлений ремонта и усиления бетонных конструкций. Ожидается, что в ближайшие годы темпы роста сохранятся за счёт спроса на высокопрочные и экологически устойчивые полимерные материалы.

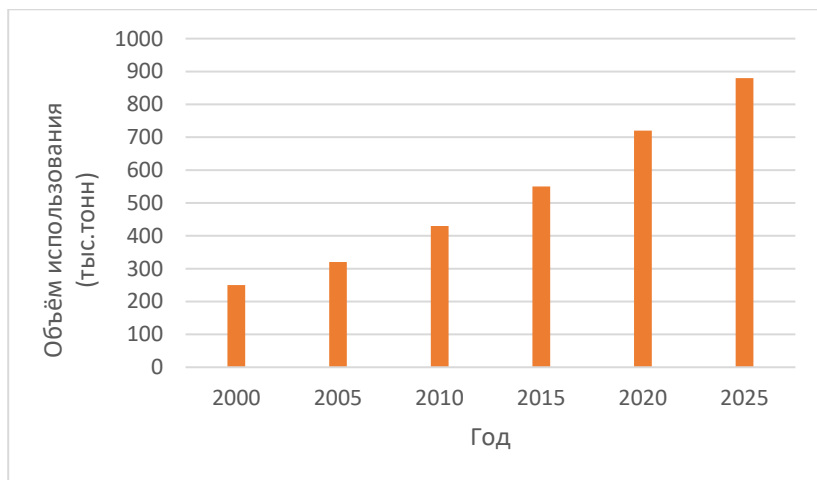


Рис. 2. Использование эпоксидных смол в строительной промышленности

Таким образом, эпоксидные смолы являются перспективной основой для создания полимерных материалов, востребованных в строительной отрасли. Дальнейшее совершенствование их состава и технологии переработки позволит получить материалы с улучшенными свойствами, соответствующими требованиям современного промышленного производства.

Благодарность: Исследования для данной работы выполнены на базе Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключникова Н.В. Композиционные полимерные материалы: учебное пособие / Н.В. Ключникова, Л.Н. Наумова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 114 с.
2. Ануфриев, А. Н. Эпоксидные смолы и отвердители / А. Н. Ануфриев, В. Б. Крылов. – Москва: Химия, 2019. – 288 с.

3. Кузнецов, В. В., Михайлова, Н. И. Эпоксидные композиты: Проблемы и решения. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2022. – 145 с.

УДК 58.006

Воронова К.В.

Научный руководитель: Лукач М.М., преп.

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород, Россия*

СОСТАВ ФЛОРЫ СЕЛА СТАНИЧНОЕ АЛЕКСЕЕВСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Село Станичное расположено вблизи города Алексеевка Белгородской области, входит в состав Хрещатовского сельского поселения. Местность в окрестностях села Станичное пересеченная, холмистая. На территории поселения нет рек, раньше существовала река Кобылка, поэтому было создано несколько прудов, в основном для хозяйственных нужд. Леса встречаются редко, большая часть территории представлена степью.

Исследование проводилось в период с мая 2024 по ноябрь 2025 года, в связи с продолжительным вегетационным периодом, который связан с длительным потеплением. В ходе работы были составлены спектры для анализа флоры.

Систематический анализ состава флоры показал, что в окрестностях села произрастает 189 растений, относящихся к 50 семействам. Типичными представителями семейства Asteraceae являются виды родов: Centaurea, Arctium, Artemisia, Carduus, Hieracium и др. [1]. Из семейства Poaceae наиболее распространены виды родов: Poa, Stipa, Festuca, Phleum, Alopecurus и др. В семействе Lamiaceae наиболее важны виды родов: Origanum, Phlomis, Thymus, Prunella, Salvia и др.

Ведущие 10 семейств исследуемой флоры территории, которые отражают и почвенно-климатические условия, и современное состояние флоры, включают 114 видов, что составляет 60% всех видов, обнаруженных на данной территории (Рис. 1). Остальные 40 семейств включают 75 видов растений, что составляет 40% видов.

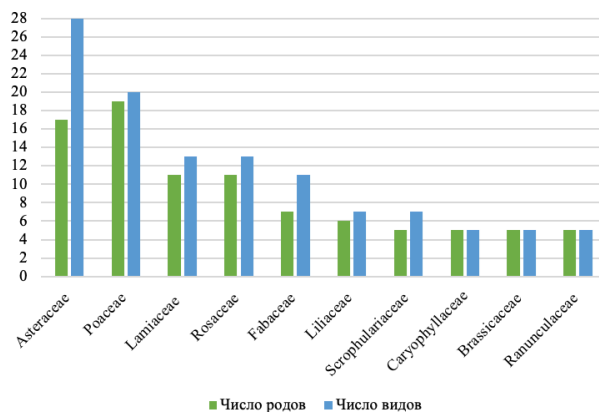


Рис. 1 – Состав наиболее крупных семейств флоры села Станичное

Анализ состава жизненных форм по эколого-морфологической классификации представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав жизненных форм флоры села Станичное

Жизненные формы	Количество видов	Количество видов в %
Древесные растения		
Деревья	11	6%
Кустарники	9	4%
Травянистые растения		
Стержнекорневые	75	36%
Корневищные	24	11%
Длиннокорневищные	15	7%
Короткокорневищные	9	4%
Дерновинные	10	5%
Клубнеобразующие	4	2%
Луковичные	3	1%
Двулетники	15	7%
Однолетники	36	17%

Полученные данные показывают, что в настоящее время на исследуемой территории преобладает травянистая растительность (она составляет 90%), которая представлена в основном многолетними травянистыми растениями (их 66%). В лесу произрастают *Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Alnus incana* и др. [2].

Исследуя ресурсное значение растительности, отметили большое разнообразие и хозяйственную ценность растений данной территории. Оценка флоры по ресурсному значению представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка флоры окрестностей села Станичное

Группы растений по ресурсному значению	Количество видов
Лекарственные	55
Пищевые	20
Сорные	16
Дубильные	23
Эфирномасличные	27
Медоносные	31
Красильные	17
Кормовые	22
Декоративные	18
Ядовитые	15

Особенно много здесь встречается лекарственных растений, которые используются как в традиционной, так и в народной медицине – это *Origanum vulgare*, *Hypericum perforatum*, *Potentilla recta*, *Tiliacordata*, *Fragaria vesca*, *Arctium lappa*, *Bidens tripartita*, *Chelidonium majus* – суммарно 55 лекарственных форм растений.

Растения, занесенные в Красную книгу Белгородской области, произрастающие в окрестностях села Станичное Алексеевского района представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Охраняемые растения села Станичное

Название растений		Название семейства		Категория и статус
Русское	Латинское	Русское	Латинское	
Адонис (Горицвет) весенний	<i>Adonis vernalis</i> L.	Лютиков ые	<i>Ranuncu- laceae</i>	VI – особо ценный для территории области Евразийский степной вид
Горечавка крестовид- ная	<i>Gentiana cruciata</i> L.	Горечавк о-вые	<i>Gentiana- ceae</i>	III – редкий Евразийский лугово-степной вид
Ковыль перистый	<i>Stipa pennata</i> L. (<i>S. joannis</i> Celak.)	Злаки (Мятлико вые)	<i>Poaceae</i> (<i>Gramineae</i>)	II – сокращающийся в численности Евразийский степной вид
Ломонос цельнолист ный	<i>Clematis integrifolia</i> L.	Лютиков ые	<i>Ranuncu- laceae</i>	V – уязвимый на территории области Евразийский

Название растений		Название семейства		Категория и статус
Русское	Латинское	Русское	Латинское	
				степной вид
Лен желтый	<i>Linum flavum</i> L.	Льновые	<i>Linaceae</i>	VI – особо ценный Европейско- Кавказский степной вид
Черноголов ка крупноцвет ковая	<i>Prunella grandiflora</i> (L.) Scholl.	Яснотков ые	<i>Lamiaceae</i>	III – редкое растение, Европейско- Малоазиатский лугово-степной вид
Ясменник сероплодн ый	<i>Asperula tephrocarpa</i> Czern. Ex. M. Pop. Et Chrshan	Маренов ые	<i>Rubiaceae</i>	VI – особо ценный на территории области вид

На исследуемой территории нами отмечено немало степных растений, шесть из них занесены в Красную книгу Белгородской области. Поэтому изучение степных растений в окрестностях села Станичное представляет большой интерес для ботаников и экологов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маевский, П.Ф. Флора средней полосы европейской части России [Текст] / П.Ф. Маевский – 10-е изд. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 600 с.

2. Миркин, Б.М. Высшие растения: краткий курс систематики с основами науки о растительности [Текст] / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.А. Мулдашев. – Москва: Логос, 2001. – 264 с.

3. Присный, А.В. Красная книга Белгородской области. Редкие и исчезающие растения, грибы, лишайники и животные [Текст] / А.В. Присный. – Белгород: Официальное издание, 2005. – 532 с.

Галендухина А.А.

*Научный руководитель: Ханабян Т.А., канд. биол. наук, доц.
Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

В настоящее время интернет-технологии прочно вошли в жизнь современного человека. По данным отчёта ООН на февраль 2025 года на Земле проживает 8,20 млрд человек, при этом 67,9% всех жителей нашей планеты пользуются интернетом [4]. Самой активной группой интернет-пользователей является молодежь в возрасте от 18 до 24 лет, что приходится на период студенчества. Современные студенты активно используют интернет для обучения, общения, саморазвития, развлечения и т.п. Однако цифровая среда представляет для человека не только возможности, но и несет угрозу информационно-психологической безопасности личности.

Информационно-психологическая безопасность личности — это защищенность человека негативных информационно-психологических воздействий [2].

Но основе анализа работ современных исследователей были выделены следующие угрозы информационно-психологической безопасности личности [1,3]:

- кибербуллинг (травля в цифровом пространстве - Интернете);
- формирование интернет-зависимости;
- фишинг и мошенничество;
- деструктивное информационное воздействие (фейковые новости и дезинформации);
- информационный стресс.

Нами был проведён социологический опрос 79 респондентов о том какие угрозы в себе несет глобальная сеть Интернет и насколько респонденты осведомлены о способах защиты. Участками опроса были студенты СГУПС в возрасте от 18 до 20 лет.

86% респондентов считают, что в интернете есть невидимая опасность, но только 65% реально опасаются, что их личные данные будут доступны третьим лицам.

Большинство опрошенных сталкивали в сети с такими угрозами как спам (24%), взлом страницы в социальной сети (19%), вирусы (15%) и мошенничество (15%) (Рис. 1).

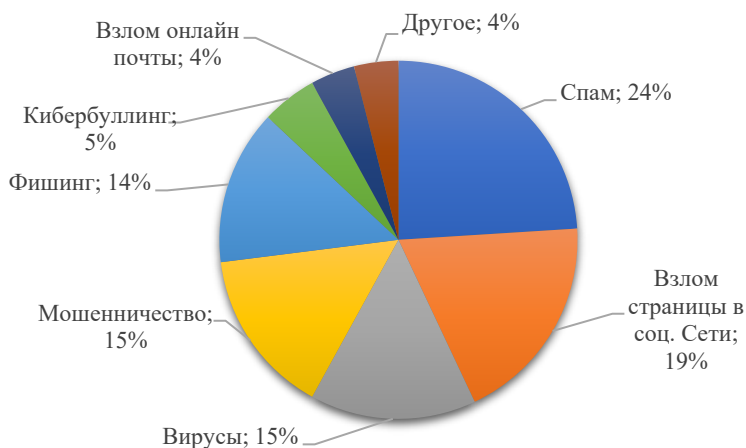


Рис. 1- Угрозы в сети Интернет, с которыми сталкивались студенты, %

Далее мы проанализировали насколько респонденты осведомлены о правилах безопасного поведения в сети Интернет. Надёжные пароли для доступа к Интернет-ресурсам напрямую влияют на нашу безопасность в сети. По данным опроса 73% опрошенных составляют сложные пароли. Меняют пароли хотя бы один раз в год только 24% опрошенных. Также проблемой является то, что половина респондентов (45%) имеют один и тот же пароль для доступа к различным Интернет-ресурсам.

Самыми популярными методами защиты от угроз в интернет – среде среди студентов являются следующие:

- обращать внимание на подозрительные ссылки и сайты (12,2%),
- использовать антивирусы (11,9%),
- не отправлять свои персональные данные без шифрования (11,2%),
- использовать надёжные пароли (10,8%) (Рис. 2)



Рис. 2 Осведомленность студентов о методах защиты в сети Интернет

Таким образом, исследование выявило, что студенты осведомлены о существующих методах защиты в сети Интернет, однако не всегда придерживаются правил безопасного поведения.

Особое значения для безопасности в сети приобретает нетикет как элемент цифровой гигиены. Вот лишь несколько правил: анонимность не даёт права оскорблять других, необходимо проверять информацию перед репостом, важно избегать излишней откровенности в переписке, не переходить по подозрительным ссылкам, не доверять слепо даже знакомым – их аккаунт может быть взломан и т.п. Знание правил нэтикета поможет избежать утечки данных, мошенничества и вирусов, что сделает Интернет-пространство безопасным инструментом для учебы и общения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллоева А.А., Ахророва М.У., Бурнашев Р.Ф. Информационно-психологическая безопасность в открытых

информационных системах // Science and Education. 2023. №5. С. 845-856

2. Баришполец В.А. Информационно-психологическая безопасность: основные положения // РЭНСИТ. 2013. №2. С. 62-86.

3. Джура Г. С, Иванченко В. Я. Особенности влияния цифровизации на психику личности молодого человека // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2024. №4. С. 553-555

4. Статистика интернета и соцсетей на 2024 год — цифры и тренды в мире и в России [Электронный ресурс] // Web-санапе. – Режим доступа: <https://www.web-sanape.ru> (дата обращения: 16.04.2025).

УДК 316.77

Галендухина А.А.

*Научный руководитель: Карицкая И.М., канд. соц. наук, доц.
Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

ВОВЛЕЧЁННОСТЬ СТУДЕНТОВ В АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

В современном мире быстро меняется рынок труда. С каждым годом появляется всё больше новых профессий, а старые уходят. И складывается такая обстановка, что квалифицированные специалисты нужны здесь и сейчас, чтобы они быстро обучались новому и могли приносить прибыль компании и выводить ее на новый уровень. А будущие квалифицированные специалисты зарождаются в нынешних студентах. Которые должны овладеть базовыми знаниями в интересной им сфере, а в будущем накладывать на эти знания другие. Но чтобы было на что наслаивать новые знания, уже сейчас студенту нужно формировать фундамент. Ходить на лекции и семинары, выполнять домашнюю работу, задавать вопросы по непонятым темам и складывать всё по полочкам у себя в голове, тем самым собирая свой багаж знаний. И тогда появляется вопрос, а достаточно ли ходить на все занятия и делать домашнюю работу? Конечно же нет, ключевую роль в формировании компетентного специалиста в будущем, уже сейчас влияет вовлечённость студентов в образовательный процесс во время аудиторных занятий. Поэтому стало важным изучать вовлечённость студентов и выявлять факторы, влияющие на повышение её уровня.

На основе анализа исследований учёных были выделены следующие ключевые понятия темы:

Вовлечённость — результат удовлетворения базовых потребностей сотрудника, который описывается через включённость в работу, удовлетворённость работой и трудовой энтузиазм [1, С. 115].

Эмоциональная вовлечённость — это отношение студента к учебному процессу, его реакция на университет и всё, что с ним связано, ощущение принадлежности к нему и осознание своей ценности для университета через признание личных академических достижений [5, С. 102].

Поведенческая вовлечённость — это примерное поведение студента, выполнение академических задач и участие во внеурочной деятельности [5, С. 113].

Нами был проведён социологический опрос в форме анкетирования 33 респондентов. Участниками опроса были студенты факультета «Публичное управление и социальные коммуникации» университета СГУПС. Из всех респондентов 78,8% женщин и 21,2% мужчин. Все респонденты в возрасте 19-20 лет. Студенты 2 курса.

Большинство респондентов (42,4%) оценивают свой уровень вовлечённости как высокий. А 33,3% студентов - средний (рисунок 1).

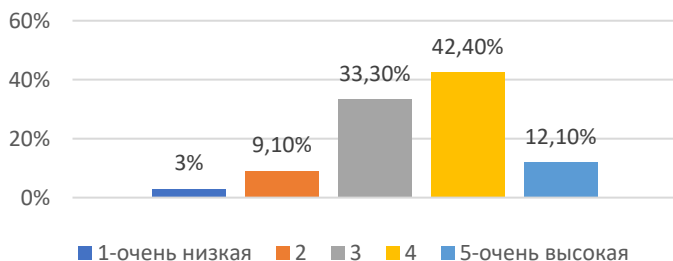


Рис. 1 – Уровень вовлечённости студентов СГУПС

Респонденты считают, что больше всего на их вовлечённость влияет уровень утомляемости (39,4%), отсутствие интереса к материалу (30,3%), низкое качество преподавания (15,2%), посторонние отвлекающие факторы (12,1%).

Изучения вопроса о том, что влияет на уровень вовлечённости дало понять, что она растёт во время практических занятий и групповых дискуссий. Подробные результаты представлены на рисунке 2.



Рис. 2 – Уровень вовлечённости студентов в зависимости от вида занятия

Далее мы проанализировали мнение респондентов о влиянии места проведения занятия на уровень включённости и активности студента. 69,7% оценили его как высокий. А 51,5% студентов считают, что мультимедийное сопровождение высоко влияет на их вовлечённость. Что говорит о том, что помимо внутренних факторов, влияющих на вовлечённость, так же существуют внешние. Они заключаются в техническом сопровождении и методах преподавания.

Анализ результатов исследования вовлеченности студентов факультета ПУСК показал, что большинство респондентов оценивают свой уровень вовлеченности в учебный процесс на 4 из 5. Основными факторами, снижающими вовлеченность, являются высокая утомляемость и отсутствие интереса к материалу. Студенты наиболее вовлечены во время практических занятий и часто участвуют в обсуждениях. Важными факторами повышения вовлеченности также признаны комфортное место проведения занятий и мультимедийное сопровождение информации.

Выявленные общие тенденции позволяют сделать вывод о необходимости внедрения в учебный процесс большего количества интерактивных и практико-ориентированных элементов, а также развития открытой и поддерживающей коммуникации между преподавателями и студентами.

Для борьбы с низкой вовлечённостью были разработаны следующие рекомендации:

а) создание интерактивной среды. Использование современных технологий (качественные компьютеры, проекторы и интерактивные доски), а также внедрение активных методов обучения (групповые задания, дискуссии, ролевые игры и т.д.);

б) сосредотачиваться на предмете, убирать отвлекающие факторы;

в) для повышения усидчивости можно использовать практики доведения начатого дела до конца, чередование умственной и физической нагрузки (также сложных и простых задач), мотивировать себя;

г) для повышения внимательности можно составлять таблицы Шульте, активно слушать, фокусирование на одном предмете в течение длительного времени;

д) писать конспект несмотря на отвлекающие факторы, так информация будет больше запоминаться и откладываться в голове при письме и визуальном восприятии текста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабалина, В. И. Вовлечённость работников: систематизация подходов к определению и измерению / В.И. Кабалина, А.В. Макарова // *Организационная психология*. – 2022. – №3. – С. 110-136. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 19.04.2025).

2. Малошенок, Н.Г. Действительно ли «ведущие» вузы лучшие во всём? Как статус и размер российских вузов взаимосвязан со студенческой вовлечённостью / Н.Г. Малошенок // *Высшее образование в России*. – 2023. – №12. – С. 48-64. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 19.04.2025).

3. Смирнов, П.С. Вовлечённость персонала: типы, уровни проявления и связи с практиками управления человеческими ресурсами / П.С. Смирнов // *Организационная психология*. – 2019. – №1. – С. 81-94. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 19.04.2025).

4. Танина, М. А. Вовлечённость в образовательный процесс российских и иностранных студентов в условиях применения цифровых дистанционных образовательных технологий в российских вузах / М.А. Танина, В.В. Бондаренко, В.А. Юдина, О.А. Зябликова // *Вестник ГУУ*. 2022. №10. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 07.11.2024).

5. Щеглова, И.А. Взаимосвязь студенческой вовлеченности и образовательных результатов студентов российских университетов / И.А. Щеглова // *Общая педагогика*. – 2021. – С. 100-212. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 19.04.2025)

*Галимуллина И.И., Никулина Е.М.,
Научный руководитель: Хакимуллина Л.Ш., канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ С МЕХАНИЗМОМ ПОЛИСПАСТ

Теоретическая механика является фундаментом для изучения движения и равновесия материальных тел и механических систем. В ее рамках существует множество теорем и законов, позволяющих анализировать и прогнозировать поведение сложных механических систем. Одной из важнейших является теорема об изменении кинетической энергии механической системы, позволяющая устанавливать связь между изменением кинетической энергии механической системы и работой сил, действующих на систему. Теорема особенно эффективна при решении задач, в которых необходимо определить скорости точек системы в зависимости от пройденного пути, при этом информация о времени движения не требуется [1]. Целью статьи является систематизация методики применения данной теоремы для решения задач теоретической механики.

Концепция кинетической энергии и ее связи с работой начала формироваться в XVII веке благодаря работам Готфрида Вильгельма Лейбница и Христиана Гюйгенса. Лейбниц ввел понятие *vis viva* (живая сила), которое можно рассматривать как предшественника кинетической энергии. Точное математическое выражение теоремы, в современном виде, было сформулировано и развито в XVIII и XIX веках усилиями таких ученых, как Жан Лерон Д'Аламбер, Леонард Эйлер и Жозеф Луи Лагранж.

Рассмотрим конкретную задачу, составленную нами, и решим ее с помощью теоремы об изменении кинетической энергии.

Однако для лучшего понимания принципа решения задачи рассмотрим, что такое полиспаст, принцип его работы.

Полиспаст – это механизм, состоящий из системы огибаемых верёвкой (тросом) подвижных и неподвижных блоков для подъёма и перемещения грузов. Полиспасты широко применяются в грузоподъемных, транспортирующих и сельскохозяйственных машинах, на железнодорожном транспорте, в цирковом оборудовании

и многих других случаях [2]. Полиспасты дают выигрыш как в силе, так и в скорости (пути). Они содержат подвижные и неподвижные оси с установленными на них блоками, охватываемыми гибким органом, один конец которого — приводной, а второй — кинематически соединен с одной из осей. Блоки на подвижной оси называют подвижными, на неподвижной — неподвижными [3].

Итак, приступим к задаче. Старый рыбак после удачного дня на Азовском море, пытается вытащить свой улов на берег. Он использует самодельный полиспаст, чтобы облегчить себе задачу. Верхняя точка крепления — прочная ветка ивы, растущая на берегу. Нижний блок подвешен к мешку с рыбой. Кратность полиспаста равна 3. Для подъема свободный конец нити подвязан к камню массой 20 кг. Масса мешка с рыбой 45 кг, высота обрыва 2 м.

- 1) Какую скорость приобретет мешок с рыбой в конце подъема?
- 2) Найти максимальную силу натяжения нити, чтобы он не оборвался?

Решение:

Изобразим схему подъема мешка с рыбой с помощью полиспаста (Рис. 1).

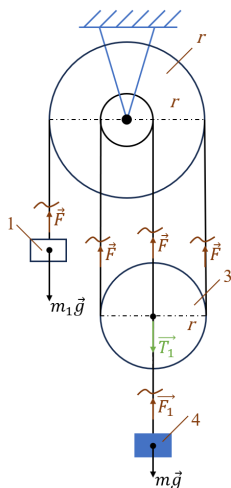


Рис. 1 Схема подъема мешка с рыбой с помощью полиспаста

Механическая система в полностью состоит противовеса 1 массой m_1 , неподвижного блока 2, подвижного блока 3 радиуса r и груза (мешка с рыбой) с массой m , массами блоков пренебрегаем.

Если пренебречь массами блоков, то натяжение нити, соединяющей противовес с блоками, везде будет одинаковым:

$$T = m_1 g. \quad (1)$$

При этом из условия равновесия подвижного блока 3 – натяжение нити, соединяющей груз с подвижным блоком, будет равно:

$$F_1 = 3F = 3m_1 g = 3 * 20 * 9,81 = 588,6 \text{ Н}.$$

Таким образом, выигрыш в силе составляет 1:3.

Для того чтобы система пришла в движение необходимо увеличить массу противовеса на величину Δm .

Система имеет одну степень свободы, поэтому выразим скорость груза $\vec{v}_1$ через скорость противовеса $\vec{v}$ (Рис. 2).

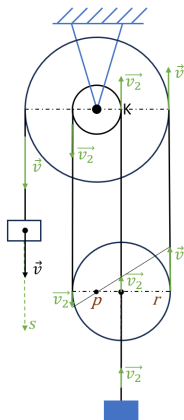


Рис. 2 Схема подъема мешка с рыбой с помощью полиспаста с указанием скоростей

$$\text{Радиус неподвижного блока 2 равен: } r + \frac{r}{2} = \frac{3}{2}r \quad (2)$$

Тогда его скорость точки К находящейся на расстоянии $\frac{r}{2}$ от оси от вращения в 3 раза меньше, чем на ободе: $v_2 = \frac{v}{3}$.

$$(3)$$

Подвижный блок будет совершать плоскопараллельное движение. Его мгновенный центр скоростей P будет находиться на расстоянии $\frac{r}{2}$ от его центра масс C . Так как центр масс подвижного блока движется прямолинейно, то скорость груза совпадает со скоростью центра масс

подвижного блока и равен $\frac{v}{3}$. Определим его скорость груза как функцию пройденного пути с помощью теоремы об изменении кинетической энергии.

$$T - T_0 = A^e \quad (4)$$

Рассмотрим движение из состояния покоя: $T_0 = 0$.

$$T = T_{\text{камня}} + T_{\text{мешка с рыбой}} = \frac{(m_1 + \Delta m)v^2}{2} + \frac{3m_1 v^2}{9} = \frac{v^2}{2} \left(m_1 + \frac{m_1}{3} + \Delta m \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} m_1 + \Delta m \right) v^2$$

$$\text{Работа внешних сил равна: } A^e = (m_1 + \Delta m)gS - 3m_1 * \frac{S}{3}, \quad (5)$$

где S – пройденный противовесом путь.

Подставим кинетическую энергию и работы в формулу (4):

$$\frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} m_1 + \Delta m \right) v^2 = \Delta mgS \quad (6)$$

$$\text{Откуда } v = \sqrt{\frac{2\Delta mgS * 6}{4m_1 + 3\Delta m}}. \text{ Соответственно скорость груза } v_2 = \frac{v}{3} \quad (7)$$

$$\text{Для получения ускорение груза продифференцируем выражение (6) по времени } \left(\frac{4}{3} m_1 + \Delta m \right) v \frac{dv}{dt} = \Delta mg \frac{dS}{dt} \quad (8)$$

$$\text{откуда получаем } a = \frac{3\Delta mg}{4m_1 + 3\Delta m} - \text{условие противодействия.} \quad (9)$$

$$\text{Ускорение груза } a_2 = \frac{a}{3} = \frac{3\Delta mg}{4m_1 + 3\Delta m}. \quad (10)$$

Определяем натяжение нити F при движении. Обрежем нить перед противовесом и применим к противовесу принцип Даламбера:

$$F = (m_1 + \Delta m)g - (m_1 + \Delta m)a \quad (11)$$

Натяжение нити, соединяющей груз с блоком соответственно равно:

$$\begin{aligned} F_1 &= 3m_1 g - 3m_1 * \frac{\Delta mg}{4m_1 + 3\Delta m} \\ &= 3 * 20 * 9,81 - 3 * 20 * \frac{(45 - 20) * 9,81}{4 * 20 + 3 * (45 - 20)} \\ &= 588,6 - 60 * \frac{245,25}{155} = 493,66 \text{ Н} \end{aligned}$$

Именно это значение составляет максимальную силу натяжения нити.

Для решения задачи с механизмом полиспаст на теорему об изменении кинетической энергии мы использовали алгоритм, включающий в себя анализ сил, вычисление кинетических энергий и работу сил. Новизна нашей работы заключается в подсчете максимальной силы натяжения нити. Дальнейшие исследования могут

быть направлены на расширение методики для решения более сложных задач, включающих учет веса блоков, сил трения, инерции, сопротивления воздуха, а также использовании законов Ньютона и принципа Д'Аламбера.

В заключение хочется отметить, что теорема об изменении кинетической энергии — важный инструмент в классической механике. Она упрощает анализ движения системы и решение задачи не сводится к дифференциальному уравнению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. — М.: Высшая школа, 2006. — 416 с.
2. Арбесман М. Ш. К вопросу о коэффициенте полезного действия полиспадов // Изв. вузов. Машиностроение. 1971. № 4.
3. Хабрат Н.И. Коэффициенты полезного действия подвижных и неподвижных блоков полиспада // Вестник машиностроения №2. - 2012. - С. 33-34.
4. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. — СПб.: Лань, 2002. — 736 с.
5. Жуковский Н.Е. Теоретическая механика. — М.: Наука, 1952. — 688 с.
6. Ковальский Б. С. Коэффициент полезного действия полиспада // Вестник машиностроения. 1976. № 1. С. 53–55.
7. Яблонский А. А. Курс теоретической механики / А. А. Яблонский. Ч. 2. М., 1962 и последующие издания.

УДК 004.05

Головин И.И.

Белгородский ГАУ, п. Майский, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Корпоративные информационные системы (КИС) представляют собой комплексные программно-аппаратные решения, предназначенные для автоматизации и интеграции бизнес-процессов различных подразделений организации. Они охватывают управление ресурсами (ERP), взаимоотношения с клиентами (CRM), документооборотом (EDMS), логистикой, аналитикой и другими

направлениями деятельности. Среди них особое значение приобретают CRM-системы, как инструменты управления клиентским опытом и повышения уровня обслуживания. Эффективность функционирования КИС является критически важной для достижения стратегических и операционных целей компании, а её объективная оценка требует применения количественных метрик, учитывающих как технические, так и организационные параметры.

Технические показатели эффективности включают в себя такие параметры, как надёжность, производительность, доступность и безопасность. Надёжность КИС выражается в способности системы функционировать без отказов в течение заданного времени. Ключевыми метриками здесь выступают вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ (MTBF) и среднее время восстановления (MTTR) [1]. Производительность системы оценивается с помощью таких количественных показателей, как пропускная способность (число операций в единицу времени), время отклика и задержки обработки запросов. Безопасность КИС измеряется числом обнаруженных уязвимостей, временем реагирования на инциденты, уровнем соответствия нормативным требованиям и политике информационной безопасности [2]. Кроме того, в условиях цифровой трансформации всё большее значение приобретает устойчивость систем к внешним воздействиям, включая киберугрозы, перебои в поставках оборудования и изменения нормативной базы.

Современные методологии оценки ИС также включают показатели доступности сервисов, управляемости и масштабируемости. Управляемость предполагает возможность централизованного мониторинга, предиктивного анализа и автоматического реагирования на инциденты. Ключевыми метриками здесь выступают среднее время реакции, полнота логирования и эффективность системы оповещений [3]. Масштабируемость отражает способность КИС к эффективному функционированию при увеличении объёмов данных и количества пользователей без существенного ухудшения производительности. Это особенно важно для CRM-систем, использующих облачные технологии и активно взаимодействующих с мобильными платформами.

Однако ограничиваться только техническими аспектами оценки нецелесообразно. Стратегическая эффективность КИС определяется её способностью соответствовать меняющимся требованиям бизнеса, обеспечивать гибкость, адаптивность и устойчивость. Адаптивность КИС означает возможность её оперативной настройки под изменяющиеся бизнес-процессы, минимизируя при этом затраты на доработку и внедрение новых функций. Примером может служить

CRM-система, способная подстраиваться под новые воронки продаж, модели взаимодействия с клиентами и регламенты обслуживания. В данном контексте актуальными становятся такие метрики, как время на внедрение изменений, доля повторного использования существующих модулей, уровень вовлечённости конечных пользователей и показатели удовлетворённости интерфейсом.

Также важным элементом оценки является устойчивость КИС к внешним воздействиям — экономическим, нормативным, технологическим. Метрики устойчивости включают время, необходимое для восстановления после внешнего сбоя (катастрофы, кибератаки), способность к отказоустойчивому функционированию, а также наличие резервных механизмов (зеркалирование, репликация, аварийное переключение). Всё это определяет готовность системы к функционированию в условиях неопределённости и высоких рисков, особенно в условиях частой смены бизнес-приоритетов и кризисных ситуаций, когда КИС становится ключевым элементом поддержки управленческих решений.

Для комплексной оценки эффективности КИС, необходимо учитывать совокупность показателей, включающих как технические характеристики, так и организационные аспекты: удобство пользовательского интерфейса, интеграцию с внешними сервисами, возможности масштабирования и кастомизации. Это особенно актуально при анализе CRM-систем, где результативность напрямую влияет на бизнес-показатели: рост числа лидов, повышение конверсии, увеличение LTV и снижение стоимости привлечения клиента. Кроме того, необходимо учитывать влияние КИС на внутренние бизнес-процессы: ускорение документооборота, снижение ошибок ввода данных, автоматизацию типовых операций и улучшение контроля качества выполнения задач [4].

При построении количественных метрик важно учитывать специфику бизнес-среды и внутренние процессы компании. Например, для телекоммуникационного сектора приоритетными становятся метрики доступности и пропускной способности, тогда как для компаний, которые занимаются розничной продажей товаров — гибкость в обработке заказов и интеграция с системами лояльности. В производственном секторе важна согласованность КИС с системами планирования и управления ресурсами (ERP), что требует оценки не только функционального соответствия, но и интеграции для обмена данными. Для таких целей могут использоваться метрики задержек синхронизации, частоты ошибок трансляции данных и коэффициента расхождения бизнес-метрик на разных уровнях системы.

Кроме того, важным направлением в современной практике оценки эффективности КИС является использование методов предиктивной аналитики и машинного обучения. Эти подходы позволяют выявлять скрытые закономерности в работе системы, прогнозировать узкие места и оптимизировать ресурсы. Например, анализ логов CRM-систем с помощью интеллектуальных алгоритмов позволяет предсказывать загрузку менеджеров, выявлять просадки в коммуникациях с клиентами и даже прогнозировать вероятность оттока. Это открывает перспективы не только для оценки текущего состояния, но и для построения прогнозных моделей развития системы с учётом изменений как внутренней, так и внешней среды.

Таким образом, применение количественных метрик для оценки эффективности корпоративных информационных систем представляет собой многоуровневый комплексный процесс, включающий как измерение технических параметров, так и оценку стратегических характеристик. Подходы, использующие только один из методов оценки эффективности КИС, оказываются недостаточными для принятия решений. Разработка сбалансированной системы метрик, охватывающей весь жизненный цикл КИС. Это позволяет обеспечить надёжную аналитическую базу для оценки эффективности и перспектив развития информационных систем в организации. Подобная система метрик может стать основой для доработки стандартов оценки КИС в отдельных отраслях, а также для построения универсальных методик оценки эффективности ИИС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чекал Е. Г., Чичев А. А. Надежность информационных систем: учебное пособие. — Ульяновск: УлГУ, 2012. — 127 с.
2. Миронов А. Л. Информационные технологии в экономике: учебное пособие. — Белгород: БелГАУ, 2016. — 116 с.
3. Булатов А. А. Оценка производительности информационных систем на основе анализа бизнес-процессов // Вестник НГТУ. — 2020. — № 4 (100). — С. 155–160.
4. Ерина Е. С., Короткова Н. Н. Исследование методов анализа эффективности процессов обслуживания пользователей корпоративной информационной системы // Студенческий научный форум. — 2017. — № 9. URL: <https://scienceforum.ru> (Дата обращения 5.5.25)

*Давыденко Т.С., Кудрявченко А.Т., Педан Д.О.
Научный руководитель: Городов А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИУРЕТАН-ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Эпоксидные смолы представляют собой олигомеры или мономеры, содержащие более одной эпоксидной группы. Из-за наличия реакционноспособных функциональных глицидиловых или оксиановых групп эпоксидные смолы вступают в реакции необратимого отверждения. Поэтому такие материалы относят к классу термореактивных смол, которые после полимеризации не меняют своей формы [1].

Эпоксидные смолы характеризуются длинной молекулярной структурой и обладают высокой адгезией из-за наличия активных центров молекуле. Это определяет применимость таких материалов в производстве лакокрасочных материалов, клеев, герметиков. По сравнению с другими смолами, эпоксидные обычно считаются малотоксичными, что важно в тех областях применения, где безопасность и охрана здоровья имеют первостепенное значение. Например, при производстве потребительских товаров или упаковки для пищевых продуктов [2].

Изделия из эпоксидных смол обладают повышенной хрупкостью, низкой ударной вязкостью и плохой стойкостью к растрескиванию, связанную с жесткоцепной структурой полимера. Ограниченная подвижность межузловых участков сетки плотносшитых полимеров приводит к снижению возможности развития локальных пластических деформаций и обуславливает низкие значения поверхностной энергии разрушения. Получаемые изделия из эпоксидных смол обладают высокой твердостью, но при этом являются хрупкими.

Композиционные материалы на основе эпоксидных смол, с улучшенными показателями ударной вязкости, большей гибкостью, сохраняющие твердость и высокую адгезию представляют интерес для промышленности [3-4].

Модификация эпоксидных смол может происходить введением полиуретановых преполимеров с различными функциональными группами. Предпочтительнее применение преполимеров с блокированными изоцианатными группами, что позволяет

регулировать скорость протекания реакции и снижает токсичность реагентов. Многочисленные исследования показывают, что на структуру и свойства получаемых композитов на основе эпоксидной смолы и уретанового преполимера влияют строение и молекулярная масса полиольного компонента [5-6]. В качестве таких компонентов часто применяют полиэтиленгликоль (ПЭГ), который вшивается в структуру смолы и увеличивает подвижность цепи.

Введение наполнителей позволяет повышать физико-механические свойства композита, снизить усадку (что актуально для эпоксидных смол) и повысить ударную вязкость. Для армирования полиуретановой матрицы лучше всего подходит белая сажа, частицы которой взаимодействуют с изоцианатными группами. Таким образом, адгезия наполнителя и матрицы велика, а получаемая структура из-за образующихся химических связей повышает твердость и ударную вязкость материала. При этом цепи уретановых связей сохраняют свою подвижность [7].

В качестве объекта исследования были взяты составы смолы ЭД-20 и отвердителя аминного типа ПЭПА (полиэтиленполиамин), в соотношении 90 масс. ч. и 10 масс. ч. соответственно. В качестве наполнителя использована белая сажа БС-120 9 масс. ч., в качестве уретанового преполимера СКУ-ПФЛ 100 7,4 масс.ч. Был взят модификатор ПЭГ 9 масс. ч. с различными молекулярными массами (1500, 4000, 6000). Контрольный состав исключал применение преполимера, но содержит БС-120 9 масс.ч.

Модифицирование образцов проводили в трехгорлой колбе, снабженной термометром и механической лопастной мешалкой. Сначала смешивали наполнитель и модификатор при повышенной температуре $60 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 30 минут. Полученную смесь с эпоксидной смолой подвергли ультразвуковому диспергированию в течение 1 часа в ультразвуковой ванне. После охлаждения до комнатной температуры, в реакционную смесь добавляли преполимер в течение 4 часов при постоянном перемешивании. Перед введением отвердителя смесь необходимо снова охладить. Для исследования физико-механических свойств изготавливали образцы, соответствующие ГОСТ 11262–2017. Относительное удлинение и прочность на разрыв определяли на универсальной испытательной машине РЭМ-100-А-1-1.

Применение низкомолекулярных ПЭГ повышает твердость композиций (рис. 1.). При использовании высокомолекулярного ПЭГ длинные цепи полимера способны образовывать сетку физических связей за счет запутывания в эпоксидной матрице. Однако при

качественном сравнении при увеличении молекулярной массы ПЭГ прирост в твердости незначителен [8].

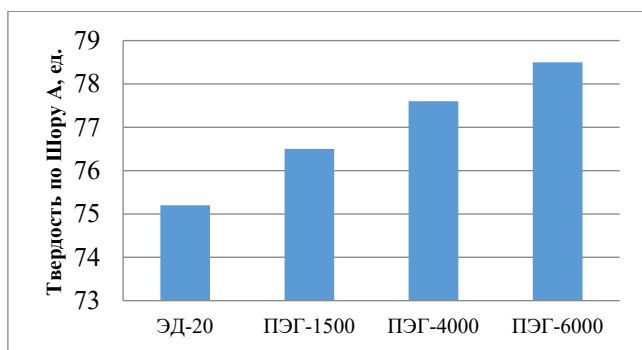


Рис. 1. Твердость по Шору А образцов, полученных из не модифицированной смолы и полиуретан-эпоксидных композиций.

Введение высокомолекулярного ПЭГ улучшает адгезионные свойства получаемых полиуретан-эпоксидных покрытий (рис 2.). Возрастание относительного удлинения говорит об улучшении адгезионных свойств, такие композиционные материалы можно применять в качестве пленок, покрытий [9]. Высокомолекулярный ПЭГ ухудшает разрушающее напряжение композитов (рис. 3.) за счет расслаивания фаз.

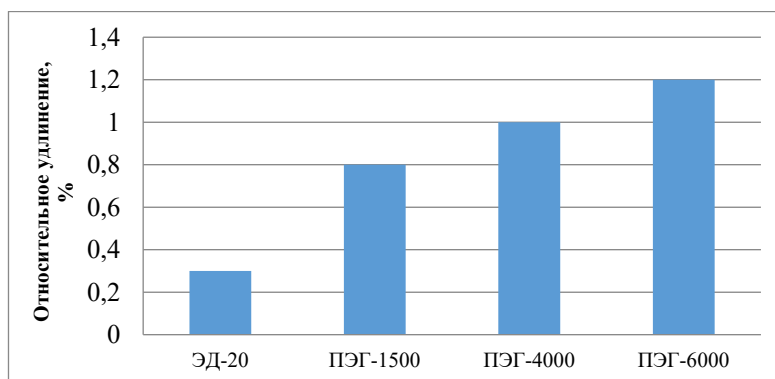


Рис.2. Относительное удлинение образцов, полученных из не модифицированной смолы и полиуретан-эпоксидных композиций.

Высокомолекулярный ПЭГ ухудшает разрушающее напряжение композитов (рис. 3.) за счет расслаивания фаз. Полученный композиционный материал также способен при динамических нагрузках преобразовывать механическую энергию в тепло за счет уретановых сегментов, а трехмерная сшитая структура матрицы эпоксидной смолы ограничивает подвижность цепей ПУ, усиливая рассеивание энергии. Это определяет возможность применения таких материалов в качестве вибропоглощающих эластичных покрытий и пленок [10].

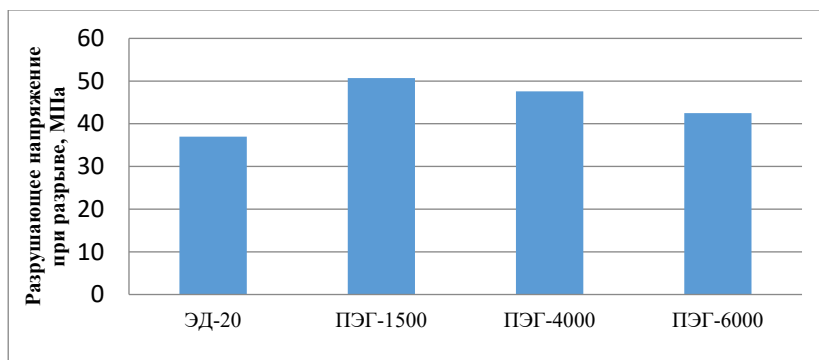


Рис. 3. Разрушающее напряжение при разрыве образцов, полученных из не модифицированной смолы и полиуретан-эпоксидных композиций.

Совмещение полиуретановой и эпоксидной матриц позволяет получать материалы со значительно улучшенными физико-механическими показателями. Добавление пластификатора в такие композиции необходимо, а подбор молекулярной массы ПЭГ позволяет регулировать свойства материала. Например, применение низкомолекулярного ПЭГ позволяет получать более твердые материалы с более низкой стоимостью, а применение высокомолекулярного ПЭГ – более гибкие и эластичные материалы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам. Пер. с англ. / Под ред. Н.В. Александрова. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
2. Лапицкий, В. А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В. А. Лапицкий, А. А. Крижук. – Киев :Навукова думка, 1986. – 96 с.

3. Павленко, В. И. Синтез и свойства композитов на основе полиалканимида и диоксида кремния / В. И. Павленко, Н. И. Черкашина, В. А. Манаев, Р. В. Сидельников // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 86-90.

4. Чернин, И. З. Эпоксидные полимеры и композиции / И. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Хирдов. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.

5. Rousseau, I. A. Challenges of shape memory polymers: A review of the progress toward overcoming SMP's limitations / I. A. Rousseau // Polymer Engineering & Science. – 2008. – Vol. 48, no. 11. – P. 2075–2089.

6. Stereocomplexed and Homochiral Polyurethane Elastomers with Tunable Crystallizability and Multishape Memory Effects / J. Zhou, H. Cao, R. Chang [et al.] // ACS Macro Letters. – 2018. – Vol. 7, no. 2. – P. 233–238.

7. Белоцерковский, М. А. Анализ особенностей полимерных порошковых композиционных покрытий / М. А. Белоцерковский, И. В. Макаревич // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тез. докл. 32-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. – С. 28-30.

8. Кочергин, Ю. С. Влияние дисперсных наполнителей на износостойкость эпоксидно-каучуковых композиционных материалов / Ю. С. Кочергин, В. В. Золотарева, Т. И. Григоренко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 7. – С. 10-15.

9. Белоцерковский, М. А. Анализ особенностей полимерных порошковых композиционных покрытий / М. А. Белоцерковский, И. В. Макаревич // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки – 2015 - №3 – С. 97-99

10. Свойства эпоксидиановых связующих, модифицированных полиметилена-п-трифенилборатом и наночастицами различной природы / Е. С. Ананьева [и др.] // Ползунов. вестн. – 2013. – № 1. – С. 59-66.

Иваненко Д.А., Тишанская В.А.

Научный руководитель: Полуэктова В.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.

БЕНЗОДИТИОФЕН-СОДЕРЖАЩИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ — КЛЮЧЕВОЙ КОМПОНЕНТ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время электротехническая промышленность переживает этап активной трансформации, обусловленный ростом рынка электронных устройств и ужесточением требований к их энергоэффективности, миниатюризации и функциональности [1]. Особую значимость в этом технологическом переходе приобретают полупроводниковые материалы, нашедшие свое применение в оптоэлектронных системах, интегральной микроэлектронике, возобновляемой энергетике, а также сенсорах и умных системах, которые реагируют на изменения в реальном времени (Рис.1).

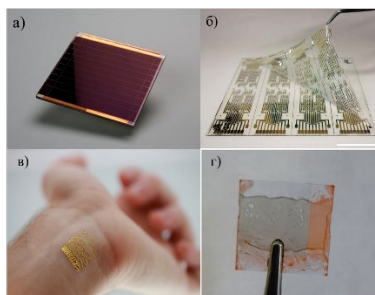


Рис. 1. Устройства современной органической электроники: а) органические солнечные элементы; б) органические транзисторы; в) датчики; г) электрохромные устройства

Широкое распространение в современной электронике получили устройства на основе неорганических материалов, среди которых наиболее известен кремний. Они обладают рядом значительных преимуществ, включая высокую подвижность носителей заряда, что обеспечивает высокую скорость работы и эффективность. Кроме того, кремний демонстрирует отличную термическую и химическую стабильность, что делает его подходящим для применения в различных условиях эксплуатации [2]. Неорганические материалы также обладают

высокой механической прочностью и долговечностью, что важно для создания надежных и долговечных устройств. Однако, несмотря на это, полупроводники на их основе могут иметь ограниченную гибкость и сложность в обработке, что стимулирует исследования в области органической и гибридной электроники.

Органические полупроводниковые материалы представляют собой перспективное направление в современной электронике, открывающее новые горизонты для создания устройств с уникальными механическими характеристиками. Они обладают рядом значительных преимуществ, таких как гибкость, лёгкость, тонкость и простота интеграции, что делает их особенно привлекательными для применения в гибкой и носимой электронике. Кроме того, органические полупроводники демонстрируют отличные оптоэлектронные свойства, включая высокую подвижность носителей заряда и возможность тонкой настройки оптических характеристик. Это позволяет создавать устройства с улучшенными эксплуатационными параметрами, такими как высокая эффективность и долговечность.

Важно отметить, что устройства на основе органических соединений также обладают хорошей совместимостью с различными подложками и простотой обработки, что упрощает их интеграцию в сложные электронные системы. Таким образом, органические полупроводники представляют собой многообещающую альтернативу традиционным неорганическим материалам, открывая новые возможности для разработки инновационных электронных устройств.

Органические полупроводниковые материалы представляют собой класс соединений, которые могут демонстрировать проводимость одного типа заряда (электронов или дырок) или быть амбиполярными. Их традиционно классифицируются на малые молекулы и сопряжённые полимеры [3]. Первые, являясь низкомолекулярными веществами, способны образовывать высококристаллические плёнки, в которых молекулы упакованы более плотно. Среди их достоинств следует отметить лучшую растворимость в органических растворителях по сравнению с полимерами, что позволяет эффективно использовать методы нанесения из раствора.

Особый интерес вызывает использование сопряженных полимеров, поскольку они обладают лучшими плёнокообразующими свойствами, что позволяет создавать более однородные и стабильные плёнки, критически важные для эффективной работы. Такие соединения характеризуются наличием сопряжённых систем, в которых чередование одинарных и двойных связей обеспечивает делокализацию π -электронов вдоль основной цепи полимера [4]. А также химическая

модификация, позволяющая тонко настраивать их свойства, дает перспективы для использования в различных приложениях органической и гибридной электроники.

В настоящее время полимерные материалы часто включают разнообразные донорные (тиофен, дитиенопирроледион, карбазол) и акцепторные (бензотиадиазол, бензотриазол, бензодитиофен-4,8-дион) блоки, формируя донорно-акцепторные (D-A) системы. Среди них наиболее перспективным структурным звеном выделяют бензодитиофен (БДТ), который демонстрирующий высокий КПД устройств на его основе и достигающий 24,5% [5]. Бензодитиофен является распространённым донорным блоком, благодаря центральному бензольному кольцу, которое позволяет вводить заместители без нарушения планарности полимерной цепи (Рис.2). Расширенная сопряжённая система бензодитиофена способствует плотной упаковке молекул, что является ключевым фактором для обеспечения высокой подвижности носителей заряда.

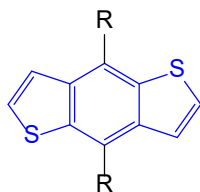


Рис. 2. Структурная формула бензодитиофена

Благодаря своей жёсткой и планарной структуре, полупроводниковые материалы на основе бензодитиофенового блока позволяют тонко настраивать энергетические уровни и ширину запрещённой зоны, а также обеспечивают высокие значения подвижности носителей заряда. Введение различных заместителей в его структуру позволяет изменять его электронные свойства без нарушения планарности полимерной цепи, что способствует плотной упаковке молекул. Это, в свою очередь, является ключевым фактором для достижения высокой эффективности в устройствах на основе таких материалов. Варьирование методов синтеза сопряжённых полимеров на основе производных БДТ открывает возможности для получения широкого спектра материалов с уникальными свойствами. Эти материалы находят применение в различных устройствах фотовольтаики, демонстрируя высокие показатели эффективности и стабильности.

Кроме того, бензодитиофеновые фрагменты обладают большим потенциалом для использования в устройствах гибридной электроники, где они могут служить в качестве активного полупроводникового слоя. Их способность обеспечивать эффективный перенос заряда и стабильность в условиях эксплуатации делает их перспективными материалами для применения в фотопреобразователях, светодиодах и транзисторах нового поколения.

Таким образом, использование структурного донорного блока бензодитиофена открывает широкие возможности для создания полупроводниковых материалов с разнообразным составом, благодаря его высокой модифицируемости. Симметричность молекулы и простота введения различных функциональных заместителей, таких как алкильные цепи, позволяют целенаправленно изменять оптоэлектронные свойства и зарядово-транспортные характеристики, сохраняя при этом планарность и жёсткость полимерной цепи. Такая стабильность способствует плотной упаковке молекул в твёрдой фазе, что является ключевым фактором для повышения эффективности работы устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парашук, Д. Ю., Кокорин, А. И. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии / Д. Ю. Парашук, А. И. Кокорин // Российский химический журнал общества им. Д.И. Менделеева. — 2018. — № 52. — С. 107-117.
2. Лабузова, М. В., Губарева, Е. Н., Огурцова, Ю. Н., Строкова В. В. Свойства фотокаталитического композиционного материала на основе кремнеземного сырья // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова, 2018. №6. — С. 85-92.
3. Горелик, С. С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С. С. Горелик — Москва: Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2003 — 480 с.
4. Белова, М. А., Козлов, Д. Ю. Сопряжённые полимеры в гибкой электронике: от синтеза до устройств / М. А. Белова, Д. Ю. Козлов // Успехи химии. — 2021. — № 90(5). — С. 567–589.
5. Козлов, Д. Ю., Белова, М. А., Петров, С. К. Донорно-акцепторные сопряжённые полимеры на основе бензодитиофена для органической фотоэлектрики: синтез и свойства / Д. Ю. Козлов, М. А. Белова, С. К. Петров // Российские нанотехнологии. — 2022. — № 17(5–6). — С. 78–92.

Игонин В.В., Журавлева Е.С.

*Научный руководитель: Ганигин С.Ю., д-р техн. наук, проф.
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ

В настоящее время для повышения эффективности работ при добыче нефти, перспективно использовать реакционноспособные материалы (РСМ) в конструкциях перфорационных систем. Применение композиций в перфорационных системах для прострелочно-взрывных работ обуславливается физико-химическими свойствами самих РСМ. Реакционноспособные материалы – это вещества, при определённых условиях способные вступать в быстропротекающие химические реакции с выделением большого количества тепла и энергии. Они характеризуются высокой химической активностью [1].

Для увеличения пробивной эффективности в обсадной колонне скважины и увеличения продуктивности притока добываемых нефтепродуктов из пласта в качестве конструкционного элемента можно использовать РСМ на основе порошковой композиции, включающей в себя титан, углерод и вольфрам (Ti-2C-W).

Актуальность выбора смеси из Ti-2C-W обуславливается её использованием в аэрокосмической промышленности для производства деталей самолётов и космических аппаратов с высокой прочностью и термостойкостью. Исследование порошковой композиции Ti-2C-W интересно ещё тем, что каждый компонент смеси имеет различную форму частиц, что затрудняет процесс формирования прессованных пашек, которые в свою очередь используются в конструкциях перфорационных систем, без дополнительного воздействия на смесь или инструмент. Форма частиц титана представляет собой дендритную форму, активированный уголь имеет игольчатую форму, а вольфрам имеет сферическую форму, что в свою очередь затрудняет упаковывание частиц в плотное тело [2]. Решением данной проблемы может быть введение в состав полимерного связующего в виде тонкой пленки на поверхности частиц РСМ. Такой способ нанесения покрытий называется микрокапсулирование. Микрокапсулирование – это технология, позволяющая заключать частицы вещества любого агрегатного состояния в тонкую оболочку, тем самым защищая материал от внешнего воздействия [3-4].

Таким образом задачей данной работы являлось получение РСМ, содержащих полимерное покрытие, тремя способами и определение прочности на сжатие прессованных шашек из полученных составов.

Процесс модификации проводился из органической среды не растворителем, требования к такой системе – нерастворимость капсулируемого вещества в растворе полимера и осадителя. Данным методом проведена одновременная, параллельная и раздельная модификация компонентов порошковой смеси на основе Ti-2C-W. Одновременное капсулирование проводилось загрузкой и модификацией всех компонентов вместе. Параллельное капсулирование проводилось загрузкой и модификацией компонентов отдельными парами Ti-C и W-C. Раздельное капсулирование проводилось отдельным модифицированием каждого компонента по-отдельности. Стадии нанесения фторполимерного покрытия идентичны для каждого способа нанесения.

Этапы нанесения фторопласта:

1. Приготовление насыщенной матричной эмульсии. На данной стадии происходит растворение фторполимера, который в дальнейшем образует покрытие на поверхности частиц РСМ.

2. Модификация компонентов. Этот этап состоит в осаждении фторопласта и образовании структуры порошковой композиции, за счёт прикапывания дистиллированной воды в матричный раствор.

3. Вакуумная фильтрация суспензии. Необходима для отделения осадка от раствора.

4. Сушка готового продукта в сушильном шкафу. Для удаления лишней влаги и остатков растворителя.

После сушки порошки, полученные разными способами, смешивались в систему Ti-2C-W, и готовая смесь отправлялась на химический анализ для определения наличия фтора и хлора, которые свидетельствуют о наличии полимерного покрытия. Результаты химического анализа приведены в таблице (Табл. 1).

Таблица 1 – Результаты химического анализа смешанных порошковых композиций

Соотношение компонентов, % масс.	Ti	C	W	F	Cl
	Ti-2C-W, полученная при одновременной модификации				
	22,86	24,55	41,18	4,96	6,48
	Ti-2C-W, полученная при модификации отдельных пар Ti-C и W-C				
	26,53	36,82	24,97	4,89	6,78
	Ti-2C-W, полученная при отдельной модификации каждого компонента				

	18,78	51,94	24,79	3,42	1,08
--	-------	-------	-------	------	------

Из таблицы 1 видно, что во всех составах присутствует фторопласт, об этом говорит содержание фтора в размере (3...5) %, содержание хлора обуславливается химической структурой используемого фторполимера.

Для проведения эксперимента по определению прочности на сжатие сформированы шашки диаметром 10 мм методом холодного одностороннего прессования из смесей, полученных при одновременной модификации компонентов и модификации отдельных пар Ti-C и W-C. Из чистой смеси (не прошедшей модификацию фторполимером) и смеси, полученной при отдельной модификации каждого компонента, сформировать шашки не удалось, так как указанные смеси не поддались формованию при идентичных условиях. Эксперимент проводился на универсальной разрывной машине для испытаний ZwickRoell Z010 с максимальным усилием 1 т (Рис. 1).



Рис. 1 Внешний вид машины Z010

Методика эксперимента заключалась в следующем:

1. Образец помещался на основание неподвижной нижней траверсы.
2. С помощью компьютера производилось опускание верхней траверсы до зазора размером 2 мм, между испытуемым образцом и

верхней траверсой (Рис. 2).

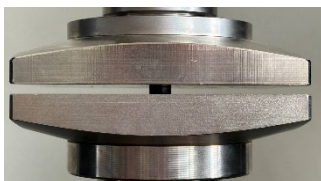
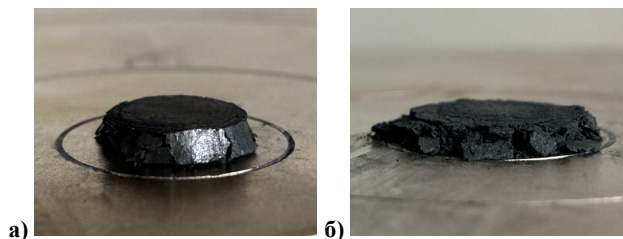


Рис. 2 Внешний вид образца в установке

3. После введения геометрических размеров образца в программное обеспечение производилось сжатие образца до начала его деформации (Рис. 3).



а)

б)

Рис. 3 Внешний вид образца после испытания:

- а) шашка из смеси, полученной при одновременной модификации
- б) шашка из смеси, полученной при модификации отдельных пар Ti-C и W-C

На рисунке (рис. 4) представлен график зависимости предела прочности от давления прессования.

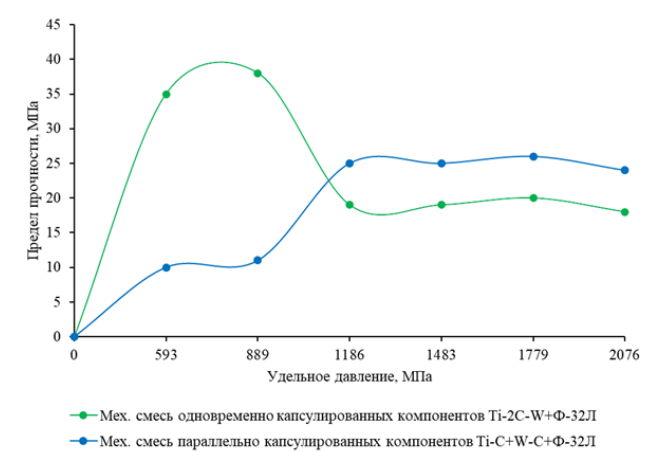


Рис. 4 График зависимости предела прочности от давления прессования

Результаты эксперимента показали, что шашки из порошковой композиции, полученной при одновременной модификации компонентов, наблюдается перепрессовка, вследствие чего шашки становятся более хрупкими с более низкой прочностью, предел прочности шашки составил 38 МПа при удельном давлении прессования 889 МПа. У шашек из порошковой композиции, полученной при модификации отдельных пар Ti-C и W-C, наблюдается обратное явление: предел прочности возрастает при увеличении удельного давления прессования, предел прочности шашки составил 26 МПа при удельном давлении прессования 1186 МПа.

Таким образом, шашка из смеси, полученной при одновременной модификации компонентов, выдержала нагрузку в 38 МПа, что в 1,5 раза больше, сравнивая с шашкой из смеси, полученной при модификации отдельных пар Ti-C и W-C с выдержанной нагрузкой в 26 МПа. Следовательно, для увеличения эффективности действия перфорационных установок можно рассматривать в качестве конструкционного элемента состав на основе титана, углерода и вольфрама, содержащий фторполимерное покрытие, полученное методом одновременной модификации всех компонентов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № 125040404855-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яшин В. Б. Параметры взрыва зарядов из тротила, содержащих блоки из высокоплотных металлофторопластовых композиций / В. Б. Яшин, В. В. Алексеев, С. П. Ходырев, А. В. Малкин, А. И. Малкин, Н. А. Имховик, В. В. Селиванов, А. К. Симонов // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — № 1. — С. 83-95.
2. Поляков П.А. Прочность на сжатие пресовок из ванадийсодержащего порошка железа с малыми легирующими добавками // Фундаментальные исследования. 2015. № 12-4. С. 713-717;
3. Солодовник В. Д. Микрокапсулирование / Солодовник В. Д. — 1-е изд.. — Москва: Химия, 1980 — 216 с.
4. Максимов А. Л. Микрокапсулирование: обзор концепций, методов и перспектива использования в процессах нефтегазовой и химической отрасли / А. Л. Максимов, С. В. Антонов, Л. А. Алиева, А. В. Замрий, Е. Д. Котикова, И. С. Кострубова, Н. П. Безруков, А. Р. Хаматов // Бурение и нефть. — 2023. — № 1. — С. 1-24.

УДК 614.8.086.52

Истратий И.И., Митина Д.А., Овсянников В.В.

Научный руководитель: Ястребинский Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рентгеновские установки в настоящее время получили широкое распространение во многих сферах, начиная от медицины и заканчивая таможенным контролем. Помимо этого, не менее важной является роль рентгеновского излучения в исследовательских работах [1-2]. Однако, несмотря на всю пользу применения ядерных методов анализа человеком, не стоит забывать о возможных негативных последствиях данных методов исследований, из-за чего актуальной остаётся разработка новых защитных материалов [13-19]. Рентгенозащитные материалы помогают снизить уровень радиации, использоваться для создания защитных экранов, перегородок для оборудования и других поверхностей. Это особенно важно для медицинских учреждений, где рентгеновское излучение используется для диагностики и лечения заболеваний.

Для обеспечения защиты людей, работающих с рентгеновским излучением, а также изоляции рентгенкабинетов от других помещений,

часто используют рентгенозащитные плиты. До недавнего времени наиболее распространёнными рентгенозащитными плитами в России были плиты Knauf Safeboard (производство Германия), которые обладали рядом преимуществ: эффективная защита от ионизирующего излучения, простота монтажа, высокое качество и надёжность, экологичность. Компания Knauf предоставляла широкий ассортимент плит с разными уровнями защиты, что позволяло выбрать оптимальный вариант для нужных условий эксплуатации, а также рассматриваемый продукт соответствовал международным и российским стандартам безопасности. Но данная компания объявила об уходе с российского рынка, в связи с чем перспективным является разработка композиционного материала, являющего основой для подобных плит [20].

В настоящее время производятся отечественные плиты, которые по свинцовому эквиваленту не уступают немецким (0,6 mmPd для плит толщиной 12 мм) [21, 22]. Основой данных материалов является барит. Он обладает высокой плотностью и способен поглощать рентгеновское излучение. На основе сульфата бария, помимо панелей, также изготавливают штукатурку, ровнитель для пола. Однако часто в составе рентгенозащитных покрытий встречается свинец, который, несмотря на высокие рентгенозащитные свойства, является токсичным, на производствах способен проникать в организм человека через дыхательные пути, кожу и пищеварительный тракт, вызывать анемию, поражение нервной системы, почек и других органов [23].

Чтобы свести использование свинца к минимуму ведётся активная разработка радиационнозащитных полимерных композиционных материалов. В них за высокие эксплуатационные свойства отвечает матрица, а наполнители позволяют ослабить ионизирующее излучение [24]. Так, например, возможно изготовление гипсокартонных листов на основе рентгенозащитной смеси из строительного гипса, магнетита, сульфата бария, воды и добавок, которые служат для регулирования сроков схватывания и улучшения пластичности. Такие листы должны показать высокие эксплуатационные и рентгенозащитные свойства, быть максимально приближёнными к импортным плитам, но более экологичными и экономичными за счёт использования магнетита [25].

Существуют разработки рентгенозащитных лакокрасочных композиций, варианты использования которой охватывают отделку специализированных помещений, таких как рентген-кабинеты, лаборатории, серверные и т.д. Наполнителем в данном случае является природный сульфат бария, а связующим вододисперсная акриловая краска или дистиллированная вода. По свойствам полученная

лакокрасочная композиция очень близка к баритовой штукатурке, но под действием УФ-облучения наблюдается снижение адгезионной прочности, физико-химических и эстетических свойств [26-27].

Также известны защитные конструкции в виде передвижной рентгенозащитной ширмы, представляющей собой мобильное средство защиты и служащей для зонирования пространства. Для данной конструкции важным свойством является её лёгкость, поэтому её каркас выполняется из профильных труб и устанавливается на колёса. Наполнителем служат свинцовые листы [28]. Дополнительное использование рентгенозащитных ширм может более чем на 80% снизить воздействие рассеянного излучения на оператора.

Подводя итоги, стоит сказать о том, что рентгеновские методы анализа практичны и выгодны для человека, а в некоторых областях и вовсе не имеют аналогов. Вместе с этим, они могут быть опасны, поэтому следует оставаться осторожным при работе с ними. В целях обеспечения безопасности и сведения негативного эффекта от воздействия рентгеновских лучей к минимуму, ведётся разработка новых материалов и методов защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родионова Т. П. и др. Перспективные направления применения досмотровых рентгеновских установок //Security: Information, Technology, Behavior. – 2020. – С. 47-49.

2. Солонникова И. В. Проверка закона дуэйна-ханта с помощью рентгеновской установки phywe //Ответственный редактор. – 2024. – С. 649.

3. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material // Solid State Phenomena. - 2020. - Т. 299. - С. 107-111.

4. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Широков А.В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2016. - №8. - С. 23-28.

5. Матюхин П.В., Косов А.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. - С. 583-587.

6. Matyukhin P. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // В сборнике: 14th

International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - Belgorod: 2019. - С. 239-243.

7. Yastrebinskii, R.N., Bondarenko, G.G., Gorodov, A.I., Yastrebinskaya, A.V. Verifying a Two-Dimensional Model Simulating Attenuation of Neutron and Photon Radiation from Nuclear Reactors Having Metal Hydride Composite Protection. Inorganic Materials: Applied Research. – 2024.- Vol. 15, No. 2. - pp. 319–327.

8. Yastrebinskii, R.N., Pavlenko, V.I., Gorodov, A.I., Yastrebinskaya, A.V., Akimenko, A.V. Attenuation of Neutron and Gamma Radiation from a Reactor by Metal-Hydride Shielding. Russ. Engin. Res. – 2023 – 43. - 1149–1153.

9. Павленко В.И., Матюхин П.В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов // Строительные материалы. - 2005. - №8. - С. 22-25.

10. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - 2019. - №978-3-030-22974-0. - С. 239-243.

11. Матюхин П.В., Павленко В.И., Широков А.В. Изучение влияния высоких давлений прессования на изменение фазового состава гематита и его поведение при высоких температурах // Региональная архитектура и строительство. - 2018. - №4 (37). - С. 89-97.

12. Клочков Е.П., Павленко В.И., Матюхин П.В., Ястребинская А.В. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - №6. - С. 137.

13. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing // Solid State Phenomena.- 2018. - Т. 284. - С. 109-114.

14. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного.

15. Gorodov A.I., Mogutova A.A., Matyukhin P.V., Romanyuk D.S. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide // Journal of Physics: Conference Series. - 2022. Т. 2388. № 1. - С. 012116.

16. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основе алюминиевой матрицы // Перспективные материалы. - 2013. -

№6. - С. 22-26.

17. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. - 2015. - №9-3. - С. 507-510.

18. Matyukhin P.V., Mirzoev D.I The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. - 2021. - Т. 410 DDF. - С. 778-783.

19. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2011. - №2. - С. 42.

20. Немецкий концерн Knauf решил уйти из России после 30 лет работы // Ruposters URL: <https://ruposters.ru/news/22-04-2024/nemetskiikontsern-reshil-rossii-posle-raboti> (дата обращения: 14.10.2024)

21. Панели рентгенозащитные // RentgenprotectURL: <https://rentgenprotect.ru> (дата обращения: 14.10.2024).

22. Рентгенозащитные панели // Торгово-производственная фирма ПОЛЮС URL: <https://pole96.ru> (дата обращения: 14.10.2024).

23. Титов А. Ф. и др. Влияние свинца на живые организмы
24. //Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81. – №. 2. – С. 147-160.
Poltabtim Worawat, Wimolmala Ekachai, Saenboonruang Kiadtisak Radiation Physics and Chemistry. 153. 2018. pp. 1–9.

25. Матюхин П. В., Ястребинский Р.Н., Широков А. В. Основные физико-механические характеристики магнетита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2016. - №9. - С. 189–195

26. Клименко В. Г., Гасанов С. К., Кашин Г. А., Мамин С.Н. Гипсомагнетитовые композиты для защиты от ионизирующего излучения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 9. С. 100–105.

27. Шишкина С. Б., Яцун И. В. Исследования стойкости рентгенозащитного лакокрасочного покрытия к воздействию ультрафиолетового излучения //Материалы XX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. – УГЛТУ, 2024. – С. 526-530.

28. Сарычева С. С. Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных //Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14. – №. 4. – С. 76-

Истратий И.И., Крузин К.О., Петров И.С.
Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Всеми известные разрушительные свойства радиации побуждают людей к созданию новых радиационно-защитных материалов на различных составляющих [1-17]. Однако ионизирующее излучение также используется человеком целенаправленно в медицинских целях, в том числе в виде лучевой терапии для уничтожения злокачественных образований. Данный метод является ключевым, его эффективность зависит от многих факторов: тип рака, стадия заболевания, местоположение опухоли, общее состояние пациента и т.д. [18]. Лучевая терапия — метод лечения онкологических заболеваний, который может использоваться для лечения онкологических заболеваний либо отдельно, либо в совокупности с другими методами лечения, например, хирургическим вмешательством, химиотерапией, иммунотерапией и др [19].

Один из методов лучевой терапии — радиолигандный. Его суть заключается в оказании прицельного действия на опухолевые клетки с определённым рецепторным статусом [20]. Для разных видов опухолей в настоящее время ведётся разработка радиофармацевтических лекарственных препаратов, при этом наибольшее внимание уделяется раку предстательной железы и нейроэндокринным опухолям.

Именно из-за благоприятных свойств связывания и фармакокинетики лигандов по сравнению с доступными антителами, лиганды являются основным направлением терапии PSMA (Prostate-specific membrane antigen) у пациентом с раком предстательной железы

— они менее токсичны для костного мозга, что связано с более быстрым выведением из организма [21, 22]. Более точные исследования в этой области проводятся, в частности с применением позитронно-эмиссионной томографии, что позволяет понимать потенциальной эффективности терапии, развитие заболевания на разных стадиях, оценить вовлечение в специфический процесс крупных сосудов или полых органов [23]. Однако радиолиганды требуют детального

изучения и комплексного подхода. Так, изучение ^{225}Ac (терапия с использованием ^{225}Ac -ПСМА-617), отмечает, что активность

достаточно быстро вымывается из крови, значение удельной активности также быстро снижается. Клинически значимых токсических реакций со стороны почек также не отмечается, однако было выявлено снижение основных показателей крови у большинства пациентов [22].

Радиофармпрепараты могут использоваться при лечении злокачественных новообразований методом брахитерапии — вид радиотерапии, при котором источник излучения располагается как можно ближе к патологическому очагу. К данному виду лечения можно отнести радионуклидную эмболизацию, которая применяется для терапии неоперабельного первичного и метастатического рака печени. В данном случае радиоактивное вещество проводят через внутривенную артерию в сосуды, кровоснабжающие опухолевый очаг, одновременно перекрывая кровоснабжение опухолевых клеток в этой области. Для данного метода лечения используются радионуклиды ^{90}Y и ^{166}Ho [23].

При лечении онкологических заболеваний кожи, полости рта и губ широко используется рентгенотерапия [24]. Данный метод относится к дистанционной лучевой терапии, которые заключается в использовании рентгеновского и γ -излучения для уничтожения злокачественных опухолей. Подразумевается, что излучение передаётся на опухоль через кожу и окружающую ткань, пациент же подвергается излучению извне. На данный момент развитие медицины и технологий позволяет проводить дистанционную лучевую терапию максимально эффективно, минимально воздействуя на здоровые органы. Помимо онкологических заболеваний полости рта, губ и кожи данным методом может проводиться лечение новообразований предстательной и молочной железы, центральной нервной системы, органов желудочно-кишечного тракта, бронхов и лёгких. К современным технологиям дистанционной лучевой терапии высокой точности относится конформная лучевой терапии, основанная на определении трехмерного объема опухоли и анатомии критических органов. Такая терапия отличается тем, что облучаемый объем точно совпадает с конфигурацией опухоли, при этом дозовая нагрузка соседних тканей и органов минимальная.

Интересной для рассмотрения является стереотаксическая радиохирургия — методика облучения с применением однократной высокой дозы ионизирующего излучения с высокой точностью формирования пучка, которая чаще используется для лечения опухолей головного мозга, печени, легких, поджелудочной железы,

представительной железы и других локализаций [25].

Лечение онкологических заболеваний является актуальной проблемой, и лучевая терапия показывает свою эффективность благодаря способности ионизирующих лучей уничтожать раковые клетки и останавливать их рост. Лучевая терапия может быть использована как самостоятельный метод, а также в комбинации с другими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material // *Solid State Phenomena*. - 2020. - Т. 299. - С. 107-111.

2. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Широков А.В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. - 2016. - №8. - С. 23-28.

3. Матюхин П.В., Косов А.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. - С. 583-587.

4. Matyukhin P. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // В сборнике: *14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019)*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - Belgorod: 2019. - С. 239-243.

5. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова, 2015. - С. 320-330.

6. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // В сборнике: *Региональная научно-*

техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. - С. 491-499.

7. Павленко В.И., Матюхин П.В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов // Строительные материалы. - 2005. - №8. - С. 22-25.

8. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - 2019. - №978-3-030-22974-0. - С. 239-243.

9. Матюхин П.В., Павленко В.И., Широков А.В. Изучение влияния высоких давлений прессования на изменение фазового состава гематита и его поведение при высоких температурах // Региональная архитектура и строительство. - 2018. - №4 (37). - С. 89-97.

10. Клочкив Е.П., Павленко В.И., Матюхин П.В., Ястребинская А.В. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - №6. - С. 137.

11. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing // Solid State Phenomena. - 2018. - Т. 284. - С. 109-114.

12. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного.

13. Gorodov A.I., Mogutova A.A., Matyukhin P.V., Romanyuk D.S. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide // Journal of Physics: Conference Series. - 2022. Т. 2388. № 1. - С. 012116.

14. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основеалюминиевой матрицы // Перспективные материалы. - 2013. - №6. - С. 22-26.

15. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. - 2015. - №9-3. - С. 507-510.

16. Matyukhin P.V., Mirzoev D.I The research of iron containing

wastes modification process of leninabad rare metals plant //

Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. - 2021. - T. 410 DDF. - С. 778-783.

17. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2011. - №2. - С. 42.

18. Швыдка Л. А. и др. Эффективность лучевой терапии злокачественных новообразований различной морфологической структуры //Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, 17-18 апреля 2024 г. Т. 2. – ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России, 2024.

19. Olivares-Urbano M. A. et al. CSC radioresistance: a therapeutic challenge to improve radiotherapy effectiveness in cancer //Cells. – 2020. – Т. 9. – №. 7. – С. 1651.

20. Майстренко Д. Н. и др. Радиолигандная терапия препаратами на основе радионуклида 225 Ac: опыт Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика АМ Гранова //Лучевая диагностика и терапия. – 2023. – Т. 13. – №. 4. – С. 86-94.

21. Hofman M. S. et al. [177Lu]-PSMA-617 radionuclide treatment in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (LuPSMA trial): a single-centre, single-arm, phase 2 study //The Lancet Oncology. – 2018. – Т. 19. – №. 6. – С. 825-833.

22. Майстренко Д. Н. и др. Радиолигандная терапия препаратами на основе радионуклида 225 Ac: опыт Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика АМ Гранова //Лучевая диагностика и терапия. – 2023. – Т. 13. – №. 4. – С. 86-94.

23. Kratochwil C. Targeted α -Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer with 225Ac-PSMA-617: Dosimetry Estimate and Empiric Dose Finding // The Journal of Nuclear Medicine. 2017. Vol. 58, No. 10, pp. 1624–1631. doi: 10.2967/jnumed.117.191395.

24. Каприн А. Д., Смирнов В. П. ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА //Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91. – №. 6. – С. 541- 549.

25. Хакимов Г. А., Ахрарова У. С., Алимова З. А. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ //The 6 th International scientific and practical conference “Modern research in science and education”(February 8-10, 2024) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2024. 548 p. – 2024. – С. 85.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Современные технологические вызовы, связанные с повышением энергоэффективности и миниатюризацией устройств, требуют разработки материалов с контролируемыми теплофизическими свойствами. Особый интерес в этом контексте вызывают пористые среды, которые сочетают низкую плотность, высокую удельную поверхность и регулируемую теплопроводность. Эти материалы активно применяются в строительстве для теплоизоляции, в аэрокосмической индустрии для создания термостойких конструкций, а также в энергетике при проектировании систем теплообмена и аккумулирования энергии. Однако моделирование теплопереноса в таких средах сопряжено с существенными сложностями, обусловленными их гетерогенной структурой, нелинейными эффектами тепломассопереноса и необходимостью решения параболических уравнений в частных производных с переменными граничными условиями [1]. Традиционные подходы, такие как интегральные методы теплового баланса, основанные на разделении процесса на стадии распространения температурного фронта и квазистационарного режима, демонстрируют ограниченную эффективность. Подобное разделение не только противоречит физической реальности, где температурное возмущение распространяется мгновенно в соответствии с уравнением Фурье, но и приводит к накоплению погрешностей при моделировании долгосрочных динамических процессов, таких как циклический нагрев или импульсные тепловые воздействия.

Численные методы, включая метод конечных элементов и метод конечных объемов, широко используются для анализа нестационарных тепловых процессов [2]. Однако их применение для пористых сред с упорядоченной микроструктурой, например, трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП) типа гироидов или поверхностей Фишера-Коха, сталкивается с рядом ограничений [3]. Эти структуры, обладая геометрической предсказуемостью, требуют учета сложной топологии, взаимодействия между твердой фазой и флюидом в порах, а

также нестационарных граничных условий. Классические аналитические методы, опирающиеся на допущение однородности среды, не обеспечивают достаточной точности для прогнозирования макроскопических свойств, таких как эффективная теплопроводность и механическая прочность. Это создает потребность в разработке гибридных подходов, объединяющих аналитическую строгость с возможностями современных вычислительных инструментов.

В данной работе предложен модифицированный интегральный метод теплового баланса, который устраняет необходимость разделения процесса на стадии за счет введения новой искомой функции – безразмерного коэффициента распределения теплового потока. Динамическая корректировка этого коэффициента в зависимости от граничных условий позволяет избежать асимптотического приближения времени достижения температурным фронтом центра материала к нулю, характерного для традиционных методов [4].

Для верификации подхода выполнено CAE-моделирование в ANSYS Mechanical APDL, где была построена трехмерная модель ТПМП-структуры типа Неовиуса с переменной пористостью (50–80%) и толщиной стенок в диапазоне 0,1–0,5 мм.

Исследование посвящено анализу нестационарного теплопереноса в пористой среде, организованной в виде ТПМП типа Неовиуса, при переменных во времени граничных условиях теплового воздействия.

Математическая модель процесса базируется на уравнении теплопроводности:

$$\frac{\partial T(\eta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \frac{\partial^2 T(\eta, \tau)}{\partial \eta^2}, \quad (0 \leq \eta \leq l; \tau > 0) \quad (1)$$

где T – температурное поле, К; c – теплоемкость материала, Дж/(кг·°С); ρ – плотность, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); η – координата, м; τ – время, с.

Граничные и начальные условия заданы следующим образом:

Начальное распределение температуры:

$$T(\eta, 0) = T_0. \quad (2)$$

Условие теплоизоляции на левой границе ($\eta=0$):

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \eta} \right|_{\eta=0} = 0. \quad (3)$$

Динамическое условие на правой границе ($\eta=l$):

$$T(l, \tau) = T_0 + b \cdot \tau, \quad (4)$$

где T_0 – начальная температура среды (К), l – половина толщины пластины (м), b – скорость линейного нагрева границы (К/с).

Расчетная схема теплообмена для пластины для задачи (1) – (4) (Рис. 1).

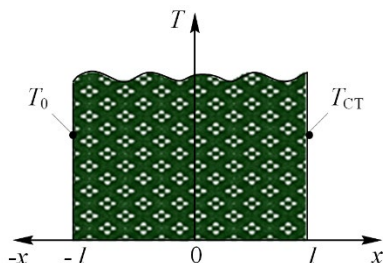


Рис. 1 Геометрия задачи

Результаты моделирования продемонстрировали, что предложенный метод обеспечивает погрешность менее 4% относительно данных ANSYS. Например, для структуры с пористостью 50% и скоростью нагрева расхождение между аналитическим решением и численной симуляцией составило 3,7% на интервале 100 секунд. Исключение стадии распространения температурного фронта сократило время расчета на 15–20%, что особенно важно для оптимизации многокритериальных задач, таких как баланс между теплопроводностью и механической прочностью в ТПМП-структурах.

Практическая значимость исследования охватывает широкий спектр инженерных задач. В металлургии метод может быть использован для моделирования термообработки изделий, таких как закалка валов, где температура поверхности изменяется линейно во времени. В энергетике он позволяет прогнозировать распределение температурных полей в геотермальных системах при сезонных колебаниях температуры грунта. Для микроэлектроники актуальность метода связана с расчетом теплоотвода в компактных устройствах, где рост тепловыделения компонентов требует точного управления температурными режимами. Перспективным направлением является также применение подхода в аддитивных технологиях, например, для оптимизации параметров 3D-печати ТПМП-структур, используемых в аэрокосмической отрасли. Интеграция метода с алгоритмами машинного обучения, такими как обучение нейросетей на

синтезированных аналитико-численных данных, открывает возможности для ускорения инженерных расчетов и автоматизации проектирования.

Дальнейшее развитие работы предполагает адаптацию метода для трехмерных задач, учет турбулентного течения флюида в порах на основе модели $k-\epsilon$, а также моделирование фазовых переходов с использованием уравнения Стефана. Эти усовершенствования позволят применять метод в проектировании гибридных систем охлаждения и «умных» материалов для «зеленой» энергетики, где требуется точное управление тепловыми процессами в условиях динамически изменяющихся внешних воздействий. Таким образом, предложенный подход не только расширяет инструментарий для моделирования теплопереноса в сложных пористых средах, но и способствует переходу к ресурсоэффективным и наукоемким технологиям в инженерной практике.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горулева, Л.С. Новый класс точных решений уравнений Навье-Стокса с учетом внутреннего тепловыделения / Л.С. Горулева, Е.Ю. Просвирыков // Химическая физика и мезоскопия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 82-92. – DOI 10.15350/17270529.2022.1.7. – EDN BIAFGI.

2. Prosviryakov, E. Yu. Dynamic equilibria of a nonisothermal fluid / E. Yu. Prosviryakov // Journal of Samara State Technical University. Ser. Physical and Mathematical Sciences. – 2018. – Vol. 22, No. 4. – P. 735-749. – DOI 10.14498/vsgtu1651. – EDN YSDZBB.

3. Губарева, К. В. Исследование процесса теплопереноса в пористой среде со структурой ТПМП Фишера - Коха S / К. В. Губарева, А. В. Еремин // Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures. – 2024. – № 4. – С. 70-82. – DOI 10.17804/2410-9908.2024.4.070-082. – EDN UCDUDG.

4. Губарева, К. В. Разработка численно-аналитических методов математического моделирования процессов переноса тепла в твердых телах и жидкостях / К. В. Губарева, А. В. Еремин. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2024. – 173 с. – ISBN 978-5-7964-2444-5. – EDN DQDJNT.

*Клепикова М.А., Вергейчик А.В., Педан Д.О.
Научный руководитель: Ключникова Н.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ РЕЦЕПТУР ЧИСТЯЩИХ СРЕДСТВ

Процесс разработки и создания рецептуры моющей композиции является достаточно многостадийным и включает в себя множество факторов. Моющие средства представляют собой смесь нескольких сырьевых химических компонентов, которые находясь в одной системе усиливают действия друг друга в процессе очистки и удаления загрязнений [1].

На моющую способность композиции влияние оказывают многие условия. Одним из важнейших факторов, влияющих на этот показатель, являются компоненты, входящие в состав системы.

В зависимости от области применения и требуемых характеристик состав композиции может быть очень разнообразным. Можно выделить несколько основных и обязательных сырьевых компонентов, необходимых в процессе создания моющей композиции:

- Поверхностно-активные вещества. Введение пенообразователей в моющую систему позволяет снижать поверхностное натяжение воды, в результате чего происходит более эффективное удаление загрязнений с очищаемых поверхностей. Поверхностно-активные вещества являются важнейшим компонентом моющей системы и в зависимости от природы (анионные, катионные, неионогенные, амфотерные) могут придавать средству те или иные свойства;

- Щелочные или кислотные компоненты. Введение таких компонентов в состав средств позволяет значительно усиливать моющие способности средства, однако стоит учитывать, что содержании кислот и щелочей в рецептурах средств делает их более агрессивными к деликатным тканям и/или поверхностям;

- Комплексообразующие компоненты. Введение комплексонов в состав средств позволяет образовывать комплексы с ионами металлов, за счет чего значительно повышается эффективность моющего действия композиции [2].

- Энзимы. Введение данных компонентов в состав позволяет

более эффективно удалять жировые, белковые загрязнения с поверхностей, но при этом процесс происходит деликатно и бережно, чего нельзя сказать в отношении кислотных и щелочных агентов.

- Отбеливатели. Наиболее популярными и распространенными отбеливающими компонентами являются гипохлорит натрия и пероксид натрия.

Помимо перечисленных основных компонентов моющая композиция, в зависимости от требуемых свойств и характеристик, может включать и другие компоненты (активаторы отбеливания, модификаторы реологии, антиресорбенты, ароматизирующие добавки, красители и т.д.), однако они не влияют в значительной степени на моющую способность средств.

Несмотря на то, что составление рецептуры моющей композиции является первоочередной и важной задачей, далее необходимо подобрать методы оценки очищающих способностей полученных средств [3].

При оценке моющей эффективности полученных композиций зачастую используют следующие основные методы:

1. Определение смачивающей способности с помощью пластинки Вильгельми и стандартно-загрязненной хлопчатобумажной ткани ЕМРА-106;

2. Метод седиментационных объемов;

Одним из наиболее популярных и распространенных методов оценки моющей способности является определение смачивающей способности с помощью пластинки Вильгельми. Метод основан на измерении угла смачивания, образованного между поверхностью жидкости (в нашем случае раствора моющего средства) и твердой пластинкой.

В процессе проведения исследования образец стандартно-загрязненной ткани размером 1-1,5 см опускается в анализируемый состав моющей композиции. Работу смачивания оценивают с помощью полученной кривой $\cos\Theta \cdot \sigma_{\text{жт}}$ (Рис. 1).

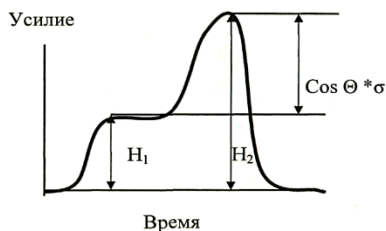


Рис. 1. Зависимость усилия при смачивании стандартно-загрязненной ткани от времени

По полученным результатам поверхностного натяжения для испытуемых растворов проводится расчет краевого угла смачивания:

$$\cos \Theta = (H_2 - H_1) / \sigma_{\text{жг}} \quad (1)$$

Таким образом, метод пластинки Вильгельми позволяет оценить смачивающие способности компонентов, входящих в состав рецептуры, а также их взаимодействие с различными поверхностями. С помощью данного метода на начальных этапах создания рецептур композиции появляется возможность максимально точно подобрать сырьевые компоненты с оптимальными показателями смачивания, тем самым добиться максимальной очищающей эффективности средства [4].

При составлении рецептур моющих композиций большую популярность, также, приобрел метод седиментационных объемов, который заключается в исследовании кинетики оседания слоя наполнителя в исследуемых растворах моющих средств и дальнейшее измерение высоты полученных равновесных седиментационных объемов (Рис. 2).

В качестве наполнителя используют технический углерод марки П-803, который при введении в систему образует агрегативно неустойчивую суспензию. При наличии поверхностно-активных веществ и комплексообразующих компонентов в растворе суспензия становится агрегативно-устойчивой, в результате оседания частиц осадок имеет более плотноупакованную структуру, что предотвращает повторное всплывание частиц.

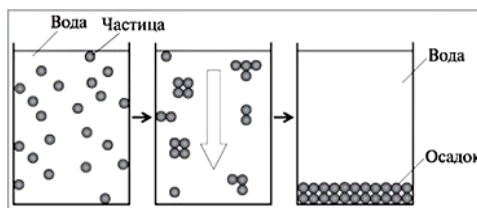


Рис. 2. Процесс коагуляции и седиментации частиц технического углерода в растворе исследуемого моющего средства

Ценность метода седиментационных объемов в процессе разработки рецептур моющих композиций заключается в том, что данный метод позволяет подобрать наиболее эффективные и подходящие комплексообразующие добавки, установить их оптимальную концентрацию в рецептуре. Метод седиментационных объемов наглядно показывает процесс оседания загрязнений в процессе очистки, а также природу и структуру получаемых осадков.

Моющая система является сложной многокомпонентной системой, в которой все сырьевые ингредиенты находятся в постоянном взаимодействии. Основной задачей при создании моющей рецептуры является – верный подбор компонентов системы, которые будут усиливать действия друг друга в процессе применения.

Метод оценки смачивающей способности с помощью пластинки Вильгельми и метод седиментационных объемов позволяют на первоначальных этапах создания рецептур моющих композиций подбирать наиболее подходящие сырьевые компоненты для системы, а также варьировать оптимальное процентное содержание их в составе.

Благодарность. Исследования для данной работы выполнены на базе Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев, В. М., Петренко, Д. С. Технология производства синтетических моющих средств [Текст] / В. М. Ковалев, Д. С. Петренко // Химия моющих средств. — 2021. — № 12. — С. 47-50.
2. Клепикова, М. А., Ключникова, Н. В. Экологически безопасные и эффективные компоненты для моющих средств [Текст] / М. А. Клепикова, Н. В. Ключникова // Актуальные проблемы химической технологии. — 2023. — № 9. — С. 14-17.

3. Крешков, А. П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ [Текст] / А. П. Крешков // Современные технологии получения и анализа моющих средств. — 2018. — № 2. — С. 50-56.

4. Болелый, В. Ф., Васильев, В. П. Оценка потребительских свойств СМС в практических условиях стирки / В. Ф. Болелый, В. П. Васильев [Текст] // Аналитические основы анализа поверхностно-активных веществ: сб. науч.-практ. конф. — Москва:ИПЦ МГАТХТ, 2019. — С. 48-52.

УДК 691.7

Кондратьева Е.В.

Научный руководитель: Рыбакова Л.Ю., ст. преп.

*Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Россия*

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ И КЕРАМИКИ

Благодаря своей высокой твердости, отличной износостойкости, коррозионной стойкости, а также высокой термостойкости, керамические материалы широко используются для изготовления режущих пластин, коррозионностойких деталей и т.д. Однако керамические материалы по своей природе хрупки и их трудно изготовить из крупногабаритных деталей со сложной структурой. В отличие от этого, сталь обладает превосходной прочностью и пластичностью, поддается механической обработке, поэтому можно соединять сталь и другие материалы, получая композитные детали с дополнительными преимуществами [1]. Однако при соединении стали и керамики возникают трудности, так как керамические материалы химически не соответствуют стали и требуют активного металлического припоя для достижения хорошей металлургической реакции [2]. Кроме того, при взаимодействии керамики с реактивными элементами обычно образуется сплошной хрупкий реакционный слой, что снижает надежность устройства.

Диффузионная сварка имеет низкую температуру соединения, небольшие остаточные напряжения и незначительное влияние на рабочие характеристики материала, особенно лазерная диффузионная сварка, приводящая к деформации заготовки несмотря на небольшие размеры.

Высокое качество сварного шва стало одной из предпочтительных

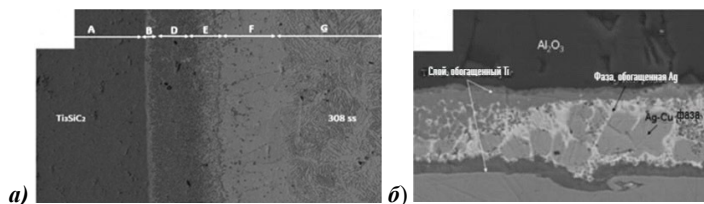
технологий соединения керамики и стали. Сварка плавлением-это метод, при котором в качестве источника тепла используется электрическая дуга, лазер или электронный луч для частичного или полного расплавления материала промежуточного слоя, а затем он охлаждается и затвердевает, соединяясь с материалом основы с обеих сторон.

Ю. Хаджи и соавторы [3] получили паяное соединение из вольфрама с инертным газом Ti_3SiC_2 от керамики до нержавеющей стали марки 308 с использованием материала для пайки Al. Межфазная структура соединения Ti_3SiC_2/Al состоит из зоны пайки и зоны разложения (Рис. 1а). На границе раздела могут образовываться такие соединения, как Ti_4AlC_3 и $TiAl_3$, разрушение происходит в основном вдоль границы раздела разложившийся Ti_3SiC_2 /неразложившийся Ti_3SiC_2 .

М. Роде и др. [4] получили лазерное паяное соединение между керамикой Al_2O_3 и сталью 100Cr6. Узкая непрерывная зона, обогащенная титаном, может наблюдаться вблизи границы раздела металл-керамика с наличием зоны, обогащенной серебром, и фазы Ag-Cu между реакционной зоной, обогащенной титаном, керамические трещины и разломы внутри с прочностью на изгиб 40-80 МПа (Рис. 1б).

И. Чжан и соавторы [5] применили материал для пайки AgCuTi для лазерного соединения керамики Al_2O_3 и нержавеющей стали (SS) 304. Со стороны нержавеющей стали образовался реакционный слой, а внутри соединения образовались такие соединения, как Ti_2Fe , $TiFe$, Ti_3Al и TiO (Рис 1в). Разрушение соединения произошло на границе раздела AgCuTi/ Al_2O_3 , максимальный предел прочности при растяжении достиг 132 МПа.

Ц. Го, И. Чжан и В.Лу [6] использовали припой AgCuTi для лазерного соединения керамики ZrO_2 из нержавеющей стали (SS) марки 304, а прочность соединения на разрыв достигла 71 МПа. Поверхность стыка была плотно соединена без образования дефектов, а в области пайки образовались соединения TiFe, TiCu и TiO (Рис. 1г).



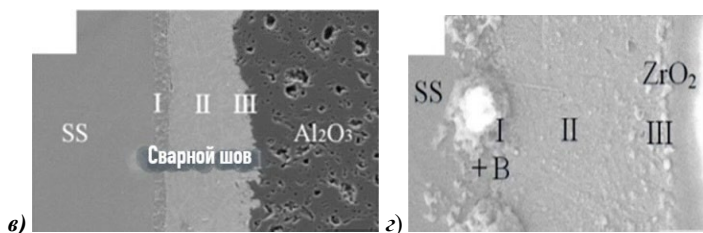


Рис. 1 Микроструктура соединений: *a* – $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{Al}/308\text{SS}$; *б* – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AgCuTi}/100\text{Cr}_6$; *в* – $\text{SS}/\text{AgCuTi}/\text{Al}_2\text{O}_3$; *г* – $304\text{SS}/\text{AgCuTi}/\text{ZrO}_2$

Процесс соединения керамики с металлом с помощью реактивного присадочного металла известен как реактивная пайка, которая является основным методом соединения разнородных материалов.

Для материалов, которые не содержат химически активных элементов в основном материале – оксид алюминия, керамика из карбида кремния и металлы, необходимо учитывать смачиваемость соединяемых деталей. Одним из наиболее используемых активных элементов в металлических наполнителях является титан. В процессе пайки Ti в расплавленном металлическом наполнителе при высоких температурах проникает путем диффузии на поверхность раздела фаз керамики и вступает в химическую реакцию с образованием таких соединений как TiO и TiC. Расплавленный металлический наполнитель также увлажняет поверхность раздела фаз керамики и способствует образованию адгезии. Реактивный наполнитель AgCuTi широко используется при соединении керамики с металлом [7].

Л. Пан и др. [8] успешно осуществили вакуумную пайку керамики Ti_3AlC_2 и стали 40Cr с использованием наполнителя AgCuTi. На границе раздела фаз пайки были обнаружены четыре фазы, а именно AlCu_2Ti , Al_4Cu_9 , Cu [s, s] и Ag [s, s] (Рис. 2а). Соединение треснуло на границе раздела между Ti_3AlC_2 и наполнителем металл, прочность сварного шва на сдвиг составила 196,4 МПа.

Сюн Ц. и др. [9] использовали порошок AgCuTi для соединения карбида кремния, армированного углеродным волокном (Cf/SiC) с титановым сплавом TC4. Соединение имеет структуру поверхности раздела, состоящую из Cf/ SiC/ Ti_3SiC_2 + TiC/ Ti_2Cu + $\text{Ti}_5\text{Si}_3/\text{Ag}$ + Ti-Cu/ $\text{Ti}_3\text{Cu}_4/\text{TiCu}/$ $\text{Ti}_2\text{Cu}/\text{Ti}_2\text{Cu}$ + Ti/TC4 (Рис. 2б), а прочность соединения на сдвиг составляет 102 МПа.

Я. Пэй и соавторы [10] изучали вакуумную пайку керамики ZrO_2 и сплавов TC4 с использованием присадочного металла AgCuTi (Рис.2в). Поверхностная структура была следующей: ZrO_2 / TiO + $\text{Cu}_2\text{Ti}_4\text{O}$ + Cu_4Ti_3 / Ag + $\text{Cu}_3\text{Ti}_3\text{O}$ / Ti_2Cu_3 / Ti_2Cu_3 + CuTi_2 / CuTi_2 + $\text{CuTi}_3/\text{TC}_4$,

который имел максимальную прочность 191,9 МПа.

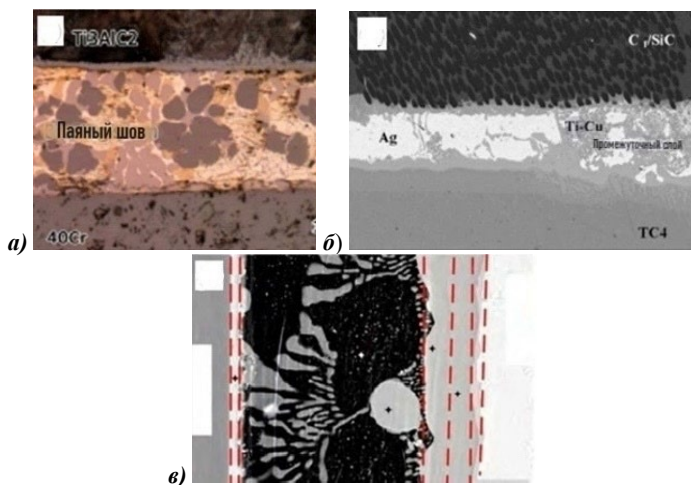


Рис. 1 Сварка керамики AgCuTi с металлом: *а* – $\text{Ti}_3\text{AlC}_2/40\text{Cr}$; *б* – Cf/SiC/TC_4 ; *в* – ZrO_2/TC_4 .

Преимущества сварки плавлением могут быть объединены с преимуществами сварки плавлением и пайки припоем. Благодаря точному регулированию проводимого тепла можно получить соединения с низкой тепловой деформацией, узкими зонами термического воздействия, а также с низкими сварочными напряжениями и деформациями. В то время широкий спектр материалов может быть соединен без обратного наплавления. Соединение керамики и металла пайкой является основным методом соединения, при котором и происходит металлургическая реакция. Паяные соединения выполняются при низких температурах, основной материал не плавится во время пайки и практически не влияет на структуру и свойства основного материала. В результате пайка на протяжении многих лет была основным методом соединения различных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сарасенко, М.Н. Preparation and properties of composite materials: ceramic-metal, polymer-meta. / М.Н. Сарасенко, И.Ф. Кашевич, Н.Ф. Шибкова // Конструкции из композиционных материалов. — 2008. — № 1. — 31-38 с.

2. Габ, И.И. Soldered joints of structural ceramics with metal/ И.И. Габ, Б.Д. Костюк, Т.Н.Литвишко, Ю.В. Найдич, В.Г. Ситало // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2006. - №6. – 18-20 с.
3. Хаджи, Ю. Connection to Ti₃SiC₂ MAX phase with 308 stainless steel and aluminum fillers by soldering with tungsten in an inert gas. / Ю. Хаджи, А. Хаддад, М. Яхи // Керамика. – 2016. - № 42. – 1026-1035 с.
4. Роде, М. Joining of aluminum oxide and steel by laser soldering/ М.Роде, И. Зюдмейер, А. Урбанек // Керамика. – 2009. - № 35. – 333-337 с.
5. Чжан, И. The method of obtaining ceramic/stainless steel composites by laser welding with optimization of calculations. / И.Чжан, И.К. Чен // Материаловедение и технологии. – 2023. - № 39. – 147-157 с.
6. Го, Ц. ZrO₂ Laser Welding of ceramics and 304 Grade Stainless Steel with Ag-Cu-Ti Filler. / Ц. Го, И. Чжан, В. Лу // Материалы. Наука и техника. – 2023. – 1-11 с.
7. Гончаренко, В.В. Investigation of the physico-mechanical properties of a soldered joint / В.В. Гончаренко, Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко // Технология материалов. – 2020. - № 7 – 18-22 с.
8. Пан, Л. Investigation of the physico-mechanical properties of a soldered joint. / Л. Пан, Ц. Гу, В. Цзоу // Журнал технологий обработки материалов. – 2018. – 181-187 с.
9. Сюн, Ц. Soldering of SiC composite reinforced with carbon fiber and TC4 using Ag-Cu-Ti alloy for active soldering / Ц. Сюн, Д. Хуан, Х. Чжан // Материаловедение и инженерия. – 2010. - № 527. – 1096-1101 с.
10. Пэй, Я. Microstructure and properties of ceramic compound ZrO₂ and vacuum soldering TC4 / Я. Пэй, Х. Ли, Х. Хуан // Сварка и соединение. – 2016. - № 000. – 22-25 с.

УДК 62-503.56

Конишина А.А., Лемза Д.

Научный руководитель: Бобкова В.П.

*Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники», г. Зеленоград, Россия*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ ВОДОМАТОВ: ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Водоматы — это вендинговый аппарат для розлива воды в тару потребителя. Эти устройства устанавливаются в общественных местах,

торговых центрах или жилых районах и могут предлагать как обычную, так и очищенную, минерализованную или охлаждённую воду. Конструкция водомата включает резервуар для хранения воды, насосную систему, блок фильтрации, модуль охлаждения (в некоторых моделях), сенсорный или кнопочный интерфейс для управления. Некоторые модели оснащены системой бесконтактной оплаты и фильтрами для дополнительной очистки воды.

Данные автоматы по продаже воды активно распространяются: только в Москве их установлено более 3 000 единиц, а ежедневный оборот одного аппарата составляет от 50 до 200 литров [1-2]. Популярность устройств объясняется выгодной стоимостью воды — в Москве, предлагают чистую питьевую воду по цене в 4-8 раз ниже магазинной. В то время как бутилированная вода в магазинах сейчас стоит в среднем 17-26 руб./литр (эконом-сегмент) и в среднем 130-150 руб./литр (премиум), водоматы реализуют воду в Москве по цене за литр от 2 до 5 рублей [3-4].

Исследования в области разработки и оптимизации вендинговых автоматов для воды демонстрируют значительные технологические достижения. Исследователь Salo A. разработал комплексную киберфизическую модель с IoT-интеграцией, выявив оптимальные параметры работы. В работе Можухина Н.А., Еремин Г.Б., Карелин А.О., особый акцент сделан на моделировании процессов загрязнения фильтров в условиях мегаполиса и приведён сравнительный анализ фильтрационных систем, доказав эффективность гибридных решений для жилых районов [5-6]. Международные исследования A S Pranav Vishwas, Venkata Vinayak Addala, Rajesh Kannan Megalingam представили инновационную систему адаптивной фильтрации, показавшую на практике 40% снижение затрат на обслуживание. Особый интерес вызывает работа Nadim Kamran Sani, Md. Hamidullah Kawsar, Mohammad Jalal Uddin [7], где сочетание ML-алгоритмов (LSTM) и солнечных панелей позволило достичь рекордно низкой себестоимости, а исследование Xiufang Zhang, Lei Yang, Shaobo He по динамическому ценообразованию продемонстрировало 18% рост выручки за счёт учёта параметров качества воды и данных компьютерного зрения [8].

Основываясь на анализе литературных источников отечественных и зарубежных авторов, были выявлены преимущества и недостатки водоматов.

Преимущества водоматов:

- Низкая стоимость воды – 2–5 руб./л. против 17–26 руб./л. в магазинах.

- Разнообразие типов воды – очищенная, минерализованная, охлажденная.

- Умный мониторинг – датчики pH, TDS, мутности.

- Прогнозное обслуживание – ML-анализ износа фильтров (точность 89-92%).

- Гибкость настроек – можно программировать режимы работы (например, ночное отключение).

Однако среди перечисленных преимуществ, также имеются некоторые недостатки:

- Энергозатраты - повышенное потребление электроэнергии системами постоянного мониторинга.

- Сложность ремонта - необходимость привлекать узких специалистов для обслуживания IoT-систем.

- Ограничения по установке - дополнительные требования к местам размещения "умных" моделей.

- Чувствительность датчиков - необходимость частой калибровки (раз в 2-3 недели).

- Долгая окупаемость – 18–24 месяца из-за дорогих датчиков.

- Зависимость от наличных платежей – в некоторых старых моделях нет бесконтактной оплаты.

- Качество воды зависит от обслуживания – недобросовестные операторы редко меняют фильтры.

Анализируя рынок данной продукции, было найдено несколько схожих устройств. Сравнивая среднюю стоимость, можно сделать вывод о том, что количество расходов варьируется от 10.000 руб. до 20.000 руб. [9]. Также, исходя из отзывов пользователей данных устройств, у большинства из них наблюдается низкий уровень прочности корпуса устройства в связи с механизмом сборки. После анализа рынка, был сделан вывод, что большинство аналогов позиционируют себя устройствами для употребления спиртных напитков [9]. В свою очередь наш вариант предлагает широкий спектр актуального применения. Например, снабжение водой студентов и работников учебных заведений, что исходя из проведенного опроса среди студентов нашего учебного заведения от 29.09.2024 является актуальным вопросом по сей день [10].

Обзор показал, что водоматы можно считать перспективным решением для снабжения питьевой водой населения. Поэтому была предложена идея создания конструкции водомата, позволяющая минимизировать возможность микробного загрязнения, с системой использования готовой очищенной воды, которая позволит снизить

риски некачественного технического обслуживания, а также отказаться от использования сложных технических компонентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мобильное приложение для экономии / «Едадил». <https://edadeal.ru> (21.04.2025).
2. Розничная сеть по торговле продуктами питания / «Магнит». <https://magnit.ru/> (21.04.2025).
3. Salo A. Simulation of Water purification machine for vending cyber physical systems / Частное предприятие «Технологический центр» // Технологический аудит и резервы производства. — 2018. — 2226-3780.
4. Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Карелин А.О., Борисова Д.С., Исаев Д.С., Грибова К.А. обеспечение качества и безопасности вендинговой питьевой воды / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого // здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. — 2023. — 2076-4618. — 188-189.
5. A S Pranav Vishwas, Venkata Vinayak Addala, Rajesh Kannan Megalingam. Vending Machine for Water using Verilog // Global Conference for Advancement in Technology (GCAT) (колледж инженерии и технологий Нагарджуны 06-08.10.2023) — Bangalore 2023. — 1-5.
6. Xiufang Zhang, Lei Yang, Shaobo He, Miaoqi Wang. Design of a Water Quality Monitoring System for Self-Service Water Vending Machines Based on Internet of Things Technology // 2024 4th International Symposium on Computer Technology and Information Science (ISCTIS) (Xi'an, China 12-14.06.2024) — Xi'an 2024. — 243-247.
7. Nadim Kamran Sani, Md. Hamidullah Kawsar, Mohammad Jalal Uddin, Md. Sajjad-Ul Islam, Kazi Mohammed Abdullah, Patwary Rezwan Mahadi. Advancing Water Vending Industry through RFID and IoT Empowerment // 2024 3rd International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE) (Gazipur, Bangladesh 25-27.04.2024) — Gazipur 2024. — 1-6.
8. Системы автоматического розлива напитков “НАЛИВАТОР“ / Vgarage-nalivator. <https://vgarage-nalivator.ru/> (21.04.2025).
9. Amazin Barman / Интернет-магазин AMAZIN.SU. <https://amazin.su> (21.04.2025).
10. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА / «Первый МИЭТовский». <https://vk.com> (21.04.2025).

*Кудрявченко А.Т., Архипов К.С., Вергейчик В.Р.
Научный руководитель: Ключникова Н.В., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТИРОЛ-ЭТИЛЕН-БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ МЕЛОМ

Термоэластопласты представляют собой относительно новый вид полимерных материалов, которые сочетают в себе и гибкость, и жёсткость. Такие особенности в свойствах обусловлены блочным строением. Структура ТЭП часто обозначается (АВА), (АВ), (АВАВ), , где, А – блок жесткого термопласта, В – блок гибкого, низкомолекулярного и легкодеформируемого эластомера.

При температуре ниже температуры стеклования ТЭП обладают хорошей гибкостью, эластичностью и прочностью, а при повышенных проявляет текучесть, свойственную термопластичным линейным полимерам. ТЭП можно перерабатывать в резиновые изделия, не применяя вулканизации. Термоэластопласты являются полностью перерабатываемыми материалами, которые не содержат хлора и серы, а новопроизведенные – не содержат тяжелых металлов, применяемых в качестве стабилизаторов [1].

На рынке большой популярностью пользуются гидрированные термоэластопласты [2]. Преимущественно, это стирол-этилен-бутадиен-стирольные (СЭБС) материалы, получаемые модификацией стирол-бутадиен-стирольного (СБС) ТЭП. Модификация проходит на стадии синтеза в эмульсии в присутствии катализаторов.

Изделия из СЭБС обладают большим сроком эксплуатации, за счет насыщения двойных полидиеновых связей в (В) блоках. Материал становится наименее подверженным термоокислительной деструкции, стойкий к действию озона и УФ-излучения.

Чем глубже протекает процесс гидрирования, тем больше понижается степень кристалличности у полимера. СБС - аморфный материал, но по мере снижения доли полибутадиеновых фрагментов и их замещения на подвижные этиленовые, степень кристалличности снижается еще больше [3].

СЭБС является качественным, но дорогостоящим по сравнению с СБС, материалом. Создание наполненных композиций позволит не только усилить изделие, но и снизить стоимость продукта [4].

Для испытания на физико-механические показатели были созданы образцы из СЭБС ТЭП, мела (содержания 10%, 30%, 50%, 100%, 300% от массы полимера) и масла И-12А (33% от массы полимера) на резиносмесителе. Введение масла необходимо для пластикации полимера и равномерного распределения частиц мела в матрице.

При низком содержании наполнителя невозможно достичь армирующего эффекта от мела (рис.1.). Значительное возрастание твердости возникает при равных массовых долях мела и при его большом содержании.

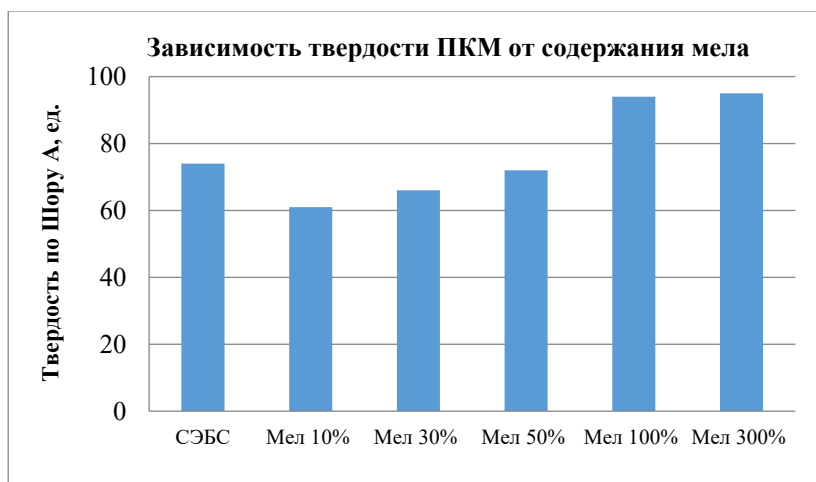


Рис. 1. Результаты испытаний образцов на твердость по Шору А

Исследование эластичного отскока материала позволить характеризовать его способность восстанавливать свою форму после деформации и возвращать часть поглощенной энергии. Значение эластичного отскока резко возрастает при добавлении небольшого количества мела (рис. 2.). Это говорит о том, что материал при ударе возвращает большое количество энергии. По мере увеличения содержания мела величина эластичного отскока падает, что указывает на увеличение вязкости материала и диссипацию энергии.

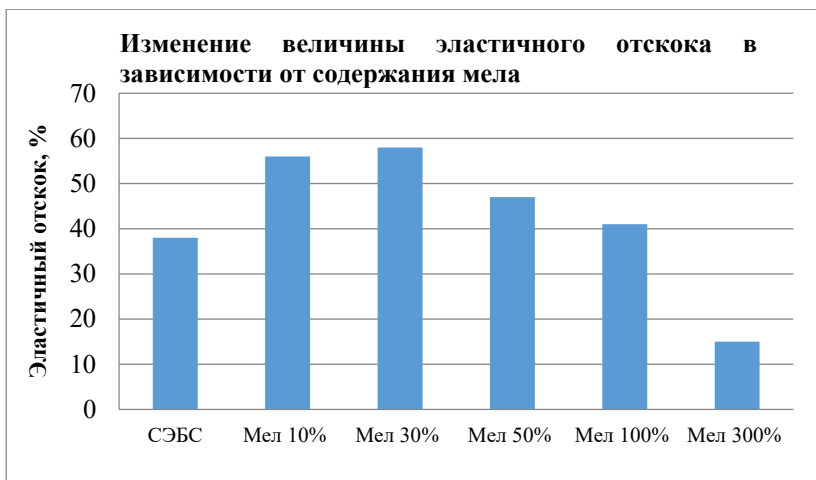


Рис. 2. Завис Результаты испытаний образцов на величину эластичного отскока

Таким образом, можно сделать вывод, что высоконаполненные материалы хорошо рассеивают энергию при ударе и могут быть использованы для получения изделий, к которым предъявляются высокие требования по демпфирующим свойствам [5].

Высокий эластичный отскок позволяет получать шины с низким сопротивлением качения, так как сопротивление качению составляет 40% общих потерь энергии, когда шины находятся в движении. Чем больше величина отскока, тем больше энергии возвращается в систему, а не рассеивается в виде тепла, соответственно снижаются гистерезисные потери. Уменьшение сопротивления качению шин на 10% позволяет снизить расход топлива на 2–2,5% при движении с установившимися скоростями [6].

Добавление мела в любой концентрации приводит к увеличению предела прочности при разрыве (рис. 3.), что говорит о том, что способность СЭБС сопротивляться разрушению возрастает.



Рис. 3. Результаты испытаний образцов на предел прочности при растяжении

Максимальный эффект усиления достигается при соотношении полимера к наполнителю как 2:1.

У большинства составов снижается относительное удлинение по мере увеличения содержания мела (рис. 4.), что говорит о снижении гибкости, эластичности и адгезии материала.

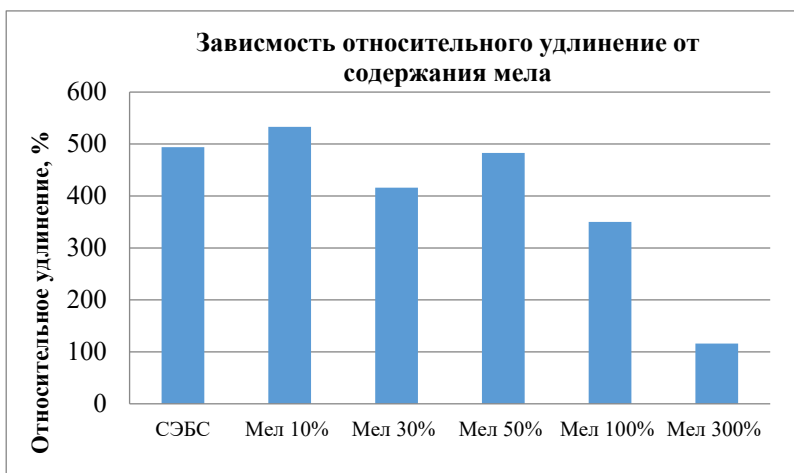


Рис. 4. Результаты испытаний на относительное удлинение

Образец с содержанием мела 10% показал прирост в удлинении относительно чистого СЭБС. Это связано с тем, что масло в составе композиции оказывает пластифицирующий эффект, а армирующий эффект от наполнителя при таких концентрациях незначителен [7].

Эластичность таких ПКМ снижается по мере увеличения содержания мела, но увеличиваются жесткость, прочность и эксплуатационные характеристики за счет армирующего эффекта наполнителя [8]. Получаемые из таких композитов изделия обладают высоким сопротивлением к раздиру и разрыву, лучше возвращают энергию при ударе.

Составы с содержанием мела 50% и 100% демонстрируют лучшие физико-механические показатели, следовательно, такое содержание мела дает максимальный усиливающий эффект.

Таким образом, применение композитов в изделиях, требующих меньших гистерезисных потерь, небольшой гибкости и вибропоглощающих свойств, рационально за счет значительного снижения стоимости получаемого изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wenke GaoMuhua ZouSong Yue Enhanced Rubber–Plastic Compatibility for Novel Multifunctional Thermoplastic Vulcanized Rubber / Wenke GaoMuhua ZouSong Yue // Journal of Applied Polymer Science. — 2024. — № 142(9). — С. 1-10.

2. Ильин, В. М. Бутадиен-стирольный каучук: мощности и фирменная структура производства в мире / В. М. Ильин, А. К. Резова // Каучук и резина. – 2015. – № 2. – С. 36-43.

3. Anagha M.G., Kinsuk Naskar Ultra-high molecular weight styrenic block copolymer/TPU blends for automotive applications: Influence of various compatibilizers / Anagha M.G., Kinsuk Naskar // Polymers for Advanced Technologies. — 2018. — № 30. — С. 1-10.

4. Никулин, С. С. Композиционные материалы на основе наполненных бутадиен-стирольных каучуков / С. С. Никулин, И. Н. Пугачева, О. Н. Черных // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 2. – С. 106-110.

5. Вольфсон С.И. Исследование упруго-гистерезисных характеристик динамических термоэластопластов/ Вольфсон С.И., Охотина Н.А., Нигматуллина, А.И., Сабиров Р.К. // Вестник Казанского технологического университета. – 2012 - № 11 - С. 100-101.

6. Охотина Н.А., Вольфсон С.И., Кузнецова О.А., Карпунин Р.В., Новикова Е.В. Влияние структуры бутадиен-стирольных каучуков на

упруго-гистерезисные свойства протекторных резин / Охотина Н.А., Вольфсон С.И., Кузнецова О.А., Карпунин Р.В., Новикова Е.В. // Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — № 19. — С. 183-185.

7. Фаляхов, М. И., Лынова, А. С., Карманова, О. В., Михалева, Н. А. Исследование эксплуатационных свойств резин на основе синтетического бутадиен-стирольного каучука ДССК-2560-M27 / М. И. Фаляхов, А. С. Лынова, О. В. Карманова, Н. А. Михалева // Журнал Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2016. — № 1. — С. 147-149.

8. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Н. В. Ключникова, А. О. Пискарева, К. А. Урванов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 2. – С. 96-105. – DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105.

УДК 778.38

Логачев Я.А.

Научный руководитель: Веретельник А.Ф., ст. преп.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ГОЛОГРАММА. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБУЧЕНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Введение. В эпоху цифровизации образование переживает настоящую революцию, где центральное место занимают инновационные технологии. Особое внимание привлекает голография – технология, которая выводит процесс обучения на совершенно новый уровень, превращая его в захватывающее погружение в предмет.

Если раньше голограммы были лишь фантастической мечтой, то сегодня они становятся частью образовательного процесса. Эти удивительные трехмерные проекции, созданные с помощью световых волн, позволяют учащимся не просто изучать материал, а буквально видеть и взаимодействовать с ним в объеме.

Преимущества использования голографических технологий в образовании поистине впечатляют. Они дают возможность:

- 1) Создавать наглядные модели сложных процессов и явлений;
- 2) Проводить безопасные виртуальные эксперименты;
- 3) Изучать объекты в мельчайших деталях;
- 4) Делать абстрактные концепции осязаемыми.

Данный подход повышает уровень усвоения знаний и развивает важные навыки: аналитические способности, пространственное мышление, умение работать с большим объемом информации, а также повышает интерес к обучению.

Введение голографических технологий представляет собой продолжение развития образовательной системы, в которой традиционные методы обучения гармонично дополняются инновационными решениями, открывая новые возможности в мире знаний.

Основная часть. Голографические технологии позволяют совершенствовать и улучшать восприятие информации, получаемой студентами. При изучении таких тем, где требуется трехмерное представление объектов, например в начертательной геометрии в ВУЗах, голограммы позволяют эффективнее раскрыть тему, а студентам лучше понять предмет.

В работе студентов с трехмерными моделями, также могут быть использованы голограммы, которые могут быть соединены между собой в интерактивные учебные приложения. В таких приложениях студенты работают, выполняя различные действия: могут уменьшать, увеличивать, поворачивать модели, точнее воспринимать предмет.

Создание лекций преподавателями на дистанционном обучении с использованием голографических технологий, также является действенным методом получения образования студентами. Данная форма работы позволяет производить обмен информацией также как при очном контакте.

В образовательном процессе используются различные средства, которые помогают эффективно провести объяснение темы, показать наглядно замыслы и идеи, создать новые учебные материалы, тем самым повышая уровень подготовки студентов и их интереса к обучению. Например, голографический проектор является одним из таких средств. Он помогает интерактивно продемонстрировать студентам сложные компоненты.



Рис. 1. Голографическая пирамида

Голографические пирамиды делятся на разные по количеству граней, например: односторонняя, трёхсторонняя и четырёхсторонняя. В четырёхсторонней пирамиде (или квадровизоре) изображение проецируется на четыре грани, и обзор становится полноценным (360°). Очевидно, для всего этого нужно использовать на устройстве, т.е. телефоне, скачанное специальное приложение, создающее 3D-контент. Телефон располагается под пирамидой, и экран мобильного устройства отображает четыре одинаковых изображения, каждое из которых отражается в стенках пирамиды. Когда изображение отражается, зритель может видеть трехмерное изображение, создаваемое благодаря оптическим свойствам пирамиды.

Рассмотрим процесс изготовления макета голограммы и развертку.

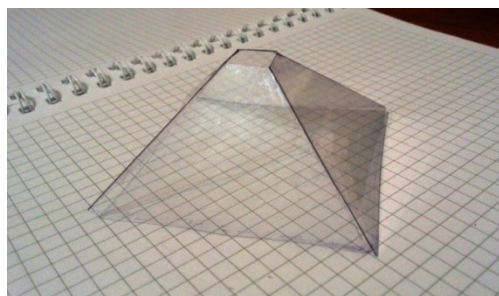


Рис. 2. Четырехгранная пирамида

Чтобы создать простую 3D-голограмму с помощью смартфона, нужно изготовить небольшую прозрачную пирамиду. Для этого используется тонкий прозрачный пластик, например, от упаковки CD-дисков или оргстекло. Из материала вырезаются четыре одинаковые

трапеции размером около 6 см у основания, 1 см у верхней стороны и 3,5 см по высоте. Эти трапеции склеиваются боковыми сторонами так, чтобы получилась усечённая пирамида. Пирамиду устанавливают на экран смартфона, который должен лежать горизонтально.

На телефоне запускается специальное видео для голограммы: на черном фоне размещены четыре одинаковых изображения в форме креста. Для воспроизведения таких видео можно использовать приложения такие как: «Holapex Hologram Video Maker», «Vyomy 3D Hologram Projector» или просто найти подходящие ролики на Rutube. Отражаясь в гранях пирамиды под углом примерно 45 градусов, изображения с экрана складываются в одну объемную голограмму, которая кажется парящей внутри конструкции. Для лучшего эффекта рекомендуется затемнить комнату и использовать максимально прозрачный пластик. Такой проект позволяет просто и эффектно показать принципы отражения света и создания оптических иллюзий.

Вывод. Таким образом, студент, самостоятельно участвовавший в создании голограммы из подручных средств, получит более глубокое понимание процессов формирования трёхмерного изображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королевич А. И. Геометрия графического отображения / А. И. Королевич. – 1-е изд. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1968. – 280 с.
2. Гордон В. О. Курс начертательной геометрии / В. О. Гордон, М. А. Семенцов-Огиевский. – 23-е изд. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
3. Андреева О. В. Прикладная голография: учеб. пособие / О. В. Андреева. – 1-е изд. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 184 с.
4. Семикопенко И. А. Определение конструктивных параметров ступенчатой дисковой мельницы / И. А. Семикопенко, В. П. Воронов, С. С. Латышев, В. С. Севостьянов, Л. А. Рыбак, А. Э. Севостьянов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2021.

Луданов К.В.¹, Луданов Д.Р.²

Научный руководитель: Кратасюк В.А., д-р биол. наук, проф.

¹Сибирский федеральный университет, кафедра биофизики

г. Красноярск, Россия

²Гданьский политехнический университет, факультет машиностроения и судостроения

г. Гданьск, Польша

БИОФИЗИЧЕСКИЙ (БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ) АНАЛИЗ СЛЮНЫ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

В спорте, где от спортсмена требуется проявление «сверхчеловеческих» способностей, остро стоит проблема сохранения здоровья и как можно более длительного пребывания в оптимальной спортивной форме непосредственно перед ответственными соревнованиями и на протяжении всей карьеры [1].

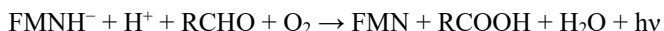
Поэтому в практике спортивной диагностики, а также спортивной медицины выделяют понятие функционального состояния (ФС) организма человека. Показатель ФС организма — это интегральный показатель, определяющийся уровнем функционального состояния всех основных органов и функциональных систем. Так, например, в физической работе, направленной на развитие скоростно-силовой выносливости, которая является ключевой при занятиях борьбой, учитывается триада следующих составляющих: сердечно-сосудистой, дыхательной систем и нервно-мышечного аппарата [2]. Функциональное состояние организма спортсменов изучается в процессе углубленного медицинского обследования (УМО). Данная диагностика заключается в изучении функционирования отдельных систем организма и их комплексной оценке в целом [3].

Разработка метода оценки ФС борцов с помощью биофизического (биолюминесцентного) анализа слюны основана на биолюминесцентной реакции, катализируемой ферментами, выделенными из светящихся бактерий — люциферазой и НАД(Ф)Н:ФМН-оксидоредуктазой. Это приведет к увеличению стабильности используемых ферментов в качестве ферментативных биосенсоров, повышению их чувствительности и расширению возможностей для определения степени адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам. Использование разрабатываемых ферментативных биосенсоров позволит существенно упростить и ускорить процедуру проведения анализа, а также повысить качество

получаемых результатов [4]. Предложенная методика исследования отличается простотой [5], безболезненностью и универсальностью, что также важно для оценки физической тренированности спортсменов и позволит решить проблему трудоемкости, возникающую при проведении обследования другими методами.

Бактериальная биолюминесценция — это явление излучения света бактериями в результате реакции, катализируемой ферментом люциферазой. Этот фермент катализирует окисление длинноцепочечного альдегида и восстановленного флавиномононуклеотида (FMNH⁻) молекулярным кислородом, что приводит к образованию длинноцепочечной жирной кислоты, окисленного флавиномононуклеотида (FMN) и воды с одновременным излучением сине-зеленого света [6, 7].

Общая реакция выглядит следующим образом:



Свободная энергия, выделяющаяся в этой окислительно-восстановительной реакции, расходуется не на синтез АТФ, как в реакциях аэробного дыхания, а на испускание света.

Биолюминесцентное тестирование слюны проводили с использованием комплекта реактивов — лиофилизированные препараты высокоочищенных ферментов (КРАБ) (лаборатория нанобиотехнологии и биолюминесценции Института биофизики СО РАН, Красноярск). Один флакон [8] лиофилизированного препарата содержал 0,4 мг/мл люциферазы (L) EC 1.14.14.3 из рекомбинантного штамма *E. coli* и 0,18 ед. активности NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазы (R) EC 1.5.1.29 [9] (*Photobacterium leiognathi*).

По [10] изменению остаточного свечения биферментной системы после тренировок можно определить характер физической нагрузки на организм спортсменов. Снижение интенсивности остаточного свечения происходит при низкой физической нагрузке, а его увеличение — при высокой нагрузке. Амплитуда изменения остаточного свечения биферментной системы при больших нагрузках на организм позволяет выявить уровень тренированности спортсменов. Изменение остаточного свечения в день значительной физической нагрузки на организм у высококвалифицированных спортсменов выше [10], чем у спортсменов со спортивным разрядом кандидата в мастера спорта (КМС), что характеризует их как более тренированных.

Слюну, как диагностический материал, легко собирать, транспортировать и хранить. Однако следует помнить, что образцы

должны быть взяты у испытуемых в одно и то же время, предпочтительно между 9:00 и 11:00 (из-за наибольшей физико-химической стабильности). Время сбора может зависеть от конкретных анализируемых компонентов. Испытуемому необходимо воздержаться от приема пищи не менее чем за 90 минут до сбора, а также прекратить прием лекарственных средств, влияющих на слюноотделение, за сутки до процедуры. Перед взятием проб следует прополоскать рот деионизированной водой и собирать слюну в течение 10 минут [11].

Для определения ионного состава и реологических свойств слюны [12] анализы проводят сразу после взятия пробы. Для хранения образцов слюны в качестве диагностического материала их следует заморозить, желательнее в жидком азоте. Пробы рекомендуется собирать в охлаждаемые контейнеры. Образцы слюны [13] следует хранить в холодильнике при температуре 4 °С и обработать в течение 3–6 часов после сбора. Слюнная альфа-амилаза, общий белок и низкомолекулярные антиоксиданты остаются стабильными до двух недель [13, 14] при температуре -20 °С.

Образцы слюны должны быть отправлены на подготовительный этап перед анализом. Преаналитическая обработка, применяемая для образцов крови или мочи [13], также должна использоваться для слюны. Важно хранить и транспортировать образцы слюны при контролируемой температуре, чтобы избежать бактериального загрязнения [15].

Поскольку забор слюны является неинвазивным и позволяет проводить процедуру в различных условиях (массовые исследования, полевые испытания, а также даёт возможность взятия проб людьми без медицинской подготовки), он по полезности превосходит анализы крови и мочи.

Простой, неинвазивный метод получения материала для исследования и воспроизводимость результатов делают его эффективным для применения в тестах на месте оказания медицинской помощи [16].

Диагностика на основе анализа слюны может проводиться как в лаборатории [12], так и непосредственно на выезде. Изучение свойств этой системной секреции включает не только содержащиеся в ней вещества и химические параметры, но и физические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонов В.Н. Перетренированность в спорте // Наука в олимпийском спорте. 2015. № 1. С. 19–34.

2. Департамент здравоохранения г. Москвы. Оценка функционального состояния детей и подростков с неврологической патологией с целью определения их возможностей для занятия физической культурой и спортом (часть 1— допуск к занятиям физической культурой и спортом) // Методические рекомендации. 2016. № 25. 24 с.

3. Грабар К.С. Оценка функционального состояния спортсменов различных специализаций // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. С. 187. URL: <https://eduherald.ru> (дата обращения: 01.04.2025).

4. Сутормин О.С., Суковатая И.Е., Кратасюк В.А. Спектры флуоресценции ферментов билюминесцентной реакции бактерий в вязких средах // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2014. № 7. С. 20–26.

5. Савин Г.А., Ушакова Е.В., Перфильева О.Н. Уровень лактата в кожном экскрете как показатель физической тренированности спортсменов // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 1. – С. 18–19.

6. Gunsalus-Miguel A., Meighen E.A., Nicoli M.Z., Nealson K.H., Hastings J.W. Purification and properties of bacterial luciferase // *J. Biol. Chem.* 1972. Vol. 247. P. 398–404.

7. Hastings J.W. Chemistries and colors of bioluminescent reactions: a review // *Gene*. 1996. Vol. 173, № 1. P. 5–11.

8. Сутормин О.С. Би- и триферментные системы, сопряженные с бактериальной люциферазой, в вязком микроокружении: биофизические характеристики и применение : дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. – 158 с.

9. Колосова Е.М. Оценка загрязнения почв комплексным ферментативным биотестированием (на примере почв Красноярского края) : дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. – 165 с.

10. Степанова Л.В., Вышедко А.М., Коленчукова О.А., Жукова Г.В., Кратасюк В.А. Использование билюминесцентного тестирования слюны в оценке физической подготовленности спортсменов разной квалификации // Сибирское медицинское обозрение. 2017. № 6(108). С. 63–69.

11. Burlage F.R., Pijpe J., Coppes R.P., Hemels M.E., Meertens H., Canrinus A., Vissink A. Variability of flow rate when collecting stimulated human parotid saliva // *European Journal of Oral Sciences*. 2005. Vol. 113, № 5. P. 386–390. DOI: 10.1111/j.1600-0722.2005.00241.x.

12. Kubala E., Strzelecka P., Grzegocka M., Lietz-Kijak D., Gronwald H., Skomro P., Kijak E. A review of selected studies that determine the physical and chemical properties of saliva in the field of dental treatment // *BioMed Research International*. 2018. Vol. 2018, № 1. DOI: 10.1155/2018/6572381.

13. Soares Nunes L.A., Mussavira S., Sukumaran Bindhu O. Clinical and diagnostic utility of saliva as a non-invasive diagnostic fluid: a systematic review // *Biochemia medica*. – 2015. – Vol. 25, № 2. – P. 177–192.

14. Nunes L.A.S., Brenzikofer R., Macedo D.V. Reference intervals for saliva analytes collected by a standardized method in a physically active population // *Clinical Biochemistry*. 2011. Vol. 44, № 17–18. P. 1440–1444.

15. Gröschl M., Köhler H., Topf H.G., Rupprecht T., Rauh M. Evaluation of saliva collection devices for the analysis of steroids, peptides and therapeutic drugs // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2008. Vol. 47, № 3. P. 478–486.

16. Tabak L.A. Point-of-care diagnostics enter the mouth // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2007. Vol. 1098, № 1. P. 7–14.

УДК 615.038

Лупандин А.В., Колесов С.Н., Недвига А.Г.

Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Радиофармпрепараты – это уникальный класс лекарственных средств, которые сочетают радиоактивные изотопы с фармацевтическими агентами. Они играют решающую роль в области ядерной медицины, в частности, в диагностике и лечении различных заболеваний, включая рак. В лучевой терапии радиофармпрепараты используются для адресной доставки излучения к злокачественным клеткам, минимизируя повреждение окружающих здоровых тканей. В этой статье рассматриваются типы радиофармпрепаратов, используемых в лучевой терапии, механизмы их действия и клиническое применение.

Радиофармпрепараты состоят из двух основных компонентов: радионуклида и молекулы-мишени. Радионуклид испускает излучение, которое может быть представлено альфа-частицами, бета-частицами или гамма-лучами. Целевая молекула предназначена для

специфического связывания с определенными типами клеток или тканей в организме. Такой целевой подход позволяет проводить лечение на месте, усиливая терапевтический эффект и снижая системные побочные эффекты [1].

Рассмотрим типы радиофармпрепаратов. Бета-излучающие радиофармпрепараты широко используются в лучевой терапии благодаря их способности доставлять высокие дозы радиации непосредственно к опухолевым клеткам. Одним из наиболее известных примеров является ^{131}I , который в основном используется для лечения рака щитовидной железы и гипертиреоза. ^{131}I избирательно поглощается тканью щитовидной железы, что позволяет эффективно уничтожить злокачественные клетки, не повреждая окружающие здоровые ткани. Другим важным бета-излучателем является ^{89}Sr , который используется для паллиативного лечения пациентов с метастазами в кости. ^{89}Sr имитирует кальций и преимущественно накапливается в зонах повышенного костного обмена, связанных с метастатическими поражениями, обеспечивая облегчение боли за счет локального облучения [1, 2].

Альфа-излучающие радиофармпрепараты привлекают к себе все больше внимания благодаря своим свойствам линейного переноса энергии, которые позволяют более эффективно уничтожать клетки на меньших расстояниях по сравнению с бета-излучателями. Ярким примером является ^{223}Ra , который воздействует на костные метастазы при раке предстательной железы. ^{223}Ra имитирует кальций и преимущественно накапливается в областях с интенсивным обменом костной ткани, что связано с метастатическими заболеваниями. Его альфа-излучение наносит значительный ущерб близлежащим раковым клеткам, сводя к минимуму воздействие на окружающие здоровые ткани [3].

Радиоиммунотерапия сочетает в себе специфичность моноклональных антител с цитотоксическим действием радиоактивных изотопов. Этот подход позволяет целенаправленно доставлять излучение непосредственно к раковым клеткам, экспрессирующим специфические антигены. Одним из примечательных примеров является Ibritumomab tiuxetan, который воздействует на белок CD20 при В-клеточных лимфомах и содержит ^{90}Y в качестве терапевтического средства. Этот метод показал многообещающие результаты в лечении неходжкинской лимфомы за счет эффективного воздействия на злокачественные В-клетки, не затрагивая при этом нормальные ткани [1, 4].

Эффективность радиофармпрепаратов в лучевой терапии заключается в их способности доставлять локализованные дозы облучения, которые вызывают повреждение ДНК в опухолевых клетках. Излучаемое излучение вызывает процессы ионизации, которые приводят к двухцепочечным разрывам в ДНК, что в конечном итоге вызывает апоптоз или гибель клеток. Целенаправленный характер этих препаратов гарантирует, что большая часть дозы облучения поглощается опухолевыми клетками, а не здоровыми окружающими тканями. Кроме того, некоторые радиофармпрепараты могут вызывать эффект стороннего наблюдателя, когда соседние раковые клетки, не являющиеся мишенями, также подвергаются апоптозу из-за высвобождения активных форм кислорода из облученных клеток [1].

Радиофармпрепараты нашли применение при различных злокачественных новообразованиях. Они представляют собой значительный шаг вперед в лучевой терапии, предлагая целенаправленные методы лечения, которые повышают эффективность и сводят к минимуму побочные эффекты, связанные с традиционной лучевой терапией внешним пучком, при которой необходимо обеспечить защиту медицинского персонала и других работников, занимающихся диагностикой и лечением. Для этого используются различные материалы (полимерные, композиционные и т. д.) для биологической защиты от ионизирующего излучения [5-22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никульшина Я. О., Редькин А. Н., Устинова Е. Ю., Мануковская О. В., Попов С. С., Коноплина Ю. С. таргетная радионуклидная терапия (радиоиммунотерапия) в онкологии // Вестник РНЦРР. 2021. №3. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 05.05.2025).

2. Радионуклидные препараты / [Электронный ресурс] // Росатом : [сайт]. — URL: https://khlopin.ru/?page_id=14291 (дата обращения: 05.05.2025).

3. Свежий взгляд на радиофарму / [Электронный ресурс] // Росатом : [сайт]. — URL: <https://rosatomnewsletter.com> (дата обращения: 05.05.2025).

4. Ibritumomab Tiuxetan / [Электронный ресурс] // Memorial Sloan Kettering Cancer Center : [сайт]. — URL: <https://www.mskcc.org> (дата обращения: 05.05.2025).

5. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. модифицированные железооксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р.

Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.

6. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.

7. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.

8. Matyukhin P.V. theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides encapsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

9. Матюхин, П. В. неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

10. Matyukhin P.V. studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod:Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

11. Matyukhin P.V. modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

12. Matyukhin P.V. reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

13. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

14. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. физико-технические свойства

радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород: сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

15. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.

16. Матюхин, П. В. термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

17. Ястребинский, Р. Н., Соколенко, И. В., Иваницкий, Д. А., Матюхин, П. В. воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

18. Matyukhin P.V inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.

19. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12.

20. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

21. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего

радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

22. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.

УДК 629.783

Лявданский К.В.

Научный руководитель: Аристов А.А., асс.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ СПУТНИКОВ ФОРМАТА CUBESAT

С развитием технологического сектора все большую популярность в космической отрасли приобретают малые спутники – наноспутники весом от 1 до 10 кг и пикоспутники весом от 0.1 до 1 кг. Этот процесс, идущий уже около 30 лет, закономерно привел к частичной унификации малых космических аппаратов (МКА), за основу которой был принят формат спутников «CubeSat». Безусловно, такое решение привело к упрощению и удешевлению разработки и введения в эксплуатацию изделий.

В миссиях с МКА на смену запускам одиночных аппаратов пришла идея выведения больших групп спутников, называемых «роями» и выполняющими одну общую задачу. Тогда задача определения и повышения надежности миссии стала более комплексной: перед инженерами открылись как интенсивный, так и экстенсивный пути развития. В рамках данного доклада ставится задача статистической оценки надежности спутников формата CubeSat, а также выявления способов ее повышения.

Анализ надежности спутников CubeSat

Для анализа надежности спутников CubeSat обратимся к данным, собранным М. Лангером и Дж. Баумейстером для их статьи «Надежность CubeSats – статистические данные, убеждения разработчиков и путь вперед» [1]. На основе данных о более чем 170 запущенных спутников формата CubeSat ими был построен график зависимости вероятности безотказной работы (ВБР) от времени на

орбите с доверительным интервалом 95%. Учтем, что в иностранных источниках *reliability* (надежность) является синонимом ВБР. Отредактированный график с некоторыми дополнениями представлен далее (Рис. 1).

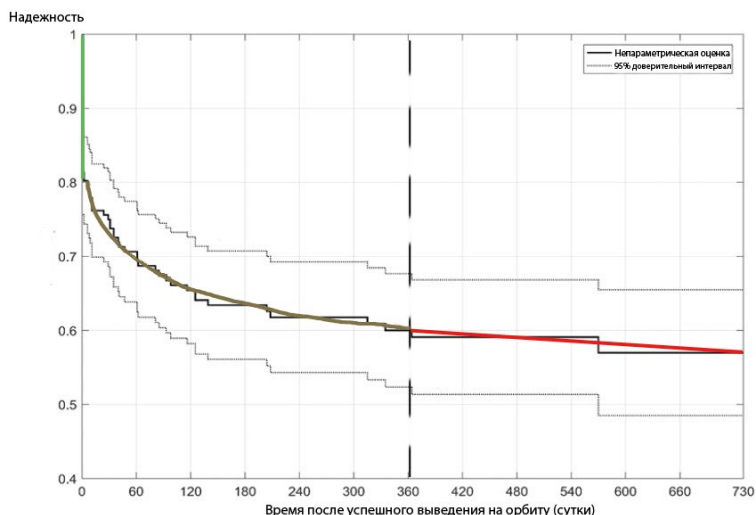


Рис. 1 График зависимости ВБР CubeSat от времени

Не сложно заметить, что на изначальном графике есть 3 участка, на которых зависимость $P(t)$ отличается по характеру от соседних. Первый участок выделен зеленым — он соответствует дню запуска: выводу спутника на орбиту, его отстыковку от ракеты-носителя и инициализацию работы. Он отличается резким снижением ВБР вплоть до 0,8, что даже не худший показатель среди прочих исследований. Это явление в зарубежных источниках называют «dead-on-arrival» (буквально — «мертв по прибытии») или более широко «детской смертностью». Второй участок, выделенный коричневым, отличается (явно) экспоненциальным снижением $P(t)$ и условно представляет собой промежуток от второго дня с момента начала миссии до года. Первый и второй участок вместе в русскоязычной литературе называются «детством» устройства. Третий красный участок в первом приближении можно считать линейной зависимостью $P(t)$ и называется «зрелостью» устройства.

Для каждого участка следует определить свою интенсивность отказов $\lambda(t)$. Участки графика отсекаются следующими моментами времени: $t_1 = 1$ день, $t_2 = 1$ год; t_3 возьмем равным 1,5 годам и 3 годам

для двух случаев. В принципе «зрелостью» можно считать функционирование CubeSat вплоть до 4-5 лет.

Далее воспользуемся формулами из теории надежности технических систем [2]. Найдем ВБР для каждого из участков (1):

$$P(t_1, t_2) = \frac{P(0, t_2)}{P(0, t_1)}, \quad (1)$$

где $P(0, t_2)$ – ВБР за период от 0 до t_2 ;

$P(0, t_1)$ – ВБР за период от 0 до t_1 .

В общем виде ВБР на некотором промежутке времени от t_1 до t_2 вычисляется следующим образом (2):

$$P(t_1, t_2) = \exp(-\lambda(t_2 - t_1)), \quad (2)$$

где $\lambda(t_2 - t_1)$ – интенсивность отказов за период от t_1 до t_2 .

Отсюда выразим интенсивность отказов (3):

$$\lambda = \frac{\ln P(t_1, t_2)}{-(t_2 - t_1)}, \quad (3)$$

Зачастую для успешного выполнения минимума миссии требуется не менее четырех рабочих спутников на протяжении всего периода эксплуатации. Посчитаем интенсивность отказов λ и поток отказов Λ на каждом промежутке времени. Результат представлен ниже (Табл. 1).

Таблица 1 – Поток отказов для 3 участков

Промежуток	λ	$\Lambda = \lambda * n$	Δt
1	0,0093 (1/ч)	0,0372 (1/ч)	24 (ч)
2	0,2877 (1/г)	1,1508 (1/г)	1 (г)
3	0,0677 (1/г)	0,2708 (1/г)	0,5 (г) (может меняться)

Теперь, располагая всеми необходимыми данными, рассчитаем уровень гарантии функционирования при различном количестве спутников «в запасе».

Учитывая, что ВБР при отсутствии запасных устройств (P_0) известно, для большого количества запасных устройств воспользуемся рекуррентным соотношением, согласно которому ВБР $k+1$ элемента вычисляется как (4):

$$P_{k+1} = P_k \cdot \frac{MO}{k+1}, \quad (4)$$

где k – номер запасного устройства;

P_k – ВБР k -го запасного устройства;

МО – математическое ожидание для одного устройства, $МО = \Lambda \cdot t_3$.

Согласно исследованиям, для большинства миссий уровень гарантии функционирования должен быть не менее 0,9, т.е. должно выполняться $\alpha_i(t_3) \geq 0,9$ [3].

Исходя из соотношения выше уровень гарантии функционирования может быть вычислен следующим образом (5):

$$\alpha_i(t_3) = \sum_{k=0}^{m_i} P_i, \quad (5)$$

Используя программу Excel для вычислений, получим следующую таблицу P_i и α_i для миссий длительностью 1,5 года и 3 года (Табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость уровня гарантии функционирования от количества запасных спутников

Количество запасных спутников	$P_i; \Delta t = 1,5$ года	$\alpha_i; \Delta t = 1,5$ года	$P_i; \Delta t = 3$ года (приближенно)	$\alpha_i; \Delta t = 3$ года (приближенно)
0	0,1132	0,1132	0,0754	0,0754
1	0,2466	0,3597	0,1949	0,2703
2	0,2686	0,6283	0,2519	0,5222
3	0,1951	0,8235	0,2171	0,7392
4	0,1063	0,9298	0,1403	0,8795
5	0,0463	0,9761	0,0725	0,9520
6	0,0168	0,9929	0,0313	0,9833
7	0,0052	0,9981	0,0115	0,9948
8	0,0014	0,9996	0,0037	0,9986
9	0,0003	0,9999	0,0011	0,9996
10	<0,0001	>0,9999	0,0003	0,9999

Итак, в среднем для полуторогодичной миссии с 4 базовыми CubeSat для успеха миссии требуется также 4 запасных спутника. Для трехгодичной миссии требуется не менее 5 запасных спутников. Также отметим, что для выполнения правила «трех сигм» ($\alpha \geq 0,9973$) нужно 7 и 8 запасных спутников соответственно.

Вывод

Были проведены вычисления, дающие общее представление о надежности «созвездий» и отдельных спутников формата CubeSat. На

их основании можно сделать вывод, что наиболее опасными для кубсатов являются этапы вывода на орбиту и первый год выполнения миссии. Именно «детская смертность» аппаратов является основной причиной того, что для достаточной надежности миссии требуется относительно много дублирующих спутников.

Важно учитывать, что в качестве статистики в основе исследования использовались данные из открытых источников исследований 2016 – 2018 годов, т.к. в настоящее время статистические данные менее полны из-за коммерческой тайны. В тот период около 70% разработанных CubeSat приходилось на университеты различных стран мира, и только оставшиеся были разработаны профессионалами индустрии с большим опытом и ресурсами. Это и выявляет основные причины низкой надежности «средневзвешенного» наноспутника и провальность многих миссий. По мнению автора, для повышения ВБР спутников требуется улучшенное и более глубокое тестирование, закупка (производство) качественных компонентов и больший профессионализм разработчиков. Отдельной трудоемкой задачей представляется резервирование основных систем спутников CubeSat, и сама по себе она требует отдельного глубокого исследования. Важно оценить целесообразность резервирования, поскольку оно может значительно повысить стоимость разработки и усложнить проектирование в рамках платформы ограниченного объема, а дублирование аппаратов в целом может оказаться экономически более выгодным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M. Langer, J. Bouwmeester. Reliability of CubeSats – Statistical Data, Developers’ Beliefs and the Way Forward // The 30th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. – 2016. – Article SSC16-X-2.
2. Марченко Б.И. Обеспечение надежности технических систем. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Нестор-История, 2020. – 88 с.
3. У. Блэквелл и др., Анализ надежности CubeSat. Массачусетский технологический институт. URL: <https://www.nasa.gov/> (дата обращения: 10.05.2025).

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОЛИТЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИЛИКАТ-ГЛЫБЫ В КАЧЕСТВЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ДОБАВКИ

В последние десятилетия в мире наблюдается повышение интереса к использованию керамических композиционных материалов в строительной отрасли, в связи с тем, что данного рода материалы обладают уникальными свойствами и способны соответствовать требованиям современного строительства. Ведь важными факторами являются долговечность, прочность и устойчивость к воздействию к различным внешним факторам.

Одним из перспективных направлений в этой области является использование искусственных керамических вяжущих (ИКВ) в сочетании с различными добавками, которые позволяют улучшить эксплуатационные характеристики готовых изделий.

Силикат-глыба представляет собой интересный материал, который может быть использован в качестве упрочняющей добавки, так как обладает высокой прочностью и низкой плотностью. Исходя из вышеупомянутого, можно предположить, что внедрение силикат-глыбы в состав композиционных материалов поможет значительно повысить механическую прочность и устойчивость к воздействию влаги и температурных колебаний безобжиговых композитов.

Для проведения исследований использовался тонкодисперсный порошок силикат-глыбы (силикат натрия) с модулем основности 2,3-3,6.

Были подобраны экспериментальные составы образцов, которые представлены в таблице 1.

Формование образцов производилось стандартным методом, используемым в данной промышленности - методом вибролитья

После проведения полного цикла подготовки образцов, оканчивающийся сушкой и обжигом, были проведены испытания по определению основных физико-механических показателей. Результаты исследований представлены на графиках и описаны ниже.

Таблица 1 - Составы экспериментальных образцов

№	Процентное содержание, %			№	Процентное содержание, %		
	Диатомит	ИКВ на основе карьерного диатомита	Силикат-глыба		Диатомит	ИКВ на основе обожженного диатомита	Силикат-глыба
1	73	27	0,5	1	73	27	0,5
2	73	27	1	2	73	27	1
3	73	27	2	3	73	27	2
4	73	27	4	4	73	27	4
5	73	27	6	5	73	27	6

Анализируя полученные значения плотности для экспериментальных образцов, взятых, в первом случае, только после сушке, а во втором случае, уже после обжига, можем сделать выводы, описываемые ниже.

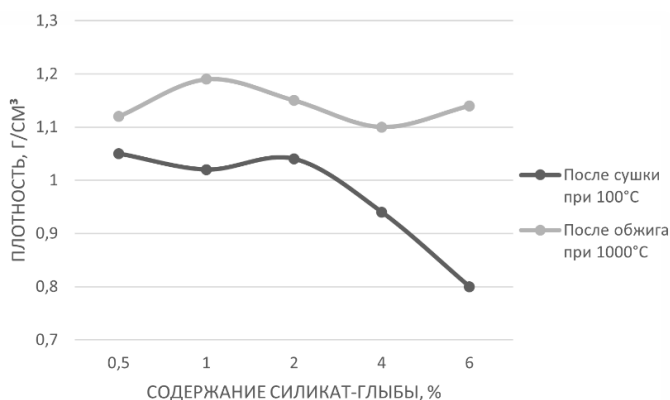


Рис. 1 Графики зависимостей значений плотности экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания силикат-глыбы в материале на основе карьерного диатомита

Как мы видим (рис. 1), образцы, прошедшие только этап сушки, демонстрируют меньшие значения плотности, нежели образцы, подвергнутые обжигу при 1000°C. В первом случае максимальное значение плотности наблюдается при содержании 0,5% силикат-глыбы, а минимальное – при содержании 6%. Более того, после добавления порошка силикат-глыбы свыше 2% происходит резкий спад значений

плотности образцов, что говорит о негативном воздействии добавки. Во втором же случае максимальное и минимальное значения показателя плотности наблюдается при содержании 1% и 4% силикат-глыбы соответственно. Можно сделать вывод, что эффект упрочняющей добавки отличается в случаях, когда образцы подвергаются только сушке и когда образцы полноценно обжигают, при условии, что за связующее берется суспензия на основе карьерного диатомита.

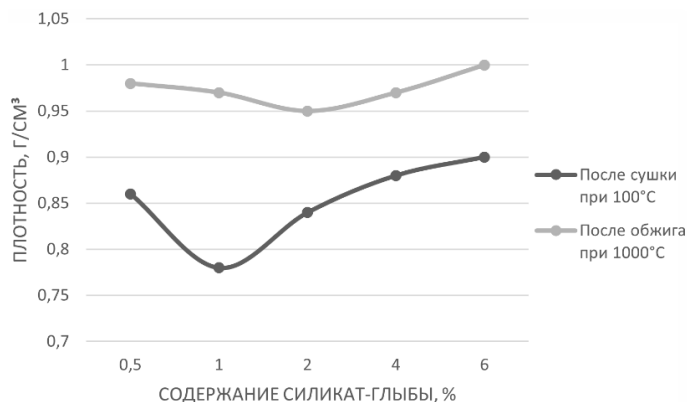


Рис. 2 Графики зависимостей значений плотности экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания силикат-глыбы в материале на основе обожженного диатомита

Помимо суспензии на основе карьерного диатомита, использовалась и суспензия на основе обожженного диатомита. Вторая партия образцов также была подвергнута испытаниям для определения физико-механических свойств образцов. Графики зависимостей значений плотности образцов от содержания силикат глыбы представлены на рисунке 2.

Как мы видим, в целом, кривые имеют примерно одинаковую тенденцию: максимальное значение плотности соответствует содержанию 6% упрочняющей добавки. Однако минимумы значений (0,78 г/см³ и 0,95 г/см³) приходятся на 1% содержания силикат-глыбы в случае использования образцов только после сушки при 100°C и на 2% - в случае проведения полноценного цикла подготовки образцов.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что обжиг образцов, имеющих в своем составе силикат-глыбу, положительным образом сказывается на плотности образцов.

Предел прочности на сжатие является вторым основным показателем, наравне с плотностью, для изготовленных образцов.

На рисунках 3 и 4 представлены графики зависимостей значений предела прочности на сжатие от процентного содержания силикат-глыбы в случаях с использованием суспензий на основе карьерного и обожженного диатомитов. Исследовались как образцы, прошедшие только стадию сушки, так и образцы, прошедшие стадию обжига.

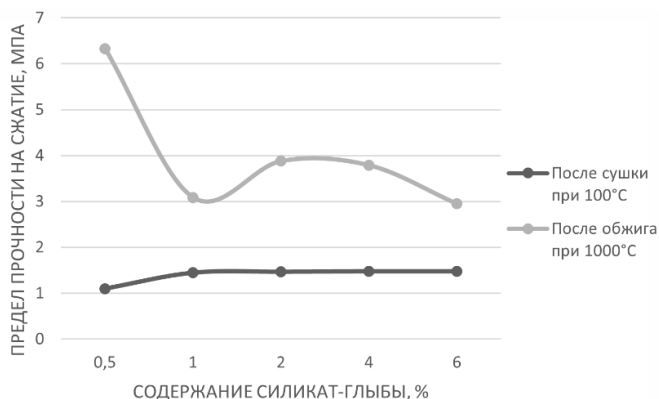


Рис. 3 Графики зависимостей значений предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания силикат-глыбы в материале на основе карьерного диатомита

По графикам на рисунке 1 видно, образцы, подвергшиеся лишь сушке при 100°C, демонстрируют низкие значения предела прочности на сжатие. Заметное изменение значений происходит только при увеличении содержания силикат-глыбы до 1%. Далее значения выходят на плато. Образцы после обжига демонстрируют довольно сильные колебания значений. Максимум значений предела прочности на сжатие наблюдается при содержании 0,5% силикат глыбы, а минимум – при содержании 6%. При изменении содержания добавки в диапазоне от 1% до 4% сначала происходит резкий спад значений, а далее - резкое повышение.

При анализе графиков зависимостей, представленных на рисунке 4, можно заметить, что образцы ведут себя совершенно по-разному. В случае образцов, которые подверглись только сушке, увеличение содержания силикат-глыбы не приводит к значительным изменениям, однако в случае с образцами, которые подверглись обжигу, увеличение процентного содержания силикат глыбы приводит к значительному снижению значений предела прочности на сжатие (максимум наблюдается при содержании 0,5% силика-глыбы и составляет 19,9

МПа, а минимум наблюдается при содержании 6% упрочняющей добавки и составляет 6,3 МПа).

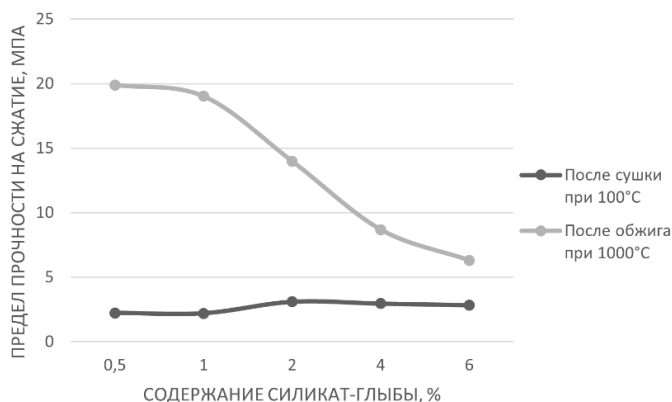


Рис. 4 Графики зависимостей значений предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания силикат-глыбы в материале на основе обожженного диатомита

Исходя из результатов исследований основных физико-механических показателей экспериментальных образцов, отформованных способом вибролитья, можно сделать вывод о том, что оптимальным для образцов, которые подверглись полному циклу подготовки материала, является содержание 4% силикат-глыбы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишин Д.А., Способы синтеза силикатсодержащего клинкера стоматологического цемента/ Д.А. Мишин, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – №12. – С. 97-105.
2. Шакурова Н.В., Количественные критерии оценки морозостойкости на основе анализа гидродинамических параметров стеновой керамики / Н.В. Шакурова, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – №11. – С. 81-91.
3. Пивинский Ю.Е., Гидратация, реологические и вяжущие свойства водных суспензий периклаза // Огнеупоры – 1984. – № 12. – С. 12-18.
4. Сайбулатов С. Ж., Производство керамического кирпича. // Л.: Стойиздат. – 1989. – С. 25-29.
5. ГОСТ 2694-78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные.

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ

Начиная с конца 20-го века и заканчивая сегодняшним днем, активно проводятся исследования по разработке керамических связующих без использования глинистого сырья. Причин для развития данного направления несколько: во-первых, данного рода разработки снижают уровень зависимости человека от природных ресурсов, во-вторых, что более важно, с развитием производственных технологий требуется повышение физико-механических свойств материалов (прочность, плотность, термостойкость, химическая стойкость).

В связи с вышеупомянутыми потребностями производства, был проведен подбор разного рода составов (табл. 1) с различным содержанием суспензии из искусственного керамического вяжущего (ИКВ) на основе карьерного и обожженного диатомитов, выполняющей роль матрицы, и измельченного диатомита, выполняющего роль заполнителя. После чего были проведены испытания образцов, изготовленных на основе выбранных составов. Помимо этого, в технологию был внедрен новый способ формования образцов – одностороннее вибропрессование.

Таблица 1 - Составы экспериментальных образцов

№ состав а	Процентное содержание, %		№ состав а	Процентное содержание, %	
	Диатомит	ИКВ на основе карьерного диатомита		Диатомит	ИКВ на основе обоженного диатомита
1	77,5	22,5	1	88,5	11,5
2	72	28	2	84	16
3	66,5	33,5	3	79,5	20,5
4	61	39	4	72	28
5	55,5	44,5	5	68	32

6	50	50	6	50	50
---	----	----	---	----	----

Подбор содержания компонентов составов проводился с целью получения оптимальной структуры и требуемых по ГОСТ 2694-78 «Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные» физико-механических характеристик образцов.

Процесс получения готовых образцов содержит четыре основные стадии:

1) Смешивание: Первоначально требуется гомогенизировать смесь из заранее подготовленных составляющих компонентов путем смешивания их в смесительных бегунах не более 3-х минут.

2) Формование: Далее гомогенизированную смесь отправляют на стадию формования. Для этого был выбран способ одностороннего выборопрессования в металлическую форму при удельном давлении 0,1 МПа с выдержкой 10 сек. На данной стадии происходит уплотнение структуры материала и равномерное распределение заполнителя в объеме ИКВ.

3) Сушка: Сушка образцов проводилась в сушильном шкафу при температуре 100-110°C в течение 10 часов.

4) Обжиг: Финальная стадия подготовки образцов – обжиг в муфельной печи при температуре 1000°C с выдержкой 2 часа.

Готовые образцы были подвергнуты испытаниям для определения основных физико-механических показателей. Результаты испытаний представлены ниже.

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости изменения плотности образцов от процентного содержания суспензий на основе карьерного и обожженного диатомита.

Как мы видим, в первом случае зависимость близка к линейной, то есть значения плотности равномерно уменьшаются с таким же равномерным увеличением процентного содержания суспензии, соответственно, минимальное значение плотности ($0,85 \text{ г/см}^3$) соотносится с содержанием 50% суспензии на основе карьерного диатомита.

Во втором случае зависимость, в целом, также близка к линейно, однако в данном случае присутствуют довольно выраженные пики при содержании 16% и 32% суспензии на основе обожженного диатомита. Минимальное же значение плотности образцов, как и в случае с суспензией на основе карьерного диатомита, соответствует содержанию 50% суспензии.

Помимо плотности, также были проанализированы показатели пределов прочности на сжатие для всех экспериментальных образцов. В данном случае испытания были проведены на образцах, которые

подверглись исключительно сушке, и на образцах, прошедших полный процесс подготовки, то есть на обожженных образцах. Результаты представлены на рисунках 3 и 4.

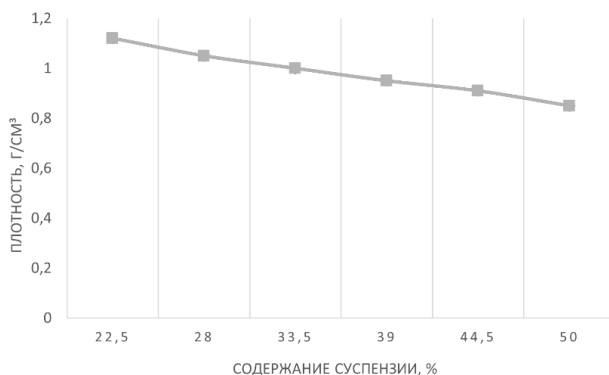


Рис. 1 График зависимости плотности экспериментальных образцов от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

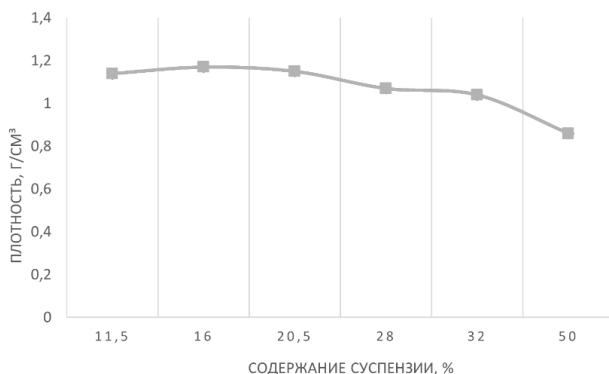


Рис. 2 График зависимости плотности экспериментальных образцов от процентного содержания суспензии на основе обожженного диатомита

Значения предела прочности на сжатие образцов из суспензии на основе карьерного диатомита, взятых после сушки, объединяются в кривую (рис. 3), имеющую два пиковых значения (при добавлении 22,5% и 39% суспензии), минимальное значение наблюдается при содержании 50% суспензии и соответствует 0,11 МПа. Если рассматривать зависимости значений предела прочности на сжатие этих же образцов только уже после прохождения полного цикла подготовки

(после обжига), можно увидеть, что зависимость визуальна схожа с предыдущей, однако значения предела прочности куда выше, чем в первом случае. Максимальное значение (10,1 МПа) соответствует содержанию 22,5% суспензии на основе карьерного диатомита, далее наблюдается резкое снижение показателей и при увеличении содержания суспензии до 39%, снова происходит увеличение предела прочности на сжатие. Минимально значение данного показателя, как и в первом случае, соответствует содержанию 50% суспензии.

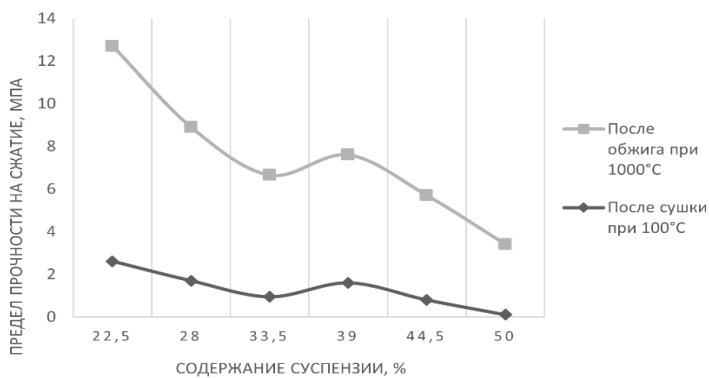


Рис. 3 График зависимости предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

Показатели значений предела прочности на сжатие из суспензии на основе обожженного диатомита объединяются в совершенно несоотносимые между собой кривые.

Образцы, подвергшиеся только сушки, демонстрируют зависимость, близкую к линейной, с максимальным значением (2,44 МПа) при содержании 11,5% суспензии и с минимальным значением (0,02 МПа) при содержании 50% суспензии на основе обожженного диатомита. В случае же с образцами, прошедшими стадию обжига при 1000°C, происходит сначала плавное увеличение значений прочности на сжатие с таким же плавным увеличением содержания суспензии, вплоть до содержания 20,5% суспензии на основе обожженного диатомита (значение в данной точке соответствует максимуму и составляет 12,5 МПа). Далее начинает происходить спад значений прочности на сжатие. При содержании 50% суспензии наблюдается минимальное значение прочности на сжатие (оно соответствует 7,82 МПа).

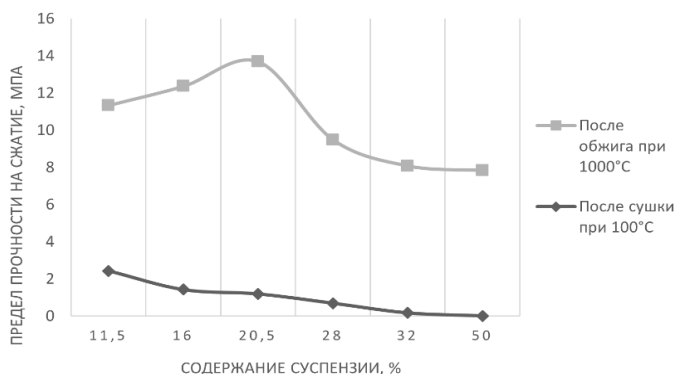


Рис. 4 График зависимости предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе обожженного диатомита

На основании данных исследований, представленных выше, можно прийти к выводу о том, наиболее технологически пригодными являются образцы, созданные на из суспензии на основе обожженного диатомита с ее содержанием, равным 50%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шакурова Н.В., Количественные критерии оценки морозостойкости на основе анализа гидродинамических параметров стеновой керамики / Н.В. Шакурова, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – №11. – С. 81-91.
2. Пивинский Ю.Е., Зависимость технологических параметров высоконцентрированных керамических и стекольных вяжущих суспензий сложных составов от химической природы твердой фазы / Пивинский Ю.Е, Дороганов В.А. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 175-182.
3. ГОСТ 2694-78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные.
4. Пустовгар А.П., Эффективность применения активированных диатомитов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 62-65.
5. Авакян Т.А., Характеристика качества и структурных особенностей диатомитов Армении // Известия НАН РА, Найки о Земле. – 2003. – №3. – С.46-48.

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОЛИТЬЯ

В современном мире высокие темпы научно-технического прогресса мотивируют на создание новых композиционных материалов и композитов на их основе, эксплуатационные характеристики которых все чаще позволяют применять их для работы в экстремальных условиях. Для повышения эффективности работы в экстремальных условиях требуется максимально повысить прочность и понизить плотность материалов, для чего используются различные технологические приемы: изменение типа матрицы, применение высокого давления формования, повышение температуры термообработки, использование рационального зернового состава наполнителя и матрицы, повышение химического и фазового сродства керамического вяжущего и наполнителя.

Для получения задуманных композиционных материалов в качестве заполнителя использовался карьерный диатомит фракции 1-3 мм с насыпной плотностью $430-450 \text{ кг/м}^3$, а в качестве вяжущего - ИКВ на основе карьерного и обожженного диатомитов, полученные в лабораторных условиях.

Экспериментальные составы указаны в таблице 1:

Таблица 1 – Составы экспериментальных образцов

№ состав а	Процентное содержание, %		№ состав а	Процентное содержание, %	
	Диатоми т	ИКВ на основе карьерног о диатомита		Диатоми т	ИКВ на основе обожженног о диатомита
1	77,5	22,5	1	88,5	11,5
2	72	28	2	84	16
3	66,5	33,5	3	79,5	20,5
4	61	39	4	72	28
5	55,5	44,5	5	68	32
6	50	50	6	50	50

В процессе создания композиционных материалов есть несколько основных контрольных точек. Первоначально требуется подобрать наиболее подходящее соотношение содержания заполнителя и вяжущего. Это нужно, чтобы достичь формирования оптимальной структуры изготавливаемого материала. На основании этого, были проанализированы составы композитов с различными соотношениями вяжущего и заполнителя. В связи с тем, что при уменьшении содержания вяжущего ниже 50% образцы имели очень низкую структурную прочность, был определен минимальный предел концентрации вяжущего. Максимальный предел содержания вяжущего определялся исходя из того, насколько хорошо экспериментальные образцы сохраняли свои геометрические размеры, помимо этого, образцы не должны были деформироваться под собственным весом или же при контакте с объектами окружающей среды. На основании вышеупомянутых условий были определены допустимые пределы варьирования содержания двух видов вяжущих.

Для получения формовочных систем использовались смесительные бегуны периодического действия. Время смешения составляло не более трех минут, так как было обнаружено, что при увеличении времени воздействия на формовочную систему происходило дополнительное измельчение заполнителя, что, в свою очередь, приводило к ухудшению формовочных свойств массы.

Формование образцов производилось методом вибротлитья. После стадии формования экспериментальные образцы помещались в сушильную камеру, разогретую до 100°C. Далее следовала стадия обжига при 1000°C.

Были определены и проанализированы показатели плотности и прочности на сжатие готовых образцов.

Результаты исследований плотности образцов представлены на рисунках 1 и 2.

Как мы видим, по данным, представленным на рисунках 1 и 2, содержание суспензий на основе карьерного и обожженного диатомитов имеет различное влияние на показатели плотности готовых экспериментальных образцов. Хотя в обоих случаях зависимость и близка к линейной, в первом случае значения плотности падают практически равномерно с увеличением содержания суспензии на основе карьерного диатомита. А во втором случае сначала идет незначительное снижение плотности, далее же (при содержании суспензии на основе обожженного диатомита в диапазоне от 16% до 28%) значения показателя плотности образцов выходят на плато, и только при добавлении 32% суспензии начинается дальнейший спад значений плотности экспериментальных образцов.

В обоих случаях минимальные значения плотностей готовых образцов соответствуют максимальным значениям содержания суспензий (50%).

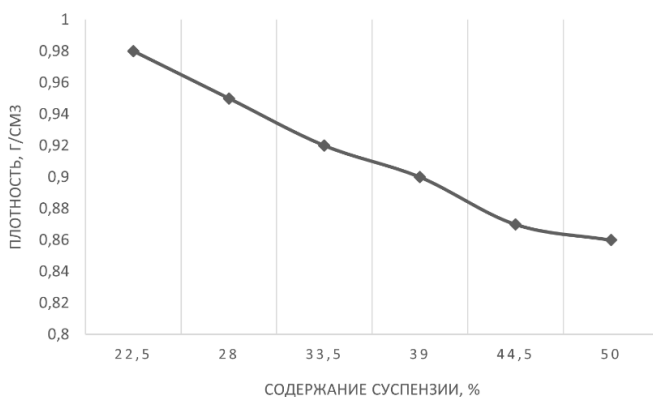


Рис. 1 График зависимости плотности экспериментальных образцов от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

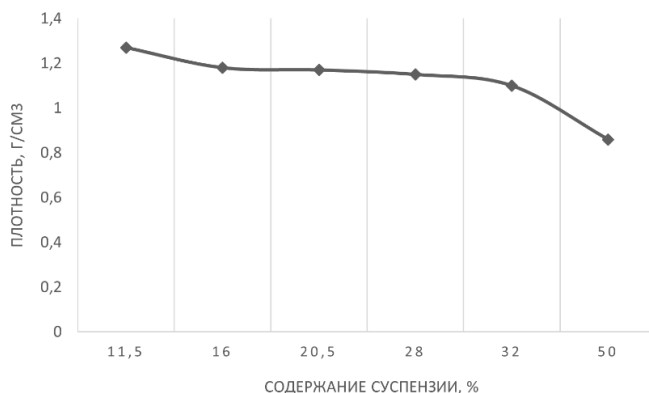


Рис. 2 График зависимости плотности экспериментальных образцов от процентного содержания суспензии на основе обожженного диатомита

Проанализировав данные, представленные на рисунках 3 и 4, можно сделать выводы, описанные ниже.

Значения предела прочности на сжатие образцов на основе карьерного диатомита после сушки при 100°C объединяются в относительно плавную кривую, по которой заметно, что максимальное значение наблюдается при содержании 28% суспензии, а минимальное – при 50%. Значения предела прочности на сжатие образцов на основе карьерного диатомита после обжига при 1000°C объединяются в кривую, где четко виден пик, характеризующий максимальное значение прочности на сжатие при содержании 33,5% суспензии, минимальные значения предела прочности на сжатия соответствуют максимальному (50%) и минимальному (22,5%) содержанию суспензии.

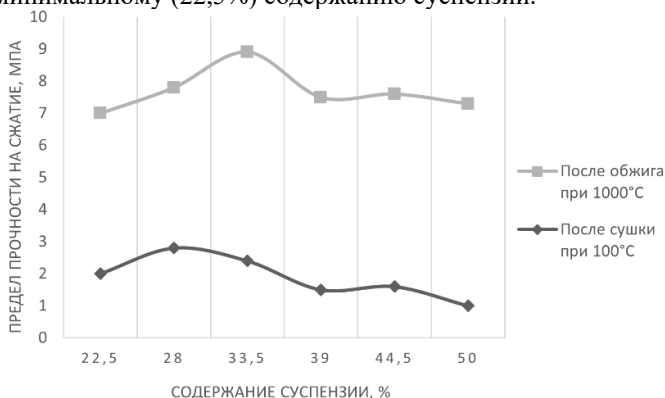


Рис. 3 График зависимости предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

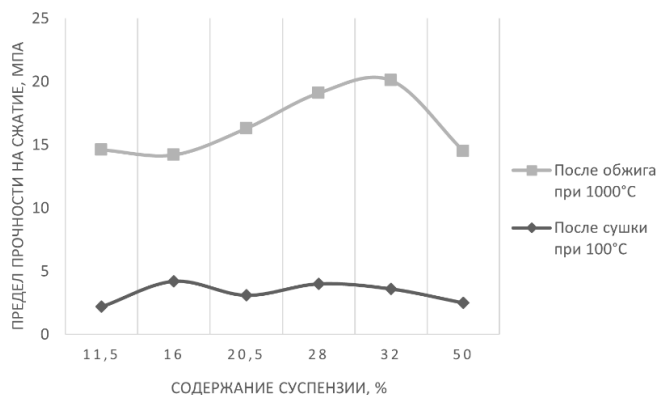


Рис. 4 График зависимости предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе обожженного диатомита

Значения предела прочности на сжатие образцов на основе обожженного диатомита после сушки при 100°C объединяются в кривую, похожую на кривую аналогичной зависимости для образцов на основе суспензии из карьерного диатомита, однако в данном случае колебания менее значительные. Максимальные значения предела прочности на сжатие, соответствует содержанию 16% и 28% суспензии на основе обожженного диатомита, а минимальные – содержанию 11,5% и 50% суспензии. Кривая значений предела прочности на сжатие образцов на основе суспензии из обожженного диатомита после обжига при 1000°C отличается от такой же зависимости в первом случае. Здесь мы можем наблюдать плавное повышение значений предела прочности с увеличением содержания суспензии вплоть до 32%, однако при повышении содержания суспензии до 50% происходит резкий спад значений предела прочности на сжатие практически до минимальных показателей.

Из данных, проанализированных выше, можно сделать вывод о том, что наиболее технологически подходящие физико-механические показатели были продемонстрированы составом на основе суспензии из обожженного диатомита при содержании 50% суспензии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробанов Е.В., Исследование процесса гранулирования искусственного керамического вяжущего на основе глинозема / Е.В. Коробанова, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №12. – С. 141-146.
2. Пивинский Ю.Е., Зависимость технологических параметров высоконцентрированных керамических и стекольных вяжущих суспензий сложных составов от химической природы твердой фазы / Пивинский Ю.Е, Дороганов В.А. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 175-182.
3. Пивинский Ю.Е. Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. Избранные труды / Ю.Е. Пивинский // С.-Петербург: Стройиздат СПб. – 2003. – Том 2. – С. 544.
4. Пивинский Ю.Е. Керамические и огнеупорные материалы. Избранные труды / Ю.Е. Пивинский // С.-Петербург: Стройиздат СПб. – 2003. – Том 2. – С. 688.
5. ГОСТ 2694-78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные.

УДК 666.7-1

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

На сегодняшний день во всем мире наблюдается значительный интерес к разработке и исследованию композиционных материалов, которые обладают улучшенными физико-механическими свойствами и экологической устойчивостью. Одним из перспективных направлений в этой области является использование природных минеральных ресурсов, таких как диатомит и вспученный перлит, для создания новых строительных и теплоизоляционных материалов.

Диатомит, представляющий собой осадочную породу, образованную остеокластами диатомитовых водорослей, обладает

уникальными свойствами, включая низкую плотность, высокую пористость и хорошую теплоизоляцию. Вспученный перлит, в свою очередь, является легким заполнителем с высокими теплоизоляционными характеристиками и огнестойкостью.

Для формования экспериментальных образцов был выбран метод вибропрессования, так как таким образом можно достичь более высоких качественных характеристик готовых изделий. Помимо этого, добавление в состав смеси вспученного перлита делает невозможным использование смесительных бегунов для создания формовочной массы, так как произойдет полное истирание гранул вспученного перлита в порошок, что в данной технологии недопустимо. В связи с этим вместо смесительных бегунов требуется использовать планетарный смеситель.

Для создания формовочных смесей методом вибропрессования с применением вспученного перлита в качестве заполнителя были подобраны составы, представленные в таблице 1.

После полноценной подготовки экспериментальных образцов, включающей сушку при 100°C для всех образцов и обжиг при 1000°C для ½ части образцов, были определены основные физико-механические показатели: плотность и предел прочности на сжатие. Результаты исследований в виде графиков представлены на рисунках 1-4.

Таблица 1 - Составы экспериментальных образцов

№	Процентное содержание, %		№	Процентное содержание, %	
	Перлит	ИКВ на основе карьерного диатомита		Перлит	ИКВ на основе обожженного диатомита
1	18,90	81,10	1	15,90	84,10
2	20,30	79,70	2	18,80	81,20
3	21,80	78,20	3	21,10	78,90
4	23,50	76,50	4	26,90	73,10
5	27,00	73,00	5	31,00	69,00
6	29,60	70,40	6	36,80	63,20
7	32,90	67,10	7	49,00	51,00
8	38,00	62,00	8	59,00	41,00
9	45,10	54,90	9	69,00	31,00
10	56,00	44,00	10		
11	65,00	35,00	11		

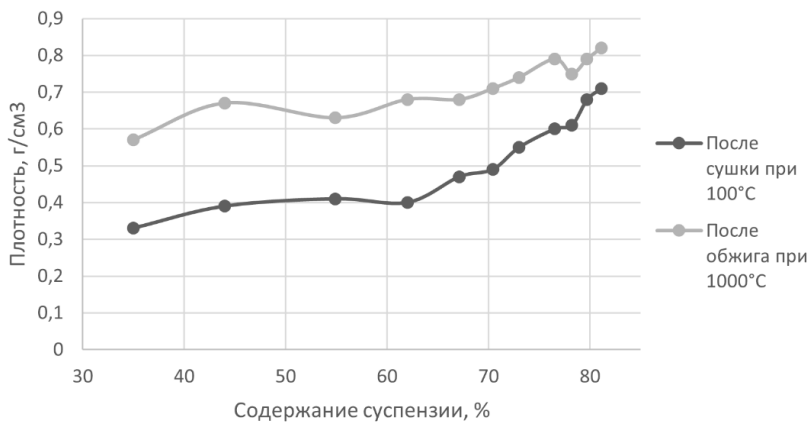


Рис. 1 Графики зависимостей значений плотности экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

По результатам, представленным на рисунке 1, видно, что плотность экспериментальных образцов, содержащих суспензию на основе карьерного диатомита, плавно растет с увеличением содержания суспензии в формовочной смеси. Максимальные значения достигаются при содержании 81,10 % (в первом случае) и при содержании 84,10 % (во втором случае). При этом показатели плотности образцов, подвергшихся обжигу при 1000°C, на порядок выше, чем в случае образцов, прошедших только стадию сушки при 100°C.

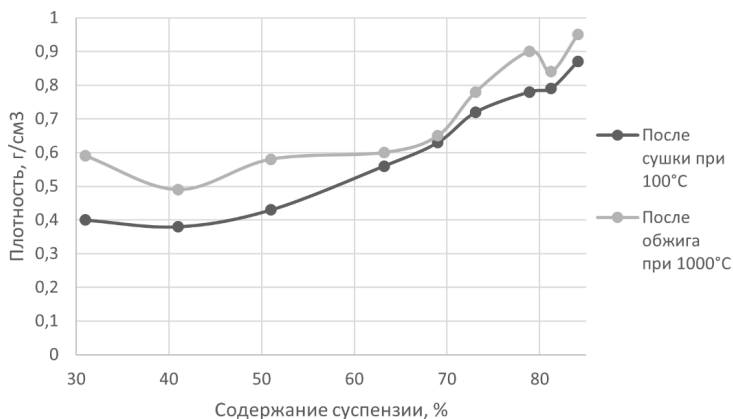


Рис. 2 Графики зависимостей значений плотности экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания силикат-глыбы в материале на основе обожженного диатомита

В случае с образцами, содержащими суспензию на основе обожженного диатомита, показатели плотности не демонстрируют стабильную прямо пропорциональную зависимость от процентного содержания суспензии. Однако максимальные показатели также, как и в первом случае, наблюдаются при максимальном содержании суспензии. Образцы, подвергшиеся обжигу при 1000°C, хоть и демонстрируют более высокие значения плотности, но разница с показателями образцов, которые подверглись лишь сушке при 100°C, минимальная, а в диапазоне содержания суспензии от 29% и выше значения практически одинаковые.

По результатам, представленным на рисунке 3, видно, что повышение содержания суспензии в составе формовочной смеси поразному влияет на предел прочности на сжатие у образцов, которые подверглись только сушке при 100°C и которые прошли полный цикл подготовки (в завершении образцы обжигают при температуре 1000°C). В первом случае повышение предела прочности наблюдается только при добавлении 67,10 % суспензии на основе карьерного диатомита и выше. Во втором случае значения предела прочности на сжатие практически плавно повышаются с увеличением содержанием суспензии. Максимальные значения в обоих случаях достигаются при максимальном содержании суспензии.

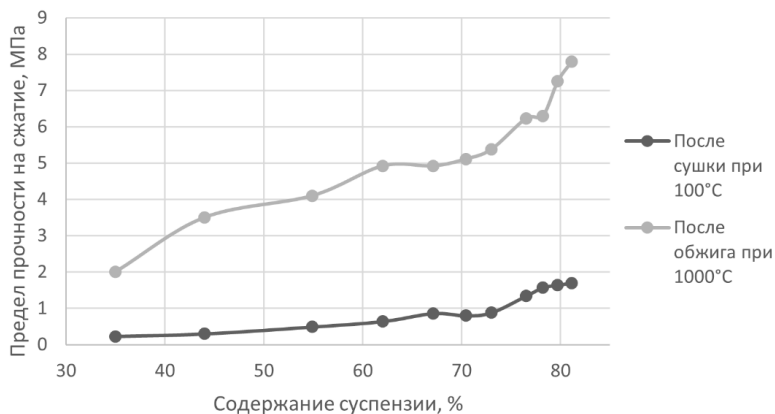


Рис. 3 Графики зависимостей значений предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе карьерного диатомита

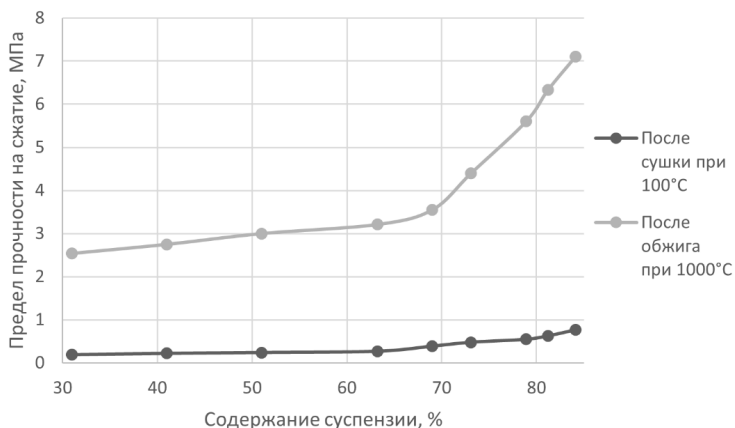


Рис. 4 Графики зависимостей значений предела прочности на сжатие экспериментальных образцов после сушки и после обжига от процентного содержания суспензии на основе обожженного диатомита

На рисунке 4 представлены результаты определения предела прочности на сжатие образцов, содержащих суспензию на основе обожженного диатомита, часть из которых подверглись только сушке при 100°C, а другие прошли полный цикл обработки (подверглись обжигу при 1000°C). Как мы видим, результаты, в целом, схожи с результатами, которые были продемонстрированы образцами, содержащими суспензию на основе карьерного диатомита. Однако в

данном случае зависимость более равномерная и в случае образцов после и сушки, и в случае образцов после обжига. Максимальные значения предела прочности также соответствуют максимальным значениям содержания суспензии.

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследований, показывают, что добавление вспученного перлита в композицию способствует повышению прочности и устойчивости к воздействию внешних факторов. Это открывает новые возможности для применения материалов в строительстве, теплоизоляции и других отраслях, где важны легкость и прочность.

Метод вибропрессования также оказался эффективным для получения однородных и высококачественных образцов, что подтверждает его целесообразность в производственных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шакурова Н.В., Количественные критерии оценки морозостойкости на основе анализа гидродинамических параметров стеновой керамики / Н.В. Шакурова, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – №11. С. 81-91.

2. Яшкина С.Ю., Керамические радиационно-защитные композиты высокоглиноземистого состава с добавкой оксида висмута / С.Ю. Яшкина, В.А. Дороганов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. С. 70-76.

3. Пустовгар А. П. Эффективность применения активированных диатомитов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2006. – № 10. С. 13-22.

4. Гончаров Ю. И., Лесовик В. С. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики // Белгород: БелГТАСМ. – 2001. – С. 181-183.

5. Гузман И.Я. Химическая технология керамики. // Москва. – 2003. – С. 496.

*Митина Д.А., Овсянников В.В., Истратий И.И.
Научный руководитель: Ястребинский Р.Н. д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ГИПСОМАГНЕТИТОВЫЙ КОМПОЗИТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

На сегодняшний день широко используемыми искусственными источниками ионизирующего излучения являются медицинские устройства, такие как рентгеновские аппараты и компьютерные томографы. При небольшом кратковременном воздействии рентгеновских лучей на организм, например, при проведении медицинских обследований, риск негативного влияния на здоровье минимален. Тем не менее, при регулярном и интенсивном облучении можно получить ряд неблагоприятных последствий. К этому риску склонны как медицинские работники, так и персонал, чья профессиональная деятельность связана с постоянным нахождением рядом с источниками излучения.

Для предотвращения воздействия рентгеновского и гамма-излучения применяются различные материалы, обладающие радиационно-защитными свойствами. Эти материалы различаются по составу, что обуславливает их разнообразные характеристики. Они могут быть как органического, так и неорганического происхождения и часто содержат специальные компоненты, обеспечивающие необходимую биологическую защиту в зависимости от условий их использования [1-17].

Свинец и барит в настоящее время имеют наибольшее распространение в применении для защиты от электронного, рентгеновского и гамма-излучений. Но из-за того, что свинец токсичен, его использование создает существенные сложности для экологии при производстве и утилизации изделий радиационной защиты. В этом контексте более экологически безопасной альтернативой становится барит, который обладает высокой плотностью, низкой твердостью, а также способен эффективно поглощать рентгеновское излучение, при этом не создавая вторичных гамма-излучений высоких энергий [18].

Компания Knauf известна своими рентгенозащитными плитами Safeboard, которые представляют собой хорошую альтернативу свинцовым листам благодаря своим уникальным свойствам и меньшей стоимости. Эти плиты широко используются в строительстве

медицинских учреждений и других объектов, где важна радиационная защита. Но из-за сложившейся политической ситуации поставка такого материала в нашу страну проблематична, что подчеркивает необходимость развития отечественного производства [19].

Поэтому необходимость модернизации и усовершенствования рентгенозащитных плит, а также налаживания их серийного производства на территории России, выходит на передний план. Для улучшения эксплуатационных характеристик гипсокартонных листов предполагается использование рентгенозащитной смеси на основе строительного гипса, магнетита, сульфата бария, воды и добавок для улучшения пластичности и регулирования сроков схватывания и твердения гипсо-магнетито-баритовой смеси.

Включение магнетита в состав рентгенозащитной смеси для гипсокартонных листов имеет несколько существенных преимуществ, которые делают этот материал особенно привлекательным для использования в строительстве. Магнетит является нетоксичным и доступным природным минералом, обладающий высокими физико-техническими и радиационно-защитными характеристиками. Так поперечное сечение взаимодействия гамма-излучения с атомами железа в области энергий комптоновского некогерентного рассеяния (1000 кэВ) составляет $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{г}$, что выше, чем у атомов бария ($5,8 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{г}$), что определяет преимущество защитных свойств магнетита в сравнении с баритом. При этом в рентгеновской области энергий (10–50 кэВ) защитные свойства этих материалов сопоставимы. Таким образом, получаемый композиционный материал не только сохраняет рентгенозащитные свойства в сравнении с известными зарубежными аналогами на основе чистого барита, но и дает дополнительную возможность защиты от гамма-излучения, что значительно расширяет его область применения, например, для защиты помещений научно-исследовательских центров радиоизотопной медицины или помещений промышленных ядерных объектов [20].

Ещё одним из ключевых аспектов выбора магнетита является его низкая стоимость по сравнению с сульфатом бария, что позволяет эффективно снижать затраты на производство рентгенозащитных материалов. Кроме того, магнетит характеризуется развитой удельной поверхностью, которая обеспечивает значительную сорбционную емкость и получение композита высокой плотности и прочности [21].

Одной из проблем, присущих композиционным материалам, основанным на строительном гипсе, является их недостаточная теплопроводность. Это может стать серьезной преградой при отводе

тепла, выделяемого в защитных конструкциях. Введение магнетита в состав материала позволяет нивелировать эту проблему [20].

Таким образом, добавление магнетита не только улучшает эксплуатационные свойства полученного материала, но и вносит вклад в экономическое обоснование производства, снижая стоимость конечного продукта. Это позволяет обеспечить более широкие возможности для его использования в медицинских рентгенкабинетах, а также способствует увеличению безопасности медицинского персонала и пациентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gorodov A.I., Mogutova A.A., Matyukhin P.V., Romanyuk D.S. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2022. Т. 2388. № 1. - С. 012116.
2. Соколенко И. В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П. В., Тарасов Д. Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. - 2013. - №6. - С. 145–148.
3. Yastrebinskii, R.N., Bondarenko, G.G., Gorodov, A.I., Yastrebinskaya, A.V. Verifying a Two-Dimensional Model Simulating Attenuation of Neutron and Photon Radiation from Nuclear Reactors Having Metal Hydride Composite Protection. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2024, Vol. 15, No. 2, pp. 319–327.
4. Yastrebinskii, R.N., Pavlenko, V.I., Gorodov, A.I., Yastrebinskaya, A.V., Akimenko, A.V. Attenuation of Neutron and Gamma Radiation from a Reactor by Metal-Hydride Shielding. *Russ. Engin. Res.* 2023, 43, 1149–1153.
5. Yastrebinsky, R.N., Bondarenko, G.G., Karnauhov, A.A. et al. Multigroup Simulation of Protection Against Neutron and Gamma Radiation by Materials Based on Titanium Hydride. *Inorg. Mater. Appl. Res.* 2022, 13, 1261–1269.
6. Yastrebinsky, R.N., Bondarenko, G.G., Karnauhov, A.A. Attenuation of Neutron and Gamma Radiation from Radioisotope Sources by Material Based on Modified Titanium Hydride. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2022, 13(2), p. 357–364
7. Матюхин П. В., Павленко В. И., Широков А. В. Изучение влияния высоких давлений прессования на изменение фазового состава

гематита и его поведение при высоких температурах // Региональная архитектура и строительство. - 2018. - №4 (37). - С. 89–97.

8. Ключков Е. П., Павленко В. И., Матюхин П. В., Ястребинская А.В. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - №6. - С. 137.

9. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing // Solid State Phenomena. - 2018. - Т. 284. - С. 109-114.

10. Yastrebinsky, R.N., Pavlenko, V.I., Karnauhov, A.A., Yastrebinskaya, A.V. Thermal stability of titanium hydride modified by the electrochemical deposition of titanium metal. Mater. Res. Express. 2020, 7, 10651920.

11. Матюхин П. В., Бондаренко Ю. М., Павленко В. И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основеалюминиевой матрицы // Перспективные материалы. - 2013. - №6. - С. 22–26.

12. Yastrebinskii, R.N., Pavlenko, V.I., Gorodov, A.I., Cherkashina, N.I. Increasing the Adherence of Metallic Copper to the Surface of Titanium Hydride. ChemEngineering, 2021, 5, 72.

13. Матюхин П. В., Ястребинская А. В., Павленко З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. - 2015. - №9–3. - С. 507–510.

14. Matyukhin P.V., Mirzoev D.I The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. - 2021. - Т. 410 DDF. - С. 778–783.

15. Yastrebinsky, R.N., Bondarenko, G.G., Karnauhov, A.A. Diffusion-Thermal Phase Transformations in Titanium Hydride Containing a Multi-Barrier Systems of Hydrogen Traps. Inorganic Materials: Applied Research, 2021, Vol. 11, No. 5, pp. 1206–1213.

16. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2011. - №2. - С. 42.

17. Матюхин П. В., Ястребинский Р.Н., Широков А. В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2016. - №8. - С. 23–28.

18. Митина Д. А. Радиационно-защитные материалы в ядерной медицине / Д. А. Митина, У. Е. Курулева, В. В. Овсянников // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2024. — С. 114–118.

19. КНАУФ-Сейфборд гипсоплита рентгенозащитная // rentgenprotect. – Москва. — URL: <https://rentgenprotect.ru/> (дата обращения: 09.10.2024).

20. Клименко В. Г., Гасанов С. К., Кашин Г. А., Мамин С.Н. Гипсомагнетитовые композиты для защиты от ионизирующего излучения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 9. С. 100–105.

21. Матюхин П. В., Ястребинский Р.Н., Широков А. В. Основные физико-механические характеристики магнетита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2016. - №9. - С. 189–195

УДК 629.039.58

Митина Д.А., Курулева У.Е., Овсянников В.В.

Научный руководитель: Матюхин П. В. канд. техн. наук, доц.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ЗАЩИТА ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На Земле воздействие космической радиации на организм человека минимально благодаря защитному слою атмосферы и магнитному полю планеты. Однако опасность существует для экипажей космических кораблей, которые совершают длительные миссии. Пилотируемые межпланетные миссии сопряжены с существенным ростом радиационной нагрузки. Помимо членов экипажа, ионизирующему излучению подвергается и радиоэлектронная аппаратура, которая находится на борту космического корабля [1].

Поэтому необходимо применение разнообразных радиационно-защитных материалов, которые в зависимости от состава имеют разные свойства. Эти материалы могут иметь, как органическое, так и неорганическое происхождение, а также включать в себя специализированные вещества, с помощью которых получается обеспечить в соответствии с необходимыми условиями эксплуатации

биологическую защиту, а также защиту электронной аппаратуры. [2-18].

От космической радиации способны достаточно хорошо защитить пластики и вода. Использование пластиковой обшивки толщиной 5 см возможно, но является плохим вариантом по мнению НАСА, поскольку масса пластика увеличивает вес корабля, а из-за этого увеличиваются затраты на запуск. Для того чтобы разработать более эффективные защитные материалы, которые смогут уменьшить массу и стоимость космического корабля, требуется время на поиск и тестирование. Часто материалы, которые обладают высокой радиационной защитой, не подходят по своим характеристикам для использования в космической аппаратуре [1, 19].

Ученые Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова создали для защиты от космического воздействия полимерный нанокompозит, который включает матрицу - политетрафторэтилен 38–47 мас. %, наполнитель - не модифицированный оксид висмута Bi_2O_3 49,6–59,8 мас. % и карбид вольфрама WC 2,2–3,4 мас. %. Данный нанокompозит обладает улучшенными поверхностными физико-механическими характеристиками (твердостью и износостойкостью) при меньшей плотности, что позволяет создавать элементы космических летательных аппаратов с эффективными энергомассовыми характеристиками. Разработанный материал успешно прошел наземные испытания на уникальных установках, имитирующих космическое пространство. А также был испытан в условиях космического пространства, где были подтверждены радиационно-защитные характеристики композита. Согласно проведенным исследованиям, использование этих композитов приводит к уменьшению интенсивности нейтронного излучения на 19,0 % при энергии 2 МэВ и на 5,5 % при энергии 50 МэВ. Применять данный материал собираются с целью изолирования каюты космонавтов для осуществления длительных полетов, а также с целью использования в качестве локальной защиты радиоэлектронной аппаратуры [20-21].

Группой ученых из Томского университета систем управления и радиоэлектроники создали для космических аппаратов радиационностойкий полипропилен, модифицированный наночастицами диоксида кремния. Модифицированный нанопорошок SiO_2 , который применяется в данном материале, позволяет увеличить радиационную стойкость в 19 раз по сравнению с не модифицированными материалами. Использование наночастиц в этой разработке также способствует улучшению и рабочих характеристик,

таких как электропроводность, механические свойства, стойкость к высоким и низким температурам. Данную разработку можно в космической технике можно применять в качестве конструкционных и изоляционных материалов, клеев, теплоизоляции, связующих терморегулирующих покрытий, упрочняющих материалов [22].

На текущем этапе развития космической технологии защита от космической радиации является одной из самых важных задач. И основным направлением поиска решений в этой области становится синтез и модификация полимерных композитов, которые способны существенно снизить воздействие ионизирующего излучения на организм человека. Следовательно, фундаментальные исследования и разработки в области полимерных композитов способны стать ключевым звеном в достижении надежной радиационной защиты [1].

Таким образом, современные требования к безопасности, а также динамично изменяющиеся условия техногенного мира диктуют необходимость непрерывного совершенствования существующих систем и механизмов защиты от радиационного воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев Е. Е. Защита экипажей от ионизирующей радиации / Е. Е. Ковалев // astronaut. — URL: <https://astronaut.ru> (дата обращения: 02.10.2024).
2. Gorodov A.I., Mogutova A.A., Matyukhin P.V., Romanyuk D.S. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide // Journal of Physics: Conference Series. - 2022. Т. 2388. № 1. - С. 012116.
3. Соколенко И. В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П. В., Тарасов Д. Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2013. - №6. - С. 145–148.
4. Матюхин П. В., Косов А. В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. - С. 583–587.
5. Matyukhin P. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). Springer

Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - Belgorod: 2019. - С. 239–243.

6. Ястребинский Р.Н., Павленко В. И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2015. - С. 491–499.

7. Павленко В. И., Матюхин П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов // Строительные материалы. - 2005. - №8. - С. 22–25.

8. Матюхин П. В., Павленко В. И., Широков А. В. Изучение влияния высоких давлений прессования на изменение фазового состава гематита и его поведение при высоких температурах // Региональная архитектура и строительство. - 2018. - №4 (37). - С. 89–97.

9. Клочков Е. П., Павленко В. И., Матюхин П. В., Ястребинская А.В. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - №6. - С. 137.

10. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing // Solid State Phenomena. - 2018. - Т. 284. - С. 109–114.

11. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - 2019. - №978-3-030-22974-0. - С. 239–243.

12. Матюхин П. В., Бондаренко Ю. М., Павленко В. И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основеалюминиевой матрицы // Перспективные материалы. - 2013. - №6. - С. 22–26.

13. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material // Solid State Phenomena. - 2020. - Т. 299. - С. 107–111.

14. Матюхин П. В., Ястребинская А.В., Павленко З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. - 2015. - №9–3. - С. 507–510.

15. Matyukhin P.V., Mirzoev D.I The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. - 2021. - T. 410 DDF. - С. 778–783.

16. Павленко В. И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. В. Шухова, 2015. - С. 320-330.

17. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2011. - №2. - С. 42.

18. Матюхин П. В., Ястребинский Р.Н., Широков А. В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2016. - №8. - С. 23–28.

19. Радиоактивный космос // pikabu. - 2020. - URL: https://pikabu.ru/story/radioaktivnyiy_kosmos_7743196 (дата обращения: 02.10.2024).

20. Патент № 2748157, Российская Федерация, МПК G21F 1/12. Полимерный наноккомпозит для защиты от космического воздействия и способ его получения: № 2020134472: заявл. 20.10.2020: опубл. 20.05.2021 / Павленко В. И., Шкаплеров А. Н., Курицын А. А., Черкашина Н. И., Попова Е. В., Ястребинский Р. Н.; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО "БГТУ им. В.Г.Шухова", ФГБУ "Научно-исследовательский испытательный центр подготовки. – 9 с.

21. Павленко В. И. Высокоэффективный конструкционный полимерный материал для защиты от космической радиации / В. И. Павленко, Н. И. Черкашина, А. А. Курицын, Е. В. Попова, Л. А. Умнова // Пилотируемые полеты в космос. — 2022. — № 2 (43). — С. 105–115.

22. В России предложили технологию защиты космических аппаратов от радиации // РИА Новости - 2022. - URL: <https://ria.ru> (дата обращения: 01.10.2024).

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИСТЕМНЫХ МЕТРИК ТЕХНОЛОГИЯМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В настоящее время активно развивается область искусственного интеллекта, многие теоретические исследования и методы обретают практические реализации, который возможно эффективно применять для решения прикладных задач [1]. Одним из самых приоритетных направлений работы является использование искусственного интеллекта для задач предиктивной аналитики [2].

Решение подобных задач в сфере бизнеса является распространенным предметом исследований, но лишь с недавнего времени данный тренд пришел в область решения инженерных и инфраструктурных задач в сфере информационных технологий. Например, разработчики информационной системы Grafana разместили первое упоминание о применении ИИ-технологий на официальном цифровом портале в 2023 году [3].

Многие компании, пришедшие к применению ИИ-технологий в рамках своих инструментов, исходя из бизнес-стратегии, позволяют использовать данные возможности лишь в рамках оплачиваемых подписок на свои облачные решения. В России это делает применение данных возможностей недоступным, т.к. одно из частых требований в российских компаниях – хранение данных в пределах инфраструктуры компании или в рамках российских облачных решений.

В подобной ситуации возникает необходимости реализации требуемого функционала с помощью программных библиотек с открытым исходным кодом. Одним из инструментов в данной области является Python-пакет Prophet, разработанный Facebook в 2017 году [4].

Prophet – это открытый инструмент для прогнозирования временных рядов, ориентированный на решение задач бизнес-аналитики.

В рамках эксперимента данный инструмент применен для предсказания нагрузки процессора процессами в пространстве пользователя. В дальнейшем возможно оценить разницу между предсказанной и реальной нагрузкой процессора и обнаружить

аномалию, выраженную в слишком малой нагрузке – когда отсутствует выполнение инструкций прикладного приложения, или наоборот в слишком высокой нагрузке – когда присутствует аномальные всплески нагрузки на приложение, работающее на сервере.

Таким образом возможно обнаружение аномалий, специфичных для каждого конкретного окружения на основе данных о нагрузке на процессор в прошлые периоды.

Для этого на 3 серверах был запущен `node_exporter` [5] для сбора метрик сервера. Собраны значения метрики `node_cpu_seconds_total`, отражающей время, которое процессор был занят задачами различного уровня (в пространстве ядра, в пространстве пользователя и т.п.).

Далее на основе пакета Prophet [6] была решена задача чтения значений из хранилища метрик, создания предсказания относительно будущих значений и их запись в хранилище метрик. При этом создаются метрики с названиями: `node_cpu_seconds_total_yhat_upper` для предполагаемого значения метрики, `node_cpu_seconds_total_yhat_upper` для верхнего порога предполагаемого значения и `node_cpu_seconds_total_yhat_lower` для нижнего порога предполагаемого значения.

В дальнейшем данные были визуализированы в Grafana [7].

Схема работы вышеописанной системы представлена на рис. 1.



Рис. 1 Схема работы системы мониторинга с предсказанием будущих значений метрик

Были использованы данные за последние 24 часа для предсказания значений метрики в следующие 30 секунд.

Для отображения данных о нагрузке в Grafana использовались выражения, отображенные на рис. 2.

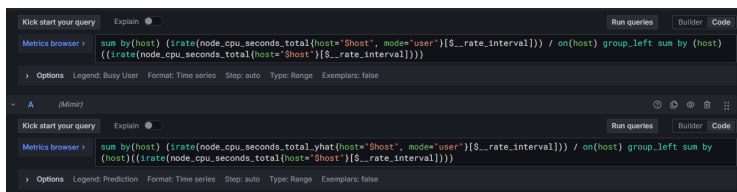


Рис. 2 PromQL выражения для расчета значения нагрузки на процессор в пространстве пользователя в процентах от общей нагрузки

Результаты предсказания метрики для одного из серверов представлены на рис. 3.

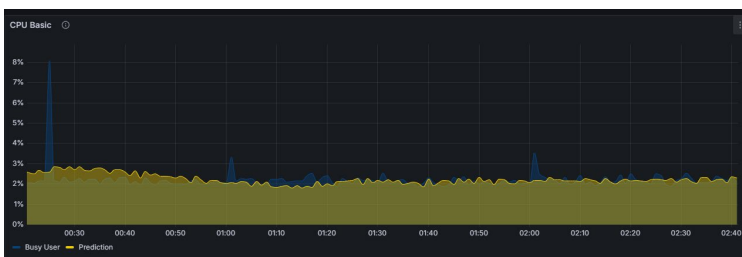


Рис. 3 График реальной (синий) и предполагаемой (желтый) нагрузки на процессор.

С помощью Prophet успешно была предсказана будущая нагрузка на процессор. Наблюдаются синие пики над желтым графиком – моменты, когда возникала аномальная нагрузка на сервер. Для другого сервера подобный паттерн в данных не являлся бы аномальным, но конкретно для данного сервера, исходя из данных о прошлой активности, можно выделить его как аномальный – это самое главное преимущество применения инструментов машинного обучения в области мониторинга.

Применение технологии машинного обучения позволяет сделать системы мониторинга более динамическими, способными реагировать не в рамках жесткого набора правил, а исходя из имеющихся данных о системе. Это позволяет находить аномалии за пределами вручную установленных базовых линий значений метрик.

Особенно это актуально в связи с ростом серверной инфраструктуры компаний, ростом нагрузки на приложения. Вместе с

тем – все больше компаний собирают данные о собственной инфраструктуре, но применяют лишь малую часть из них, анализируя вручную при возникновении инцидентов. Предложенный подход позволяет ввести в работу все данные, которые ранее не использовались, с целью улучшения наблюдаемости инфраструктуры.

Продемонстрированный подход в дальнейшем может быть усовершенствован как более тонким конфигурированием модели Prophet, так и совместным использованием нескольких инструментов.

Например, Prophet может быть применен для предсказания значений метрики на следующую неделю на основе данных за предыдущие несколько месяцев. Дальше эти данные корректируются в реальном времени на основе последних данных с помощью ARIMA [8].

Результаты тестирования данного программного решения показывают успешное предсказание будущего значения метрики на основе предыдущих значений.

Главными преимуществами являются: отсутствие необходимости дополнительной обработки данных перед их передачей в программную систему, динамичность мониторинга за счет использования данных о функционировании системы, возможность обнаружения аномалий, характерных для конкретной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеллектуальная система управления платформой Стюарта на основе применения метода обучения с подкреплением / И.А. Дуюн, П.С. Кабелянц, Т.А. Дуюн, Л.А. Рыбак // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 11. – С. 102-115.

2. Римшин В.И. Нейросетевое прогнозирование несущей способности железобетонных элементов / В.И. Римшин, П.А. Амелин, Л.А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 11. – С. 42-55.

3. Первая новость, связанная с применением ИИ в Grafana на официальном сайте GrafanaLabs [Электронный ресурс], URL: <https://grafana.com> (дата обращения 12.05.25).

4. Taylor S.J., Letham B. Forecasting at Scale / S.J. Taylor, B. Letham // The American Statistician – 2018. – № 72. – С. 37-45.

5. Репозиторий node_exporter [Электронный ресурс], URL: <https://github.com> (дата обращения 13.05.25).

6. Репозиторий пакета Prophet [Электронный ресурс], URL: <https://github.com/facebook/prophet> (дата обращения 14.05.25).

7. Репозиторий Grafana [Электронный ресурс], URL:

<https://github.com> (дата обращения 15.05.25).

8. Ho S.L., Xie M. The use of ARIMA models for reliability forecasting and analysis / S.L. Ho, M. Xie // Computers & Industrial Engineering – 1998. – № 35. – С. 213-216.

УДК 534-7

Москалева А.А., Дугинова Е.Б.

***Научный руководитель: Дугинова Е.Б., канд. физ.-мат. наук, доц.
Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия***

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

С развитием технологий шум, некогда считавшийся побочным эффектом прогресса, стал неотъемлемым спутником человеческой жизни, трансформировавшись в один из наиболее значимых факторов, негативно влияющих на здоровье. Человек непрерывно подвергается воздействию разнообразных шумов, источниками которых, зачастую, являются он сам и созданная им среда.

Способность слышать – это не просто физиологическая функция, а жизненно важная часть нашей связи с пульсирующей жизнью вокруг. Звук, как известно, может быть целительным бальзамом и отравляющим ядом. Однако, как показывают исследования в области психоакустики, полное отсутствие звукового фона (абсолютная тишина) может оказывать угнетающее воздействие на психику [1].

Цель работы: исследовать влияние уровня шума на учебный процесса учащихся старших классов и студентов-первокурсников. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить теоретический материал по теме «Шум»;
- 2) выявить и классифицировать источники шумового загрязнения, окружающие объекты исследования в образовательной среде;
- 3) оценить воздействие шума на физическое и психическое здоровье исследуемой группы.

С точки зрения физики, шум – звуки, обладающие сплошным спектром. В современной науке его значение расширилось и охватывает колебания в радиоволновом, электрическом и других диапазонах [2]. С физиологической позиции, шум – это любой звук, воспринимаемый как неблагоприятный или раздражающий.

Скорость звука в воздухе при 0°C 331 м/с. Распространение звука подвержено влиянию метеорологических факторов, таких как температура, влажность, сила ветра, а также наличие тумана и осадков,

определяющих степень поглощения и рассеивания звуковой энергии [3]. Интенсивность шума измеряется в децибелах (дБ), представляющих собой логарифмическую меру звукового давления. Шум интенсивностью 130 дБ вызывает болевые ощущения, а при достижении 150 дБ становится непереносимым для человека [4].

Звуки, которые мы слышим каждый день, очень разнообразны. Любой из нас отличает так называемые музыкальные звуки от шумов. Шум отличается от музыкального тона тем, что ему не соответствует какая-либо определенная частота колебаний и, следовательно, определенная высота звука. В шуме присутствуют колебания всевозможных частот. Важно отметить, что даже гармонические звуковые колебания, такие как музыка, при определенных условиях (например, в неподходящее время суток) могут восприниматься как шум. Для количественной оценки уровня шума используется специальное устройство – шумомер. Шумомер – это прибор, который используется для измерения уровня звукового давления. Он применяется для определения: соответствия параметров рабочей среды установленным нормам при аттестации рабочих мест; уровня шума в различных помещениях, на строительных площадках и промышленных объектах; эффективности средств защиты от шума в процессе их тестирования; громкости звука.

Действующие нормативные документы устанавливают допустимые уровни шума в жилых помещениях в дневное 55 дБ и ночное время 45 дБ [5]. Нарушение этих нормативов влечет за собой административную ответственность (от 500 до 1000 руб.) [6].

Источником шума может быть любой процесс, вызывающий локальное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких или газообразных средах. Источником шума является как окружающая среда, так и деятельность человека. Современное общество является самым "шумным" за всю историю человечества. Источники шума в окружающей среде можно разделить на две основные группы: внешние и внутренние. Основными источниками шума находятся в жилых и общественных зданиях. Наиболее распространенным источником городского шума является транспорт, а также производственная и строительная деятельность.

Чувствительность человеческого уха максимальная в диапазоне частот от 1000 до 3000 Гц. По частотному спектру промышленный шум подразделяется на следующие группы: инфразвуковой шум, слышимый шум, ультразвуковой шум. Источники звуковых колебаний можно классифицировать по принципу их генерации: механические, аэродинамические, технологические.

Непрерывный шумовой фон оказывает менее значительное деструктивное влияние на физиологическое состояние человека в сравнении с эпизодически возникающими высокочастотными акустическими колебаниями. Акустическое загрязнение провоцирует более быстрое наступление утомления. Шум с интенсивностью, превышающей 60 дБ, ингибирует адекватную гастроинтестинальную функцию. Разрозненный эффект шумового воздействия проявляется в повышении артериального давления, обострении раздражительности, уменьшении работоспособности и формировании депрессивных состояний.

Широкое распространение персональных аудиоустройств коррелирует с увеличением случаев тугоухости среди лиц молодого возраста. Эксплуатация наушников с высокой громкостью представляет опасность для слуховой функции. Максимальная громкость плеера достигает уровня звукового давления 110 дБ, что эквивалентно шуму, генерируемому взлетающим авиалайнером. Шум, превышающий 120 дБ, обуславливает быструю утомляемость и ощущаемое ухудшение слуха. Чрезмерный уровень шума усиливает состояние дискомфорта: в школе на переменах возникает сильный шум, а во время уроков ученики вынуждены напрягать слух из-за высокой наполняемости классов. Учителям также приходится говорить громче. В результате к концу учебного дня устают и ученики, и учителя.

Одной из задач исследования было определение воздействия шума на организм объектов исследования. Анализ теоретических данных показал, что шум оказывает негативное влияние на организм человека. Ученики и студенты подвергаются воздействию шума даже в общественных местах, таких как школы и университеты. Высокий уровень шума приводит к усталости и снижению работоспособности. Для проведения эксперимента на телефон было установлено приложение "Шумомер" (рис. 1).

Исследование проводилось в школе и университете. Измерения проводились в различных местах и полученные значения сравнивались с нормативными показателями. Результаты измерений представлены в таблицах 1 и 2.



Рис. 1. Приложение «Шумомер»

Таблица 1. Измерение уровня шума (в дБ) в лицее №17 г. Березовский (2023-2024)

Место производства измерений	2023 г.	2024 г.
Урок физики	55-57	50-56
Лабораторная работа по физике	57-59	46-48
Контрольная работа	30-32	30-33
Перемена после 3 урока	60-68	62-68
Столовая	60-65	60-67
Коридор начальных классов на перемене	66-68	67-69
Урок физкультуры	70-80	69-85

Таблица 2. Измерение уровня шума (в дБ) в КузГТУ (2025)

Место производства измерений	2025 г.
Занятие в лекционной (поток строителей 1 курса)	65-70
Занятие в кабинете (практика)	52-55
Столовая	70-75
В коридоре на перерыве	70-75
Урок физкультуры	72-80
В коридоре во время занятий	50

Проведенные измерения уровня шума в стенах образовательных учреждений выявили превышения нормативных показателей в следующих зонах: коридоры во время перемен, столовая во время приема пищи, спортивные залы во время занятий. Установлено, что

повышенный уровень шума негативно влияет на: концентрацию внимания учащихся, скорость усвоения учебного материала, эмоциональную устойчивость, работоспособность. Эксперимент подтвердил выдвинутую гипотезу о том, что избыточный шум является причиной: повышенной раздражительности, быстрой утомляемости, снижения учебной успеваемости, нарушения концентрации внимания. Однако музыка во время работы может благоприятно влиять на результат и работоспособность, главное подобрать для себя подходящую мелодию.

В качестве рекомендаций по снижению негативного влияния шума предложены следующие меры: организация контроля за уровнем шума в учебных помещениях; внедрение правил поведения в коридорах и столовой; ограничение времени пребывания в зонах с повышенным уровнем шума; проведение просветительской работы среди учащихся о вредном влиянии шума.

Данное исследование подчеркивает важность контроля уровня шума в образовательной среде как фактора, существенно влияющего на здоровье и успеваемость учащихся старших классов и студентов первых курсов. Результаты работы могут быть использованы для разработки комплекса мер по оптимизации акустического комфорта в образовательных учреждениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ережопова Н.Б. Влияние шума на организм человека // Мировая наука. 2022. №7 (64).
2. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
3. Дерюгина М. Акустика в строительстве. // Сборник трудов IV Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Молодая наука – 2017: Архитектура. Строительство. Дизайн», АНО ВО «Московский информационно-технологический университет – Московский архитектурно-строительный институт». – Москва. – 2017. – С. 174-181.
4. СНиП 23-03-2003. Защита от шума/ Минстрой России. – М.: Госстрой СССР, 2004. – 40 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2.
6. "Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях" от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 03.02.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025) КоАП РФ Статья 6.4. Нарушение

санитарно-эпидемиологических требований к эксплуатации жилых помещений и общественных помещений, зданий, сооружений и транспорта.

УДК 1418

Моторыкина А.А., Пойменов М.С.

Научный руководитель: Смоляго Н.А., канд. техн. наук, доц.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Комбинированные системы – это неизменяемые системы, в состав которых входят две или более систем с различным характером работы под нагрузкой. В состав комбинированных систем могут входить простые и шарнирные балки, арки, балочные и арочные фермы, рамы, шарнирные стержневые и дисковые цепи и т.д., составные части комбинированной системы соединяются между собой при помощи дополнительных связей обеспечивающих их совместную работу. [1]

В комбинированных системах чаще всего одна из частей предназначена для работы в основном на изгиб и поперечную силу, а другая – на растяжение, сжатие. Как правило в комбинированных системах используется сочетание распорной системы (арка, висячая система) с безраспорной (балка, ферма), что позволяет компенсировать недостатки одной системы в определённых условиях достоинствами другой. К примеру комбинации балочных систем, отличающихся значительной жёсткостью, с висячими системами, обладающими высокой несущей способностью, позволяет создавать лёгкие и экономичные комбинированные системы для перекрытия больших пролётов. [2]

Наиболее часто встречаются комбинированные системы, состоящие из балок и балочных ферм, соединённых с шарнирной цепью. Они бывают висячие и арочные. [3]

Арочные комбинированные системы – это системы в которых балка или ферма усилена цепью, работающей на сжатие. [4]

Висячие комбинированные системы – это системы в которых балка или ферма усилена шарнирной цепью, работающей на растяжение при вертикальной нагрузке, направленной вниз. [5]

Условия задачи. Для висячий комбинированной системы (Рис. 1), состоящей из цепи 0-1-2-3-4 и балки жесткости АСВ, требуется от заданной постоянной нагрузки $F = 80 \text{ кН}$, распределенной нагрузки $q = 10 \text{ кН/м}$, при $l = 16 \text{ м}$, $f = 3 \text{ м}$ определить:

-
- The diagram illustrates a cable-stayed bridge with a continuous beam deck. The top part shows the bridge structure with cables, piers, and abutments, with various force and geometry labels. The bottom part shows the beam deck with point loads, distributed loads, and internal force diagrams (shear force Q and bending moment M).
- Bridge Structure Labels:**
- Abutments:** Left and right abutments are shown with reaction forces R_A , R_B , N_{A-1} , N_{B-4} , H_A , and H_B .
 - Piers:** Two piers are shown with reaction forces V_A , V_B and horizontal forces N_{A-5} , N_{B-4} .
 - Cables:** Cables are shown connecting the piers to the deck. Cable forces are labeled V_A , V_B , N_{A-5} , N_{B-4} , and N_{B-4} .
 - Geometry:** Dimensions include $L/8$, $L/4$, $L/2$, L , and $L/8$. A cable length is labeled $f = 3H$.
- Beam Deck Labels:**
- Loads:** Point loads P and q are applied to the beam. A distributed load $q = 1 \text{ m/m}$ is shown on the right span.
 - Internal Forces:** Shear force Q and bending moment M are shown as diagrams below the beam.
 - Dimensions:** The beam is divided into segments of $L/4$ and $L/2$.

Решение

Рассмотрим равновесие системы АСВВ₁А₁. На нее кроме нагрузок F и q действуют реакции со стороны отброшенных связей V_A', V_B', N₀₋₁, N₃₋₄.

155

В при вертикальных нагрузках равна нулю. Составим уравнения равновесия $\sum X = 0$; $\sum M_A = 0$; $\sum M_B = 0$.

Из уравнения $\sum X = 0$ получим $H_A = H_B = H$.

Далее из формулы (1) найдем V_A

$$\sum M_B = (V'_A + V''_A)l - \frac{7}{8}Fl - \frac{ql}{4} \times \frac{l}{8} = 0, \quad (1)$$

где V'_A – вертикальная реакция опоры А,

V''_A – вертикальная составляющая усилия в цепи в точке A_1

Откуда

$$V_A = V'_A + V''_A = \frac{7}{8}F + \frac{ql}{32} = \frac{7}{8} \times 80 + \frac{10 \times 16}{32} = 75 \text{ (кН)}.$$

где V_A – сумма вертикальной опорной реакции опоры А и вертикальной составляющей усилия в цепи в точке A_1

Из формулы (2) найдем V_B

$$\sum M_B = (V'_B + V''_B)l - \frac{Fl}{8} - \frac{ql}{4} \times \frac{7}{8}l = 0, \quad (2)$$

где V'_B – вертикальная реакция опоры В,

V''_B – вертикальная составляющая усилия в цепи в точке B_1

Отсюда

$$V_B = V'_B + V''_B = \frac{F}{8} + \frac{7}{32}ql = \frac{80}{8} + \frac{7}{32} \times 10 \times 16 = 45 \text{ (кН)}.$$

где V_B – сумма вертикальной опорной реакции опоры В и вертикальной составляющей усилия в цепи в точке B_1

Следовательно, сумма вертикальной опорной реакции балки жесткости (V'_A, V'_B) и вертикальной составляющей усилия в цепи (V''_A, V''_B) равна реакции простой балки того же пролета.

Для определения величины распора Н сделаем дополнительный разрез (Рис. 2) бесконечно близко справа от шарниров С и 2. Рассмотрим узлы О, 1 и 2 (Рис 3, а, б, в). Приложим в сечении у шарнира 2 усилие N_{2-3} заменяющее действие правой части цепи. Разложив усилие N_{2-3} на горизонтальную и вертикальную составляющие, составим условия равновесия $\sum X = 0$ и $\sum M_c = 0$. Из первого условия устанавливаем, что распор цепи в звене 2-3 равен распору в звене 0-1 и вообще для цепи во всех её звеньях является величиной постоянной, равной Н.

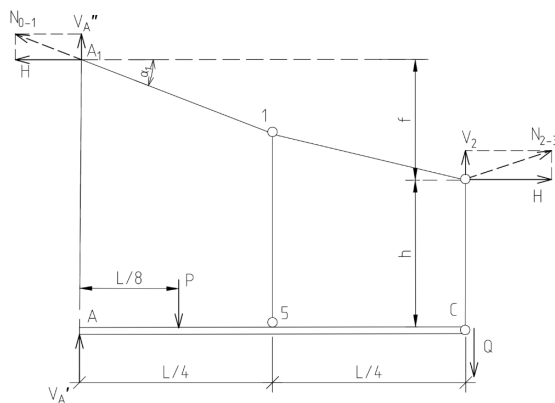


Рис. 2

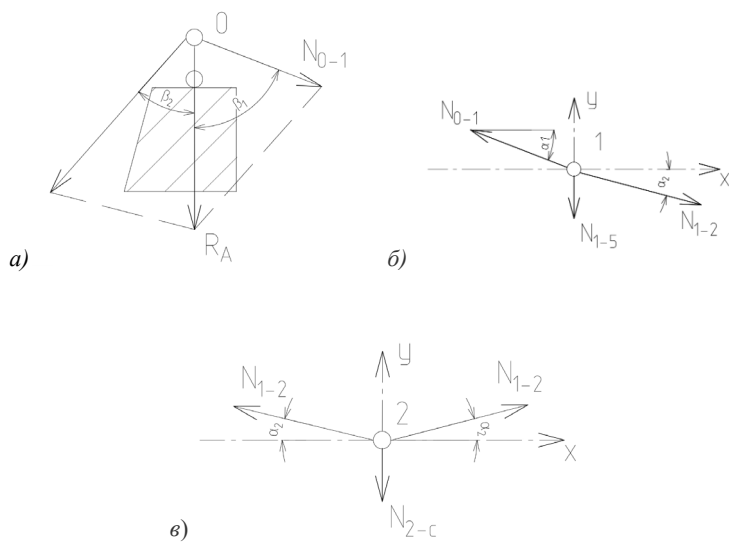


Рис. 3

Из формулы (3)

$$\sum M_c = (V_A' + V_A'') \frac{l}{2} - F \frac{3}{8} l - H(f + h) + Hh = 0, \quad (3)$$

где H – распор цепи

V_A' – вертикальная реакция опоры A ,

V_A'' – вертикальная составляющая усилия в цепи в точке A_1
получим

$$H = \frac{(V'_A + V''_A) \frac{l}{2} - \frac{3}{8} Fl}{f} = \frac{V_A \frac{l}{2} - \frac{3}{8} Fl}{f} = \frac{75 \times \frac{16}{2} - \frac{3}{8} \times 80 \times 16}{3} = 40 \text{ (кН)}.$$

Легко заметить, что распор цепи H определяется аналогично распору трехшарнирной арки по формуле

$$H = \frac{M_C^0}{f}$$

где M_C^0 – изгибающий момент для простой балки пролета l в сечении C ;

f – стрела цепи.

Реакции $V'_A = V''_B$ определяются по формуле (4)

$$\begin{aligned} V'_A = V''_B &= H \operatorname{tg} \alpha_1 \\ V'_A = V''_B &= 40 \operatorname{tg} 26^\circ 30' = 20 \text{ (кН)}. \end{aligned} \quad (4)$$

После этого находим реакции опор балки

$$\begin{aligned} V'_A &= V_A - V''_A = 75 - 20 = 55 \text{ (кН)}; \\ V'_B &= V_B - V''_B = 45 - 20 = 25 \text{ (кН)}. \end{aligned}$$

Усилия в цепи N_{0-1} и N_{3-4} определим из соотношения (5)

$$\begin{aligned} N_{0-1} &= N_{3-4} = \frac{H}{\cos \alpha_1} \\ N_{0-1} &= N_{3-4} = \frac{40}{\cos 26^\circ 30'} = 44,7 \text{ (кН)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогично найдем усилия $N_{1-2} = N_{2-3}$ (рис. в)

$$N_{1-2} = N_{2-3} = \frac{H}{\cos \alpha_2} = \frac{40}{\cos 14^\circ} = 41,2 \text{ (кН)}.$$

где

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{l}{16} \times \frac{1}{\frac{l}{4}} = \frac{1}{4}; \\ \alpha_2 &= 14^\circ. \end{aligned}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, А. В., Лашеников, Б. Я., Шапошников, Н. Н. Строительная механика. Тонкостенные пространственные системы / А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников — Москва: Стройиздат, 1983 — 488 с.
2. Ржаницын, А. Р. Строительная механика / А. Р. Ржаницын. — Москва: Высшая школа, 1982 — 400 с.
3. Смирнов, А. Ф., Александров, А. В., Лашеников, Б. Я., Шапошников, Н. Н. Строительная механика. Стержневые системы [Текст] / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников. — Москва: Стройиздат, 1981 — 512 с.
4. Афанасьев, А. М., Ермоленко, В. А., Киселев, В. А., Медников, И. А., Овсянникова, М. В., Слободчиков, А. Я., Тяжелов, Н. Н., Федоров,

Ю. П., Цвеи, И. Ю. Строительная механика в примерах и задачах [Текст] / А. М. Афанасьев, В. А. Ермоленко, В. А. Киселев, И. А. Медников, М. В. Овсянникова, А. Я. Слободчиков, Н. Н. Тяжелов, Ю. П. Федоров, И. Ю. Цвеи. — Москва: Издательство литературы по строительству, 1964 — 344 с.

5. Юрьев, А. Г., Зинькова, В. А., Смоляго, Н. А. Структурный синтез металлических ферм. Наукоемкие технологии и инновации. [Текст] / А. Г. Юрьев, В. А. Зинькова, Н. А. Смоляго — Белгород: Международная научно-практическая конференция, 2023 — 241 с.

УДК 621.793:539.25

Нестерова Е.Д.

Научный руководитель: Бобкова Т.И., канд. техн. наук, доц.

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов „Прометей“ имени И.В. Горынина национального исследовательского центра "Курчатовский институт", г. Санкт-Петербург, Россия

АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ

Адгезионная прочность является одним из важнейших факторов поддержания длительных эксплуатационных характеристик оборудования, работающего при повышенных нагрузениях и в агрессивных средах. Низкие показатели адгезии приводят к образованию трещин, отслаиванию, вздутию в процессе нагружения или при остывании детали с покрытием. Как правило, к конкретным материалам подложки подбирается конкретный материал покрытия, исходя из химической совместимости и близких показателей коэффициента термического расширения [1].

Для плазменных покрытий наиболее распространён штифтовый метод определения сцепления покрытия с основным материалом (рис. 1). Основным преимуществом метода является получение конкретных значений прочности отрыва (количественный анализ), выражающейся в МПа. Недостатками являются разрушающий характер испытания и несостоятельность в изучении тонких (до 5 мкм), гибких или пористых (более 20 %) покрытий. Испытание на отрыв требует четкого соблюдения методик испытаний. Испытание считается достоверным, если совершено по типу "чистый отрыв", то есть при полном отслоении покрытия от подложки без остаточного материала. В противоположных случаях имеем дело с когезионной прочностью

(прочностью сцепления между подобными структурными слоями).

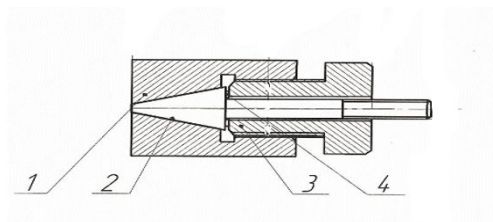


Рис. 1 Схема конструкции по определению адгезии штифтовым методом: 1 – корпус; 2 – штифт; 3 – гайка; 4 – шайба

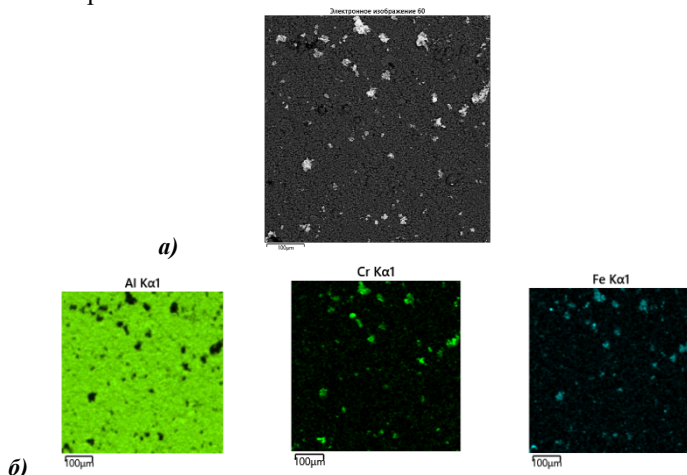
При чистом отрыве адгезия измеряется по формуле (1):

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где P – максимальное значение разрушающего усилия, d – диаметр торца штифта.

Перед напылением покрытий микроплазменным методом напыления поверхность подвергалась дробеструйной обработке. Толщина покрытия составила 200 мкм [2].

На рис. 2 представлены результаты исследования химического состава поверхности штифта из алюминия после испытаний на отрыв. Около 5 % площади исследования занято не оторвавшимися частицами покрытия, что позволяет судить об адгезионном отслоении по типу «чистый отрыв».



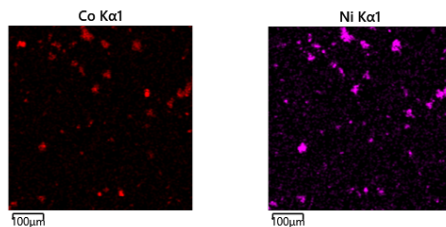


Рис. 2 Морфология (а) и карты распределения элементов (б) системы
алюминиевая подложка – покрытие AlNiCoFeCr

Результаты проведения испытаний на определение адгезии методом отрыва для покрытия на основе высокоэнтропийной системы AlNiCoFeCr представлены в таблице 1.

Таблица – Результаты исследований

Материал подложки	Максимальная нагрузка отрыва, Н	Диаметр отверстия, мкм	Вид отрыва	Адгезия, МПа
Сталь 20	97	2125	Чистый	27
Сталь 3	115	2500	Чистый	23
Сталь 09Г2С	120	2480	Чистый	25
Сталь Х25Н20	150	2104	Чистый	43
Алюминий	50	2125	Чистый	14

Адгезионная прочность покрытия на основе высокоэнтропийной системы AlNiCoFeCr обладает самыми высокими показателями адгезии к нержавеющей стали марки Х25Н20 за счёт высокого содержания хрома, что улучшает химическое сродство материалов покрытия и подложки. Наименьшие показатели продемонстрировала система алюминиевая подложка – покрытие AlNiCoFeCr, что связано с высокой разностью коэффициента термического расширения материалов подложки и покрытия. Достаточными для внедрения в отрасль автомобилестроения и судостроения считаются показатели адгезии выше 20 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клименов, В. А. Исследование адгезии покрытий, полученных высокоскоростным газопламенным напылением / Ж. Г. Ковалевская, К. В. Зайцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – № 310 (3). – С. 57 – 61
2. Нестерова, Е.Д. Микроплазменное напыление функциональных

покрытий из механически синтезированных композиционных порошков эквиатомной системы AlNiCoFeCr / Е.Д. Нестерова, Т.И. Бобкова // Вопросы материаловедения. – 2025. – № 1(121). – С. 24 – 39

3. Клименов, В. А. Исследование адгезии покрытий, полученных высокоскоростным газопламенным напылением / Ж. Г. Ковалевская, К. В. Зайцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – № 310 (3). – С. 57 – 61

УДК 537.6

Новак А.С

*Научный руководитель: Семкин С.В., д-р физ.-мат. наук, проф.
Владивостокский государственный университет, г. Владивосток, Россия*

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМА С ДЕФЕКТАМИ И ПРИМЕСЯМИ: ОТ КЛАССИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДО СОВРЕМЕННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

Антиферромагнетизм — тип магнетизма в твёрдых телах, в которых смежные ионы, ведущие себя как крошечные магниты, при относительно низких температурах спонтанно выстраиваются в противоположные или антипараллельные ряды по всему материалу, так что он практически не проявляет внешнего магнетизма.

В антиферромагнитных материалах, магнетизм магнитных атомов или ионов, ориентированных в одном направлении, компенсируется набором магнитных атомов или ионов, ориентированных в противоположном направлении.

В данной статье прослеживается развитие теоретических исследований этих систем с дефектами или примесями — от базовых моделей Изинга до современных многошкальных и численных подходов.

Классические модели (1950–1970-е гг.)

1. Модель Изинга и антиферромагнетизм

Модель Изинга — это классическая математическая модель, используемая для описания взаимодействий спинов в магнитных системах, где каждый спин может принимать два значения: $+1$ или -1 . В антиферромагнитном контексте модель Изинга задаёт систему, в которой соседние спины стремятся ориентироваться антипараллельно, минимизируя тем самым энергию взаимодействия. Это отражается в отрицательном знаке константы обменного взаимодействия, что приводит к формированию упорядоченного состояния с

чередующимися спинами диаметрально противоположной ориентации [1,2].

2. Влияние дефектов

Первые исследования влияния примесей на магнитный порядок были сосредоточены на аналитических методах. Немагнитные примеси рассматривались как случайное удаление спиновых узлов, что вызывало локальное нарушение упорядоченности в системе [3].

3. Приближения типа MFA и CPA

Применение методов среднего поля (Mean Field Approximation, MFA) и приближений когерентного потенциала (Coherent Potential Approximation, CPA) дало возможность учесть разупорядоченность и определить эффективные параметры системы. Тем не менее, данные подходы не учитывали флуктуации и пространственную структуру кластеров [4].

Развитие ренормгруппового подхода и перколяционной теории (1970–1990-е гг.)

1. Теория фазовых переходов в разупорядоченных системах

С появлением теории ренормгруппы стало возможным исследовать воздействие как слабого, так и сильного разупорядочения на универсальные классы критических явлений. Было выявлено, что примеси способны изменять критические показатели, а при достижении перколяционного порога — полностью разрушать долгосрочный порядок в системе [5].

2. Перколяционные эффекты

Антиферромагнитные системы с примесями стали изучаться с использованием данной теории. Было введено понятие магнитного перколяционного порога — минимальной концентрации спинов, необходимой для формирования бесконечного кластера антиферромагнитного порядка. Этот подход положил начало разработке новых моделей, основанных на случайных графах и фрактальных структурах [6].

Численные методы и симуляции (1990–2010-е гг.)

1. Методы Монте-Карло

С развитием вычислительной техники численные методы стали основным инструментом для изучения антиферромагнитных систем с примесями. Использование алгоритмов Метрополиса, а также кластерных алгоритмов Вольфа и Суэнсона позволило исследовать крупномасштабные системы, определять критические температуры, фрактальную размерность кластеров и другие характеристики.

К примеру, в работе [7] был предложен алгоритм Монте-Карло, предназначенный для изучения свойств разбавленных магнитных

сплавов, который позволяет анализировать взаимодействия магнитных примесей с проводящими электронами в металлах.

2. Анизотропные и многоподрешёточные модели

Были разработаны более реалистичные модели антиферромагнитов с двумя и более подрешётками, учитывающие анизотропию взаимодействий и влияние внешнего магнитного поля. Эти модели продемонстрировали, что дефекты способны не только нарушать порядок, но и приводить к возникновению новых метастабильных фаз [8].

Современные подходы (2010–2020-е гг.)

1. Многошкальное моделирование

Современные исследования антиферромагнитных кристаллов с дефектами основываются на многоуровневом моделировании, охватывающем как микроскопические (атомарные) описания, так и эффективные среднеполевые или феноменологические модели. В рамках этих подходов применяются:

Методы плотностного функционала (DFT) — для анализа локальной электронной структуры и оценки обменных взаимодействий с первичных принципов;

Методы Монте-Карло и молекулярной динамики — для моделирования спиновой динамики;

Кинетические модели и уравнения Ландау–Лифшица–Гилберта — для описания поведения магнитных наноструктур и многослойных систем.

Подобные методики позволяют предсказывать свойства материалов с заданной концентрацией и распределением примесей [9]

2. Машинное обучение и анализ данных

В последние годы активно развиваются методы машинного обучения (ML) для анализа сложных магнитных систем. Алгоритмы классификации и кластеризации помогают определять границы фазовых переходов, выявлять «скрытые» переменные и создавать упрощённые представления сложных данных, а также ускорять повторные симуляции.

Например, в работе [10] показано, как нейросети могут обучаться распознаванию фаз в модели Изинга без предварительных знаний о системе.

3. Топологические свойства и фрустрированные системы

Особый интерес вызывают фрустрированные антиферромагнетики, в которых геометрия решётки или наличие дефектов мешают образованию единой минимальной энергии конфигурации. Такие системы могут проявлять топологический

порядок или демонстрировать спиновое стекло при определённой концентрации примесей. Исследования [11] показывают, что даже небольшие количества дефектов могут значительно влиять на спиновые корреляции и приводить к появлению экзотических состояний, таких как спиновые жидкости.

Заключение

Развитие теоретического исследования антиферромагнетиков с примесями отражает общие тенденции в области физики твёрдого тела: переход от простых аналитических моделей к многогранным, численно ресурсоемким и алгоритмически адаптируемым методам. В настоящее время такие исследования находятся на пересечении фундаментальной физики, вычислительной науки и материаловедения.

Понимание воздействия дефектов на магнитный порядок важно, как для теоретиков, так и для практических задач, включая разработку новых функциональных материалов, квантовых вычислительных устройств и спинтронных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Циберкин К. Б. низкотемпературный антиферромагнетизм в модели изинга с конкурирующими взаимодействиями // Вестник ПГУ. Физика. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 26.05.2025).
2. Сёмкин С. В., Смагин В. П. Территория новых возможностей // Вестник Владивостокского государственного университета. 2023. Т. 15, № 3. С. 137–146. URL: <https://portfolio.vvsu.ru> (дата обращения: 26.05.2025).
3. Поспелов Е. А. Численные исследования неравновесного критического поведения структурно неупорядоченных систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук: спец. 01.04.02 — «Теоретическая физика». <http://www.issp.ac.ru> (дата обращения: 26.05.2025).
4. Брэди Морейра Ф. Г., Фиттипальди И. П. Приближение когерентного потенциала для одноосных антиферромагнетиков со случайным разбавлением: применение к $\text{Mn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{F}_2$ // J. Appl. Phys. 1979. Vol. 50, № 3. P. 1726–1728. URL: <https://pubs.aip.org> (дата обращения: 26.05.2025).
5. Верещагин С. Н., Дудников В. А., Соловьев Л. А. Изучение фазового перехода порядок-беспорядок в нестехиометрическом Sr-Gd-кобальтате методами ДСК, ТГ и РСА // Журнал СФУ. Химия. 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 24.05.2025).

6. Сонин Андрей Анатольевич к истории исследования явления перколяции // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2016. №1. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 25.05.2025).

7. Hirsch J. E., Fye R. M. Magnetic ordering in the two-dimensional Hubbard model at finite temperatures // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. 56, № 22. P. 2521. URL: <https://journals.aps.org> (дата обращения: 24.05.2025).

8. Муртазаев А. К., Ибаев Ж. Г., Абуев Я. К. Расчет плотности состояний двумерной анизотропной модели Изинга с конкурирующими взаимодействиями методами Монте-Карло // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 27.05.2025).

9. Грешняков Владимир Андреевич, Павлик Виталий Вадимович новые наноструктурированные углеродные соединения на основе графиновых слоёв // Челябинский физико-математический журнал. 2025. №1. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 28.05.2025).

10. Carrasquilla J., Melko R. Phases of machine learning in physics // Nature Physics. 2017. Vol. 13. P. 431–434. URL: <https://doi.org/10.1038/nphys4035> (дата обращения: 26.05.2025).

11. Balents L. Spin liquids in frustrated magnets // Nature. 2010. Vol. 464. P. 199–208. URL: <https://doi.org/10.1038/nature08917> (дата обращения: 26.05.2025).

УДК 662.612.12

Паушкина К.К.

*Научный руководитель: Глушков Д.О., д-р техн. наук, доц.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ НУКЛЕАЦИИ ПРИ НАГРЕВАНИИ ЧАСТИЦЫ ГЕЛЕОБРАЗНОГО ТОПЛИВА В РАЗОГРЕТОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

В связи с широким разнообразием номенклатуры гелеобразных топлив и механизмов их горения актуальной задачей является разработка математических моделей процессов, происходящих при воспламенении капли гелеобразного топлива в среде окислителя при разных механизмах теплопередачи. Поэтому целью данной работы является разработка на основе совокупности результатов теоретических и экспериментальных исследований прогностической математической модели формирования центров нуклеации, инициирующих процессы

диспергирования капли расплава гелеобразного топлива при нагреве в высокотемпературной среде окислителя. По результатам ранее выполненного цикла экспериментальных исследований механизмов и характеристик воспламенения гелеобразных топлив на основе маслonaполненного криогеля в условиях диспергирования [1–4] разработана физическая модель (Рис. 1) зажигания частицы гелеобразного топлива в условиях диспергирования.

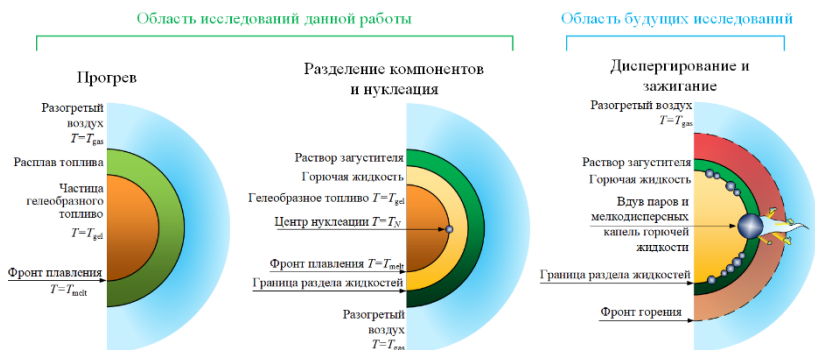


Рис. 1 Механизмы процессов, протекающих при прогреве частицы гелеобразного топлива

На основе экспериментальных и теоретических исследований был разработан новый подход к моделированию процесса диспергирования капли расплава гелеобразного топлива. Суть подхода заключается в том, что при разработке математической модели критерием начала диспергирования принято условие достижения температуры на границе «горючая жидкость – раствор загустителя» значения температуры нуклеации, которая не равна температуре кипения горючей жидкости, как принимается в большинстве известных моделей паффинга и микровзрыва, а принимает некоторое значение, соответствующее скорости (интенсивности) нагрева топлива. Учитывая условия проведения экспериментальных исследований, температура зародышеобразования (температура нуклеации T_N) рассчитана по эмпирической корреляции [5]:

$$\begin{cases} T_N = T_{\text{oil}}^b + 12.0 \cdot \tanh\left(0.02 \cdot \frac{dT}{dt}\right), & \text{при } 0 < \frac{dT}{dt} < 300 \text{ K/c;} \\ T_N = T_{\text{oil}}^b + 160 \cdot \tanh\left(10^{-5} \cdot \frac{dT}{dt}\right), & \text{при } 300 \text{ K/c} \leq \frac{dT}{dt} < 10^6 \text{ K/c;} \end{cases} \quad (1)$$

где T_N – температура нуклеации, T_{oil}^b – температура кипения

горючей жидкости, t – время.

Достижение температурой на границе «горючая жидкость – раствор загустителя» значения, соответствующего возникновению центра нуклеации, означает формирование первого зародыша пузырька. Время от начала прогрева до образования первого центра нуклеации принималось как время достижения условий диспергирования (t_N). Это время также регистрировалось в экспериментах, проводимых для валидации математической модели.

Алгоритм численного решения задачи формирования центра нуклеации в расплаве гелеобразного топлива предполагал реализацию нескольких вычислительных схем, каждая из которых определялась геометрией структуры области решения задачи в системе «частица гелеобразного топлива – разогретый воздух», соответствующей разным этапам протекания физико-химических процессов при прогреве топлива. Пространственно-временная неоднородность физико-химических процессов обусловлена гетерогенностью структуры частицы гелеобразного топлива (капли расплава) в процессе ее прогрева. При прогреве частицы топлива формируется и движется фронт плавления, разделяются компоненты расплава на горючее и загуститель, последние испаряются и смешиваются с разогретым окислителем за счет диффузии.

Соответствующие начальные и граничные условия записаны в предположении о равномерности подвода теплоты к поверхности частицы топлива от внешнего источника энергии.

Начальные условия:

- размер области решения $R_f=4R_d$;
- начальный размер частицы топлива $R_d=0.1\text{--}4.0$ мм;
- начальная температура топлива $T_0=300$ К;
- температура разогретого воздуха $T_g=673\text{--}1073$ К (расчет производится для каждой температуры из диапазона с шагом 100 К).

Взаимосвязанные процессы тепломассопереноса, фазовых превращений и химического реагирования в области решения задачи описываются системой нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных в сферической постановке [6].

Для решения системы нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями разработан алгоритм, основанный на совместном применении группы численных методов: конечных разностей, локально-одномерного, итераций и

прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы. Алгоритм решения предполагал последовательную проверку на каждом шаге по времени условий, соответствующих реализации одного из четырех основных этапов изучаемого процесса, пересчета на соответствующих этапах координат всех границ, а также условий останова вычислений характеристик процесса, соответствующих сформулированному критерию образования центра нуклеации (1) или его отсутствия.

Решение перечисленных задач послужило основой для разработки соответствующих программных кодов в среде программирования MATLAB, наиболее полно описывающих совокупность физико-химических процессов.

На Рис. 2а представлены зависимости времен достижения условий нуклеации от температуры окислителя, полученные при экспериментальном исследовании и численном моделировании.

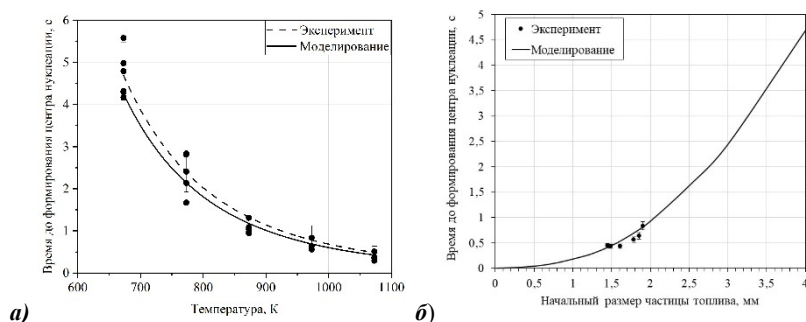


Рис. 2 Зависимости времени достижения условий нуклеации: а – от температуры разогретого воздуха ($R_d=1$ мм); б – от начального размера частицы гелеобразного топлива ($T_g=973$ К)

По результатам моделирования и экспериментального исследования отличие в определении значений времен нуклеации для частицы гелеобразного топлива при варьировании температуры разогретого воздуха в пределах 673–1073 К не превышает 12 %. Можно заключить, что получено удовлетворительное соответствие результатов численного моделирования с экспериментальными данными.

Кроме того, было проведено сравнение значений времени достижения условий нуклеации, полученных экспериментально и в результате моделирования, в зависимости от начального диаметра частицы гелеобразного топлива при идентичных начальных условиях ($T_g=973$ К). Численное моделирование проведено для начальных

диаметров частиц гелеобразного топлива 0.1–4.0 мм. На Рис. 2б видно, что отличие теоретических и экспериментальных данных составляет менее 25 %.

Экспериментальные данные получены для диаметров капли в достаточно узком диапазоне (1.4–1.9 мм), что связано с ограничениями экспериментального стенда. Конструкция и толщина держателя не позволяли надежно удерживать капли более 2 мм в диаметре, т.к. в процессе прогрева частица топлива значительно меняла форму. При плавлении центр масс топлива смещался вниз под действием силы тяжести, площадь контакта топлива и держателя значительно уменьшалась, что не позволяло силам поверхностного натяжения компенсировать вес капли. В результате чего капля срывалась с держателя до формирования первого центра нуклеации.

Математическая модель разработана с учетом особенностей поведения маслonaполненного криогеля в условиях лучисто-конвективного нагрева, установленных по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Модель описывает взаимосвязанную последовательность физико-химических процессов в конденсированной фазе, жидкой и газовой среде, приводящих к формированию центров нуклеации. Новый подход, положенный в основу модели, позволит с относительно высокой достоверностью прогнозировать характеристики процесса нуклеации в объеме гетерогенных гелеобразных топливных композиций в условиях интенсивного теплоподвода от разогретого окислителя. Представленная модель в будущих работах ляжет в основу универсальной многостадийной модели зажигания и выгорания многокомпонентных гелеобразных топлив в условиях диспергирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vershinina, K.Y. Oil-Filled Cryogels: New Approach for Storage and Utilization of Liquid Combustible Wastes / K.Y. Vershinina, D.O. Glushkov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. – 2019. – Vol. 58, № 16. – P. 6830–6840.
2. Glushkov, D.O. Effects of the initial gel fuel temperature on the ignition mechanism and characteristics of oil-filled cryogel droplets in the high-temperature oxidizer medium / D.O. Glushkov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina // *Energy Fuels*. – 2019. – Vol. 33, № 11. – P. 11812–11820.
3. Glushkov, D.O. Heat and mass transfer induced by the ignition of

single gel propellant droplets / D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, A.G. Nigay, O.S. Yashutina // Journal of the Energy Institute. – 2019. – Vol. 92, № 6. – P. 1944–1955.

4. Glushkov, D.O. Ignition and combustion behavior of gel fuel particles with metal and non-metal additives / D.O. Glushkov, K.K. Paushkina, A.O. Pleshko, V.A. Yanovsky // Acta Astronautica. – 2023. – Vol. 202. – P. 637–652.

5. Sazhin, S.S. A new approach to modelling micro-explosions in composite droplets / S.S. Sazhin, T. Bar-Kohany, Z. Nissar, D. Antonov, P.A. Strizhak, O.D. Rybdylova // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 161. – P. 120238.

6. Betelin, V.B. Evaporation and ignition of droplets in combustion chambers modeling and simulation / V.B. Betelin, N.N. Smirnov, V.F. Nikitin, V.R. Dushin, A.G. Kushnirenko, V.A. Nerchenko // Acta Astronautica. – 2012. – Vol. 70. – P. 23–35.

УДК 691.175.743

Педан Д.О., Вергейчик А.В., Клепикова М.А.

Научный руководитель: Ключникова Н.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Композиты на основе полимерной матрицы в настоящее время приобретают большую популярность во многих отраслях жизнедеятельности человека. Они представляют собой модифицированные различными наполнителями и функциональными добавками смеси полимеров, которые за счет введения в их состав тех или иных добавок, приобретают необходимые физико-механические и эксплуатационные характеристики. Полимерные композиционные материалы за счет огромного разнообразия свойств и характеристик применяются в различных областях промышленности, особенно в строительной. Модификация полимерной матрицы позволяет получать материалы с высокими показателями прочности, износостойкости и долговечности [1].

Так как основная сфера потребления полимерных композиционных материалов – строительная, то на сегодняшний момент основной задачей является разработка полимерных композитов,

которые могут быть использованы в качестве отделочных материалов [2].

Большую популярность в строительной отрасли в качестве отделочных материалов приобрели виниловые полимерные композиции (ВПК). В состав ВПК входят поливинилхлоридная полимерная матрица, наполнители, модификаторы и различные функциональные добавки, в зависимости от необходимых характеристик будущего изделия. За счет того, что такие материалы обладают высокими прочностными показателями, устойчивостью к износу и царапинам, хорошими показателями влагостойкости, такие полимерные композиции достаточно часто и широко используются в качестве напольных и настенных покрытий [1].

Помимо отделочных ПВХ-композитов, широкое распространение получили полиуретановые аналоги. Эти материалы отличаются высокой износостойкостью, прочностью и долговечностью. Важными характеристиками полиуретановых композиций являются их звукоизоляционные свойства, а также устойчивость к химическим воздействиям, что делает их востребованными в проектах с повышенными требованиями к надежности отделки.

В последние годы все большую популярность приобретают древесно-полимерные композиты (ДПК) для напольных покрытий. Они сочетают в себе эстетику натурального дерева и преимущества полимеров, такие как влагостойкость, устойчивость к гниению и царапинам. ДПК-покрытия отличаются длительным сроком службы и простотой монтажа, что делает их предпочтительным выбором как для коммерческих, так и для жилых помещений.

В целом, полимерные композиционные материалы представляют собой отличную альтернативу традиционным отделочным материалам, превосходя их по прочности и эксплуатационным характеристикам. Кроме того, возможность модификации полимерной матрицы позволяет адаптировать композиции под конкретные требования.

Полимерные композиты постепенно вытесняют традиционные материалы, включая металл и дерево, на мировом рынке. Материалы на основе полимерных матриц находят применение в различных сферах деятельности. Среди наиболее востребованных выделяются композиты на основе поливинилхлорида (ПВХ).

На сегодняшний день строительство является основной областью применения полимерных композиционных материалов. Их популярность обусловлена широким спектром свойств, а также возможностью модификации полимерного состава для различных строительных задач [2].

Проанализирован наиболее популярные полимеры, применяемые в промышленности, можно сделать вывод, что поливинилхлоридные композиционные материалы являются вторыми по популярности применения в промышленности после полиолефинов (рис.1). Такая популярность поливинилхлорида обусловлена тем, что на его основе возможно создавать изделия и материалы с различным спектром свойств и характеристик. Также, поливинилхлорид достаточно просто поддается модификации полимерной матрицы, что значительно облегчает работу с ним.

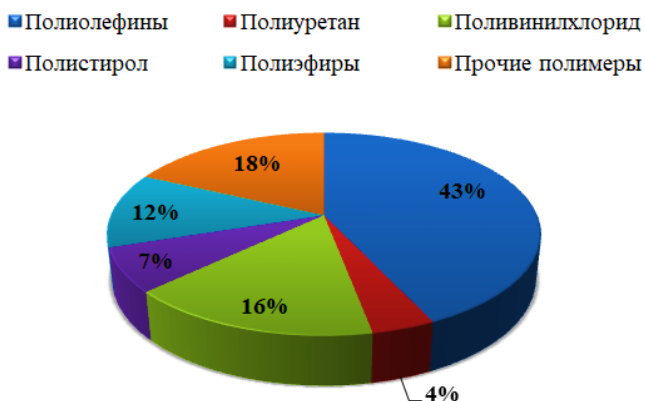


Рис. 1. – Усредненные промышленные объемы потребления наиболее популярных и распространенных полимеров на 2022-2023 год

Большим преимуществом поливинилхлорида перед другими полимерами является прекрасная химическая стойкость, что дает возможность применять его в условиях агрессивных сред.

Помимо хорошей химической стойкости, ПВХ обладает прекрасными показателями огнестойкости, что делает его безопасным при применении в качестве строительных материалов, особенно в помещениях, которые должны соответствовать высоким стандартам пожаробезопасности [3].

Помимо строительной отрасли ПВХ нашел свое применения в таких областях как космонавтика, авиация, судостроение, автомобилестроение, а также медицина и не только. Но при этом строительная отрасль остается наиболее крупным потребителем ПВХ (рис. 2.).



Рис. 2. – Статистика потребления ПВХ в строительной отрасли

Поливинилхлорид стал известен на мировом рынке более 90 лет назад и за это время успел заслужить большую популярность во многих промышленных отраслях, как это видно из полученных данных. На сегодняшний день ПВХ по-прежнему остается популярным и распространённым полимером, что видно из таблицы.

ПВХ является достаточно универсальным полимерным материалом, за счет этого на его основе можно производить большое количество товаров и изделий с различными свойствами и характеристиками.

Поливинилхлорид и композиты на его основе обладают химической стойкостью, огнестойкостью, высокой прочностью и износостойкостью, что дает возможность применять данные материалы практически во всех областях промышленности.

Таким образом, можно утверждать, что ПВХ является одним из наиболее популярных полимеров на сегодняшний день на рынке и, предположить, что его популярность с каждым годом будет только расти.

Но, стоит учитывать, что на сегодняшний день большой задачей является удешевление и модификация полимерной композиции с сохранением его прочностных и эксплуатационных свойств.

Таблица - Основные сферы применения ПВХ в строительной отрасли в странах на 2022-2023 год, %

Области применения	Россия	Китай	США	Западная Европа	Япония	Республика Корея
Профильные изделия	58,1	29,8	25,8	30,4	10,1	8,3
Трубы	4,2	33,2	47,4	23,7	38,0	28,1
Пленки и листы	6,7	17,1	13,5	19,8	28,3	37,7
Настенные и напольные отделочные материалы	12,7	3,6	3,1	7,5	56,1	2,3
Прочее	5,0	7,9	6,1	14,2	12,4	13,1

Благодарность: Исследования для данной работы выполнены на базе Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключникова Н.В. Защитные покрытия на основе модифицированных фенолформальдегидных композитов / Н.В. Ключникова, И. Генов, В.Д. Мухачева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2017. — № 12. — С. 91-97.

2. Даваасенгэ С.С. Технология переработки полимерных отходов в строительные материалы / С.С. Даваасенгэ, О.Н. Буренина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2009. — №5(2) — С.1-3

3. Примеров О.С. Обзор методов переработки отходов полимерных материалов и анализ рынка вторичного сырья / О.С. Примеров, П.В. Макеев, А.С. Клинков // Молодой ученый. — 2013. — №6. — С. 121-123.

Плугин И.А., Цыганов А.Р., Зотов И.В.

*Научный руководитель: Сысоев В.В., д-р техн. наук, проф.
Саратовский государственный технологический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И УФ ОБЛУЧЕНИЯ НА ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$

Интересные свойства графена, открытого Новоселовым К. С. и Геймом А. К. в 2004 году, стимулировали ученых всего мира к изучению двумерных структур [1]. В 2011 году группа Гоготци Ю. Г. и Барсума М. В. открыли ещё одно семейство низкоразмерных материалов – максены [2]. Данные структуры представляют из себя карбиды/нитриды переходных металлов, покрытые функциональными группами, такими как -О, -ОН, -F. Высокая проводимость и большое отношение площади поверхности к объему позволили изготавливать на основе максенов датчики газа и газоанализаторы, функционирующие при комнатной рабочей температуре. В настоящее время ведутся работы по изучению этих структур в различных модификациях. В частности, интересным направлением является внесение в структуру максенов упорядоченных вакансий металла. Представителем данного семейства являются максены $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$, хеморезистивные характеристики которого были изучены в данной работе.

На первом этапе работы был произведен синтез максенов $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$ путем спекания порошков Mo, Y, Al, C для формирования $(\text{Mo}_{2/3}\text{Y}_{1/3})_2\text{AlC}$ прекурсора, из которого были вытравлены атомы Al и Y с помощью раствора плавиковой кислоты. Далее полученные структуры расслаивали на монослои с помощью интеркаляции гидроксидом тетрабутиламмония и наносили с помощью микроплоттерной печати на поверхность однокристалльного мультieleктродного чипа, оборудованного диэлектрической подложкой, набором компланарных электродов, нагревательными меандрами и терморезисторами, выполненными из Pt [3]. Общий размер платформы составлял $9 \times 10 \times 0,3$ мм, на которой было сформировано 38 сенсорных элементов (Рис. 1).

Во время хеморезистивных исследований на мультисенсорную линейку поочередно подавались сухой воздух и пары воды и бутанола в концентрации 10 ppm (молекул на миллион).

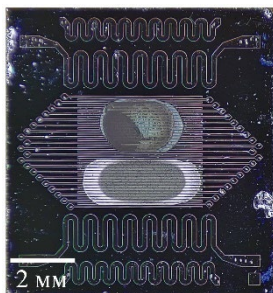


Рис. 1 Оптическая фотография мультисенсорного чипа на основе максенов $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$

Взаимодействие газообразных молекул указанных аналитов с максенами при комнатной температуре (около 30°C) (Рис. 2а) приводило к увеличению сопротивления, находившегося в кОм-диапазоне. При этом удаление аналитов приводило к восстановлению сопротивления до исходных значений.

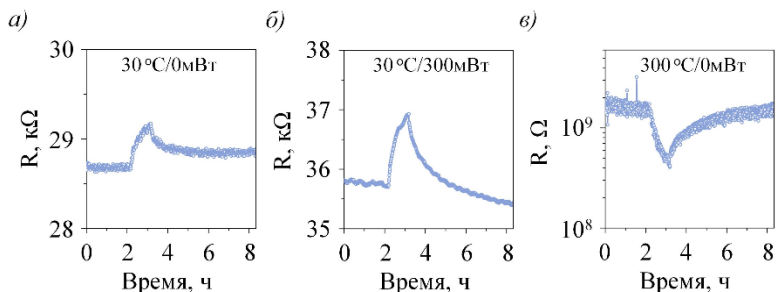


Рис. 2 Сигналы типичного сенсора на основе максенов $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$ при взаимодействии с парами воды в концентрации 10 ppm, работающего при: а – температуре 30°C , мощность УФ-облучения 0 мВт; б – температуре 30°C , мощность УФ-облучения 300 мВт; в – температуре 300°C , мощность УФ-облучения 0 мВт

Также, мультисенсорную линейку дополнительно активировали электромагнитным излучением длиной волны 365 нм с различной мощностью, с шагом 100 мВт, и повторяли напуски паров аналитов. Облучение приводило к активации носителей заряда максенов, в результате чего хеморезистивные отклики увеличивались в два раза по сравнению с измерениями без облучения (Рис. 3а). При этом время отклика/восстановления и шумовая составляющая не изменялись, а сопротивление находилось в кОм диапазоне (Рис. 2б). Изменение

мощности влияло на объем активированных в толщине сенсорного слоя максенов.

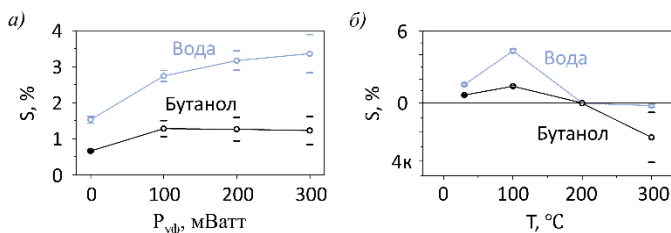


Рис. 3 Хеморезистивные отклики мультисенсорной линейки на основе максенов $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$ при взаимодействии с парами воды и бутанола в концентрации 10 ppm при: а – УФ облучении с мощностью до 300 мВт, при температуре 30°C ; б – нагреве до 300°C с УФ облучением 0 мВт

В дополнение, в работе было изучено влияние температуры на хеморезистивные характеристики максенов. Так, мультисенсорную линейку нагревали до 300°C с шагом в 100°C с помощью встроенных в конструкцию мультieleктродного чипа нагревателей и изучали воздействие напусков паров аналитов на проводимость (Рис. 2в). Увеличение температуры приводило к увеличению базового сопротивления, шумовой составляющей и постепенному уменьшению откликов вплоть до их полного отсутствия около 200°C . Дальнейший нагрев приводил к появлению откликов, превышающих наблюдаемые при комнатной температуре на 1-2 порядка, однако при этом менялся их тип (Рис. 3б). Такие изменения связаны с окислением материала при нагреве, в результате которого формировались гетероструктуры максен/оксид металла, которые обладали конкурирующими откликами при 200°C . Нагрев до 300°C приводил к увеличению количества оксида и доминации его отклика вследствие хемосорбции молекул аналитов.

Таким образом, было выявлено, что максены $\text{Mo}_{1.33}\text{ST}_x$ обладают хеморезистивными откликами к парам воды и бутанола при комнатной температуре, значения которых могут быть увеличены при дополнительной активации УФ- излучением. Также показано, что увеличение откликов возможно с помощью увеличения температуры до 300°C , что, однако, сопряжено с окислением и частичным разрушением материала.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-79-00074, <https://rscf.ru/project/24-79-00074/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Novoselov, K.S. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene / K.S. Novoselov, A.K. Geim // Nature. — 2005. — V 438. — № 7065. — С. 197-200.
2. Venkateshalu, S. Recent advances in MXenes: beyond Ti-only systems / S. Venkateshalu, M. Shariq // Journal of Materials Chemistry A. — 2023. — V 11. — № 25. — С. 13107-13132.
3. Pazniak, H. Alcohol vapor sensor based on quasi-2D Nb₂O₅ derived from oxidized Nb₂CT_z MXenes / H. Pazniak, I.A. Plugin // Sensors. — 2023. — V 24. — № 1. — С. 38.

УДК 69.69.04

Рудакова С.Р., Смулярова В.С.

*Научный руководитель: Смоляго Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮРЫ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В СИММЕТРИЧНОЙ РАМЕ

Статически неопределимые системы – это стержневые системы, для определения реакций опор в которых недостаточно только уравнений равновесия. Число связей, наложенных на статически неопределимую систему, больше количества связей, которые обеспечивают геометрическую неизменяемость конструкции. Такими связями выступают опорные связи и стержни самой конструкции. Расчёт статически неопределимых систем производят двумя методами: методом сил, методом перемещений и их совокупность – смешанный метод. Неизвестными в методе сил являются усилия отброшенных связей, а в методе перемещений – реакции введенных связей, ограничивающие перемещения.

Построить эпюру изгибающих моментов в раме (рис. 1,а). Рама симметричная. Для использования симметрии основная система должна быть симметричной. Принимаем ее по рис. 1,б.

Производим группировку неизвестных в парные неизвестные: симметричные X_1 и X_3 и кососимметричные X_2 и X_4 (рис. 1,в).

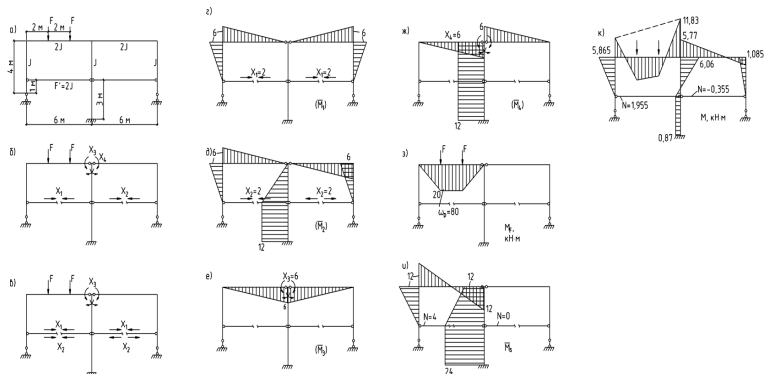


Рис. 1

Система канонических уравнений для симметричных неизвестных имеет вид:

$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1F} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3F} &= 0,\end{aligned}$$

а для кососимметричных:

$$\begin{aligned}\delta_{22}X_2 + \delta_{24}X_4 + \Delta_{2F} &= 0; \\ \delta_{42}X_2 + \delta_{44}X_4 + \Delta_{4F} &= 0.\end{aligned}$$

Единичные эпюры представлены на рис. 1, г-ж, грузовая – на рис. 1, з.

Вычисляем коэффициенты и свободные члены канонических уравнений:

$$\delta_{11} = \left(\frac{6 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} 6 \frac{1}{EJ} + \frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} 6 \frac{1}{2EJ} + \frac{2 \cdot 6 \cdot 2}{EJ} \right) 2 = \frac{168}{EJ}.$$

Последнее слагаемое здесь учитывает деформацию затяжки:

$$\begin{aligned}\delta_{13} &= \left(-\frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{1}{3} 6 \frac{1}{2EJ} \right) 2 = -\frac{36}{EJ}; \\ \delta_{33} &= \left(\frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} 6 \frac{1}{2EJ} \right) 2 = \frac{72}{EJ}; \\ \Delta_{1F} &= -\frac{8F \cdot 3}{2EJ} = -\frac{120}{EJ}; \Delta_{3F} = \frac{8F \cdot 3}{2EJ} = \frac{120}{EJ}; \\ \delta_{22} &= \delta_{11} + \left(\frac{12 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} 12 + 12 \cdot 3 \cdot 12 \right) \frac{1}{EJ} = \frac{744}{EJ};\end{aligned}$$

$$\delta_{24} = \delta_{13} + \left(\frac{12 \cdot 3}{2} + 12 \cdot 3\right) \frac{12}{EJ} = \frac{612}{EJ};$$

$$\delta_{44} = \delta_{33} + \frac{12 \cdot 6 \cdot 12}{EJ} = \frac{936}{EJ};$$

$$\Delta_{2F} = -\frac{8F \cdot 3}{2EJ} = -\frac{120}{EJ}; \Delta_{4F} = \frac{8F \cdot 3}{2EJ} = \frac{120}{EJ}.$$

Пишем систему канонических уравнений:

$$\begin{aligned} 168X_1 - 36X_3 - 120 &= 0; \\ -36X_1 + 72X_3 + 120 &= 0, \\ 744X_2 + 612X_4 - 120 &= 0; \\ 612X_2 + 936X_4 + 120 &= 0. \end{aligned}$$

Значения неизвестных получаются следующие: $X_1 = 0,4$ кН; $X_3 = -1,467$ кН; $X_2 = -0,505$ кН; $X_4 = 0,5773$ кН. Суммарная эпюра представлена на рис. 1,к.

Проверяем суммарную эпюру "умножением" на суммарно-единичную, представленную на рис 1,и:

$$\begin{aligned} (M_P) \cdot (\bar{M}_S) &= \frac{5,865 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} 12 \frac{1}{EJ} + \frac{5,865 \cdot 6}{2} \left(\frac{2}{3} 12 - \frac{1}{3} 12\right) \frac{1}{2EJ} + \\ &+ \frac{11,83 \cdot 6}{2} \left(\frac{1}{3} 12 - \frac{2}{3} 12\right) \frac{1}{2EJ} + \frac{80 \cdot 0}{2EJ} + \frac{6,06 \cdot 3}{2} \left(-\frac{2}{3} 12 - \frac{1}{3} 24\right) \frac{1}{EJ} + \frac{0,87 \cdot 3}{2} \left(\frac{1}{3} 12 + \right. \\ &\left. + \frac{2}{3} 24\right) \frac{1}{EJ} + \frac{0,87 \cdot 3 \cdot 24}{EJ} + 1,955 \cdot 6 \cdot 4 \frac{1}{EJ} = (217,776 - 216,42) \frac{1}{EJ} \approx 0. \end{aligned}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А. В., Лашеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Тонкостенные пространственные системы. - М.: Стройиздат., 1983. - 488 с.
2. Ржаницын А.Р. Строительная механика. - М.: Высшая школа, 1982. - 400 с.
3. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лашеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Стержневые системы. - М.: Стройиздат., 1981. - 512 с.
4. Афанасьев А.М., Ермоленко В.А., Киселев В.А., Медников И.А., Овсянникова М.В., Слободчиков А.Я., Тяжелов Н.Н., Федоров Ю.П., Цвей И. Ю. Строительная механика в примерах. - М.: изд-во литературы по строительству, 1964. - 344 с.
5. Юрьев А. Г., Зинькова В. А., Смоляго Н. А. Структурный синтез металлических ферм. // В сб.: Научно-технические технологии и инновации.

УДК 691.175.5/8

Ручий А.Ю., Баринов Р.А., Сильченко Д.В.

Научный руководитель: Черкашина Н.И., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ

Полимеры и материалы на их основе подвержены повреждениям, вызванным механическими, термическими, химическими воздействиями, ультрафиолетовым излучением или комбинацией этих факторов. Это может провоцировать формирование микротрещин внутри структуры полимерного изделия, где их обнаружение и устранение затруднено или невозможно. Изделия из таких материалов стоят достаточно дорого, поэтому возникает необходимость отремонтировать изделие, восстановить его основные характеристики, при этом сделать это достаточно быстро. В ответ на это в 1969 г. была выдвинута идея создания самозалечивающихся полимерных материалов.

Самовосстанавливающимися композитными материалами называют такие материалы, в которых при механическом повреждении происходит полное или частичное уменьшение площади поверхности повреждения путем направленного массопереноса и консолидации связей, что приводит к полному или частичному восстановлению функциональных характеристик материала.

В настоящее время изучение самовосстанавливающихся полимерных композитов активно развивается в связи с растущим спросом на долговечные и надежные материалы в различных отраслях промышленности, особенно, где требуется длительная работоспособность в труднодоступных местах [1,2]. Такие материалы имеют большой потенциал в следующих отраслях:

- авиация и космос (ремонт микротрещин в обшивке);
- автомобилестроение (самовосстанавливающиеся покрытия);
- строительство (бетон с регенерирующими добавками);
- электроника (саморемонт проводящих дорожек) [3,4].

Для различных видов полимерных композитов существуют различные подходы к восстановлению поврежденной полимерной

матрицы внутри материала, поэтому необходимо понимание того, какой способ восстановления материала обладает лучшими показателями и позволяет получать лучшие результаты при соизмеримых затратах.

Механизм самовосстановления можно разделить на два основных типа: внутреннее и внешнее восстановление. Внутреннее восстановление происходит за счёт обратимых внутри- и/или межмолекулярных взаимодействий между полимерными цепями самого материала (например, динамических нековалентных связей или водородных связей). Внешнее восстановление происходит за счёт действия внешних восстанавливающих агентов, которые, в свою очередь, встраиваются в матрицу композита, не обладающую способностью к самовосстановлению. В данном случае реакция основана либо на катализируемых или некатализируемых реакциях полимеризации, таких как раскрытие цикла или катионная полимеризация, либо на переплетении или сшивании полимерных цепей под действием отвердителей. Другой внешний способ восстановления включает включение термопластичных полимеров [5-7].

Внешнее самовосстановление отличается высокой эффективностью, низкой стоимостью и возможностью применения в более широком спектре материалов, в то время как внутреннее самовосстановление ограничено материалами с присущими им обратимыми молекулярными взаимодействиями, которые требуют строгих условий реакции и поэтому, как правило, зависят от внешних стимулов (таких как температура или ультрафиолетовое излучение). Кроме того, оно ограничено небольшими повреждениями, так как восстановление происходит на молекулярном уровне. Тем не менее, внутреннее самовосстановление также обладает преимуществами, такими как воспроизводимость самовосстановления, простота применения и меньшее количество ограничений, связанных с интеграцией и совместимостью восстанавливающих агентов [8, 9].

Внешнее самовосстановление обычно связано с композиционными материалами, в которых восстанавливающее вещество хранится в специальных контейнерах, таких как капсулы или сосудистые сети. В литературе можно найти описание SHM с микрокапсулами, которые действуют как заживляющее средство при разрушении микрокапсулы полимерного материала, как при введении термопластика в полимерную матрицу, так и при использовании принципа перегруппировки водородных связей. Так, авторы работы [10] описывают синтезированные акриловые сополимеры с введенными

углеродными нанотрубками. Введение наномодификаторов позволяет повысить модуль упругости и прочность сополимера. Внешние механизмы самовосстановления, которые считаются автономными, обычно классифицируются в зависимости от типа используемых сосудов, хотя концепция самовосстановления схожа. Самовосстановление на основе капсул и самовосстановление сосудов — это два типа внешних механизмов самовосстановления.

Другим примером капсульных систем, пригодных для использования в космосе, является материал, разработанный подразделением MPV Technologies «Умные материалы и датчики для космических миссий» (Монреаль, Канада), который предназначен для защиты от ударов микрометеоритов и частиц космического мусора [11].

Внутренние механизмы не нуждаются в восстанавливающих веществах, но, как правило, для активации реакции самовосстановления им требуются внешние стимулы. Среди нескольких возможных вариантов применения в космосе эти механизмы могут использоваться для защиты от ударов в качестве эффективной альтернативы ранее описанным внешним решениям или даже могут быть интегрированы с ними. К этому семейству относятся супрамолекулярные полимеры, и иономеры. Хаддад и др. [12] недавно объединили их для разработки многослойного противоударного экрана для композитных сосудов под давлением. Основное внимание уделялось высокоскоростным ударам: для имитации обломков использовались алюминиевые и стальные сферы диаметром от 2 до 4 мм, запускаемые со скоростью от 1 до 1,7 км/с, а для мониторинга состояния конструкции в систему были интегрированы оптоволоконные датчики. Затем полное закрытие отверстий было подтверждено вакуумными испытаниями и рентгеновской компьютерной томографией. Многообещающие результаты были получены при сочетании самовосстанавливающихся и прочных слоёв материала, что подчёркивает необходимость дальнейшей характеристики этой системы как с точки зрения оптимизации укладки, так и с точки зрения испытаний на ударную нагрузку при более высоких скоростях.

Проведенный анализ литературы позволяет сделать вывод о том, что дальнейшие исследования в области самовосстанавливающихся материалов имеют важное значение в различных отраслях промышленности от медицины до космической отрасли для создания надежных и долговечных конструкций, имплантов и защитных покрытий. Развитие самовосстанавливающихся композитов в ближайшее время должно быть направлено на разработку новых методов получения материалов с заданными свойствами, экономически

выгодных методов внедрения наночастиц в композиты, а также на исследование факторов, влияющих на эффективность самовосстановления.

Реализация указанных направлений исследований позволит создать новое поколение самовосстанавливающихся нанокompозитных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Финансирование работы

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10033 <https://rscf.ru/project/24-79-10033/> с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Idumah, C.I. Recent Advancements in Self-Healing Polymers // Polymer Blends, and Nanocomposites. Polymers and Polymer Composites, SAGE Publications Ltd. – 2021. – Vol.29. – P. 246–258.

2. Рыжих, Д. А. Самозалечивающие капсулы для полимерных композитов / Д. А. Рыжих, Д. В. Пушкарская, С. В. Серебряков // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XVI Международного молодежного форума, Белгород, 30–31 октября 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2024. – С. 91-95.

3. Cheng, M., Fu, Q., Tan, B., Ma, Y., Fang, L., Lu, C. and Xu, Z. Build a Bridge from Polymeric Structure Design to Engineering Application of Self-Healing Coatings: A Review // Progress in Organic Coatings, Elsevier. – 2022. – Vol. 167. – 106790.

4. Mashkoor, F., Lee, S.J., Yi, H., Noh, S.M. and Jeong, C. Self-Healing Materials for Electronics Applications // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23. – P. 622.

5. Cioffi, M.O.H., Bomfim, A.S.C., Ambrogio, V., Advani, S.G. A Review on Self-healing Polymers and Polymer Composites for Structural Applications // Polym. Compos. – 2022. – Vol. 43. – P. 7643–7668.

6. Kontiza, A., Kartsonakis, I.A. Smart Composite Materials with Self-Healing Properties: A Review on Design and Applications // Polymers. – 2024. – Vol. 16. – 2115.

7. Kadam, S., Chavan, S., Kanu, N.J. An Insight into Advance Self-Healing Composites // Mater. Res. Express. – 2021. – Vol. 8. – 052001.

8. Jadoun, S. Synthesis, Mechanism, and Applications of Self-Healing Materials // Biomed. Mater. Devices. – 2024. – Vol. 2. – P. 225–240.

9. Cao, S., Zhu, W., Liu, T. Bio-Inspired Self-Healing Polymer Foams with Bilayered Capsule Systems // Compos. Sci. Technol. – 2020. – Vol. 195. – 108189.

10. Rehman, H.U., Chen, Y., Guo, Y., Du, Q., Zhou, J., Guo, Y., Duan, H., Li, H., Liu, H. Stretchable, strong and self-healing hydrogel by oxidized CNT-polymer composite, Self-healing nanocomposite materials: A review // Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. – 2016. – Vol. 90. – P. 250-260.

11. Pernigoni, L., Lafont, U., Grande, A.M. Self healing materials for space applications: Overview of present development and major limitations // CEAS Space J. – 2021. – Vol. 13. – P. 341-352.

12. Haddad, E., Zhao, Y., Celikin, M., Basti, M., Tagziria, K., Wallach, E., Sempriomoshnig, C., Lafont, U., McKenzie, I. Mitigating the effect of space small debris on COPV in space with fiber sensors monitoring and self-repairing materials // ICSO proceedings. ESA and CNES. – Chania. – 2018.

УДК 628.16.549

Рыжкова Ю.С., Дюкарева В.И.

Научный руководитель: Денисова Л.В., канд. хим. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ПРИ РАДИАЦИОННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Для очистки водных растворов в качестве сорбентов применяют ионообменные смолы – это твердые материалы в форме гранул, порошков или волокон, содержащие функциональные группы, определяющие их ионообменные свойства. В зависимости от типа функциональных групп, смолы подразделяются на катиониты (поглощают катионы) и аниониты (поглощают анионы) [1]. Последовательная фильтрация раствора через катионит и анионит приводит к удалению радионуклидов, присутствующих в растворе в катионной и анионной форме. Важно отметить, что этот процесс удаляет не только радионуклиды, но и другие ионы, содержащиеся в воде.

Повышенный уровень радиоактивных материалов в окружающей среде считается радиационным загрязнением. Такое загрязнение может быть вызвано техногенными факторами, например, инцидентами на атомных станциях, ядерными испытаниями или деятельностью, связанной с радиоактивными элементами в промышленности и медицине. Подобные вещества, попадая в атмосферу, водные ресурсы,

почву и продукты питания, несут потенциальную угрозу здоровью людей и состоянию экосистемы [2].

Промышленные сточные воды часто содержат радионуклиды, которые опасны для здоровья. При попадании загрязненной воды в организм, радионуклиды разносятся кровью по органам и тканям, вызывая повреждения. Поэтому очистка промышленных вод от радионуклидов крайне важна. Для этого широко применяют сорбционные методы [3-8].

Для удаления радионуклидов из сточных вод применяют следующие основные методы: термические, сорбционные и мембранные. Наиболее широко используются сорбционные методы, основанные на поглощении радионуклидов твердыми веществами (сорбентами). В атомной промышленности в качестве сорбентов часто применяют ионообменные смолы – органические полимеры, способные к ионному обмену и обладающие специфическими свойствами. В России для очистки сточных вод от радионуклидов традиционно используются катиониты (например, КУ-2, КУ-2-8) и аниониты (например, АВ-17-8, АН-31 и АН-2ФН) [9-10].

В качестве объектов исследования были использованы ионообменные смолы катиониты марки КУ-2-8 и аниониты марки АВ-17-8.

Целью данного исследования являлось изучение адсорбции компонентов водных растворов на поверхности твердого материала. Термодинамический анализ адсорбционных процессов проводился с использованием подхода Гиббса [11]. Для количественного определения адсорбции и десорбции применялся спектрофотометрический метод на приборе КФК-3. Метиленовый голубой ($C_{16}H_{18}N_3SCl$, $M = 319,85$ г/моль) был выбран в качестве модельного адсорбата для изучения адсорбционных процессов. Для приготовления калибровочных растворов навеска красителя (0,25 г) растворялась в 500 мл дистиллированной воды, что приводило к получению исходного раствора с концентрацией 0,0016 моль/л (0,0005 мг/л). Затем, путем последовательных разбавлений, были получены растворы с концентрациями в диапазоне $3 \cdot 10^{-5} - 22,5 \cdot 10^{-5}$ мг/л.

Изотермы адсорбции и десорбции метиленового голубого на исследуемых адсорбентах представлены на рис. 1-2.

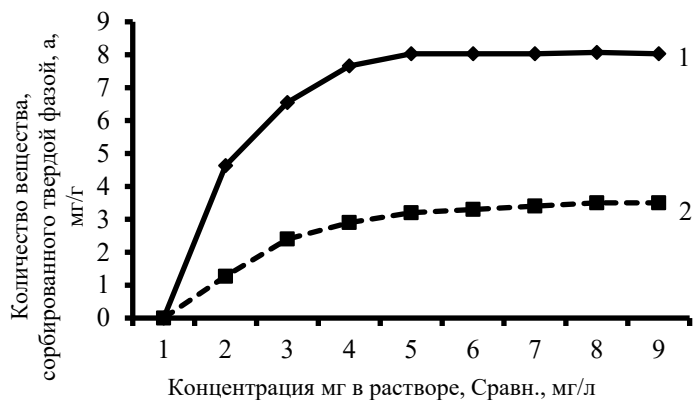


Рис.1 Изотермы адсорбции (1) и десорбции (2) метиленового голубого на поверхности анионита АВ-17-8

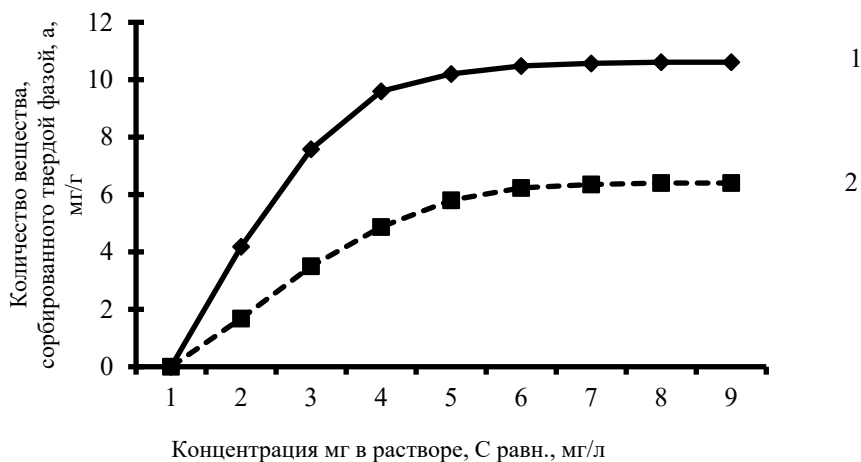


Рис. 2 Изотермы адсорбции (1) и десорбции (2) метиленового голубого на поверхности катионита КУ-2-8

Значение (наибольшее) сорбционной емкости исследуемых сорбентов представлено в таблице

Таблица – Сорбционная емкость исследуемых сорбентов

№ п/п	Сорбенты	Сорбционная емкость, Е, мг/г
1.	Катионит КУ-2-8	9,2
2.	Анионит АВ-17-8	8,6

Анализ сорбционных характеристик катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 показал, что КУ-2-8 эффективнее поглощает вещества. Это позволяет рекомендовать его для очистки промышленных стоков от радиоактивных элементов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Е. В. Егоров, Ионный обмен в радиохимии / Е. В. Егоров, С. Б. Макарова — Москва: Атомиздат, 1971 — 406 с.
2. Вдовенко В.М. Современная радиохимия/ Вдовенко В.М. — Москва: Атомиздат, 1969. — 543 с.
3. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. — Л.: Химия, 1982. — 168 с.
4. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер. с англ./ Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. — М.: Мир, 2006. — 480 с.
5. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод // А.М. Когановский. — Киев: Наукова думка, 1983. — 240 с.
6. Василенко Т.А. Получение сорбентов углеродсодержащего сырья для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Т.А. Василенко, С.В. Свергузова, Ю.С. Чернышева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2006. — № 13. — С. 114-118.
7. Денисова Л.В. Свойства шунгита как природного сорбента для очистки промышленных вод от радионуклидов / Л. В. Денисова, И.К. Бабенко // Сборник докладов II Международной научно-технической конференции БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2016. С. 308-312.
8. Пыкин А.А. К вопросу о повышении свойств мелкозернистого бетона микро и нанодисперсными добавками на основе шунгита / А.А. Пыкин, Н.П. Лукутцова, Г.В. Костюченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2011. - N 2. — С. 16-20.
9. Кузнецов, Ю.В. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. / Кузнецов, Ю.В., Щебетковский, Е.Н., Трусов, А.Г. — Москва: Атомиздат, 1974 — 293 с.
10. Никифоров, А.С. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов / Никифоров, А.С., Куличенко, В.В., Жихарев, М.И. — Москва Энергоато; 1985, — 190 с.

11. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С.Грег, К. Синг. — М.: Мир — 1984. — 310 с.

УДК 697.922.566

Савенко Г.А.

Научный руководитель: Бусахин А.В., канд. техн. наук, доц.

Московский государственный строительный университет,

г. Москва, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ: ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Строительная отрасль и сопутствующие ей дисциплины незамедлительно растут и развиваются с каждым днем. Усложнение архитектурных комплексов, повышение этажности возводимых объектов и активный рост качества предлагаемых инженерных решений отечественных производителей напрямую влияет на образующиеся тенденции в области науки и техники.

Начиная с 1962 года, постепенно вводились требования по обеспечению пожарной безопасности зданий. Выпущенная документация разрабатывалась группами специалистов под научными институтами, которые проходили всевозможные этапы проверки, отработки и апробации принятых решений на действующих объектах.

Существующая динамика развития отрасли над оборотом нормативно-технической документации, под эгидой соответствующих ведомств, приводит к стагнации некоторых аспектов по обеспечению требуемых положений и параметров из-за нехватки соответствующего времени на обработку столь объемной обратной связи по различным реализованным решениям согласно нормативной документации.

Этот вопрос касается темы, которую авторы хотят обсудить в рамках изложенного материала. Согласно разделению регулирующих органов в строительстве, объем основных элементов внутренних инженерных коммуникаций относится к развитию требований согласно ФЗ-№384 [1]. В комплекс мероприятий, которые данные системы обеспечивают согласно развитию требований ФЗ-№123 [2], также относятся системы противопожарной защиты. Выделяют системы противодымной вентиляции, пожаротушения, пожарной автоматики и другие. При существующей системе документооборота с учетом описанной принадлежности, складывается сценарий, при котором специалисты Министерства Чрезвычайных Ситуаций регулируют и

вводят требования по параметрам работы систем внутренних инженерных коммуникаций для специалистов Министерства Строительства и ЖКХ. Работа ведется в обе стороны, но интенсивность развиваемых решений не успевает отразить реальную картинку режима работы и функционирования объекта за короткий эксплуатационный период, поскольку для следующей группы объектов вводятся уже новые требования, зачастую отличные от предыдущих.

Рассматривая конкретный пример, следует обратиться к составу требований СП 7.13130.2013 [3], который регулирует организацию работы систем противодымной вентиляции в здании, в частности систему приточной противодымной вентиляции в тамбур-шлюз.

При организации данной системы инженер руководствуется двумя основными требованиями:

- при открытой эвакуационной двери тамбур-шлюза обеспечить среднюю скорость воздуха в проеме не менее чем 1,3 м/с;
- при закрытой эвакуационной двери тамбур-шлюза обеспечить допустимый перепад давления от 20 до 150 Па.

С первым пунктом все линейно и понятно. Используя формулу (1) можно рассчитать через живое сечения указанной двери требуемое количество объемного расхода для поддержания нормируемой средней скорости в открытом полотне двери.

$$L_{\text{тш}}^{\text{од}} = V_{\text{тш}} \cdot B_{\text{тш}} \cdot H_{\text{тш}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{тш}}$ – скорость воздуха в открытом дверном проеме для тамбур-шлюзов принимается равной 1,3 м/с;

$B_{\text{тш}}$ – ширина дверного проема тамбур-шлюза, м;

$H_{\text{тш}}$ – высота дверного проема тамбур-шлюза, м.

Второе требование, как показала практика, выполнить значительно сложнее. В составе СП 60.13330.2020 [4], начиная с 2020 года, вводятся пункты о необходимости применения устройства, которое препятствует накоплению предельно допустимого давления внутри тамбур-шлюза при постоянном нагнетании воздуха. Клапан избыточного давления – это один из существующих инструментов, который может использовать инженер-проектировщик при организации режима работы системы приточной противодымной вентиляции в тамбур-шлюзе. В зданиях, для которых предел пожарного отсека ограничивается 10 этажами, установка такого клапана стало почти единственным решением, но отсутствующий метод подбора, настройки и наладки данного клапана на возводимых объектах стало причиной превышения допустимого перепада давления даже с учетом установленного устройства сброса.

Это происходит непосредственно потому, что введенные требования базировались на опыте, полученном на одной из предыдущих итераций ввода объектов в эксплуатацию, а применение того же решения на более высокие здания не исправило эту проблему.

Для решения поставленной задачи требовался комплексный научно-технический подход, в совокупности с обработкой данным об эксплуатации существующих систем. В рамках разработки методов для обеспечения безопасности при эвакуации людей с этажа пожара, были достигнуты существенные результаты, подверженные данными предварительного моделирования и эмпирическими значениями, полученными с натурных испытаний. Но ничего не могло бы получиться, без совместной работы специалистов как стороны научного сообщества, так и технических представителей отрасли. Заложенные в объем разработанной кандидатской диссертации решения по данной теме позволят внести изменения в требования действующей нормативной документации, поскольку предлагаемые способы и методы, в частности благодаря МНТК им В.Г. Шухова, позволяет провести широкое апробацию среди специалистов и на основе полученной информации решить проблему на несколько итераций вносимых изменений вперед, чтобы обеспечить пользователям здания безопасное пребывание в здании. Разработка нормативно-технической документации по вопросам работы систем внутренних инженерных коммуникаций, должна вестись коллегиально с представителями соответствующих министерств. Наука и техника могут дать решения на большой период времени и это одна из главных задач, которая стоит перед современным строительством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон Российской Федерации «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» с изменениями (от 8 августа 2024 года №384-ФЗ). [Электронный ресурс]: сайт правовой системы Консультант Плюс: <https://www.consultant.ru/>.

2. Федеральный закон Российской Федерации «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» с изменениями (от 25 декабря 2023 года №123-ФЗ). [Электронный ресурс]: сайт правовой системы Консультант Плюс: <https://www.consultant.ru/>.

3. СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» с Изменением №1,2 и 3 (от 27 марта 2025 года). [Электронный ресурс]: сайт правовой системы Консультант Плюс: <https://www.consultant.ru/>.

4. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003» с Изменением №1,2,3 и 4 (от 30 сентября 2024 года). [Электронный ресурс]: сайт правовой системы Консультант Плюс: <https://www.consultant.ru/>.

УДК 543.57; 546.28; 543.572.3

*Синебок Д.А., Пушкарская Д.В., Сильченко Д.В.
Научный руководитель: Городов А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ИЗ ПОЛИЭТИЛГИДРОСИЛОКСАНОВОГО ОЛИГОМЕРА

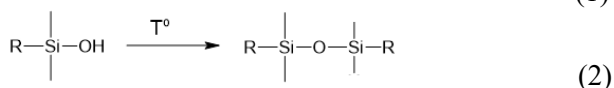
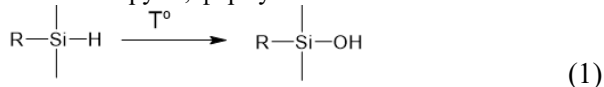
Кристаллический кремний применяется в производстве сенсоров, кремниевых композитов (для улучшения их механических, электрических или теплопроводящих свойств композиционных материалов), в технологиях нанесения покрытий (нанесение кристаллического кремниевых порошка на поверхность материалов для образования твердого, износостойкого, коррозионностойкого покрытия), в порошковой металлургии, в качестве катализаторов для химической промышленности. Для получения кристаллического кремния применяются методы твердофазной кристаллизации [1], лазерно-индуцированная кристаллизация [2], а также химическое осаждение. Тем не менее, в большинстве случаев кристаллический кремний образуется при повышенных температурах.

В связи с этим работы по совершенствованию процессов получения кристаллического кремния, разработке низкотемпературных способов получения кристаллического кремния, повышению его чистоты и достижению заданных технологических характеристик являются весьма актуальными.

В данном исследовании, был выбран способ получения кристаллического кремния металл-индуцированной кристаллизацией, в процессе которой для понижения температуры образования кристаллических зерен применяются металлы, например, Al [3,4].

Для создания модифицированного порошка использовали полиэтилгидросилоксановый олигомер (жидкость) ГКЖ 136-41 (ООО «ОПТОВЫЕ БАЗЫ») и алюминиевую пудру ПАП-2, представляющую собой тонко измельченные частицы алюминия пластинчатой формы, ГОСТ 5494-2022 «Пудра алюминиевая» (ООО «НМК», Россия). Для

получения кремнеземсодержащей суспензии, в гидрофобизирующую кремнийорганическую жидкость добавляли 5 % Al пудры (процент рассчитывается на основе массы сухого продукта ГКЖ) и производили термообработку при температуре 250°C до получения порошка [5]. При нагревании полиэтилгидросилоксанового олигомера происходит окисление связей SiH кислородом воздуха с последующей конденсацией силанольных групп, формула 1 и 2:



Дифференциальный термический анализ был проведен на аппарате “NETZSCH STA 449F1” (NETZSCHGerätebau GmbH, Германия). Исследования проводились в тигле из Al₂O₃ с крышкой, в атмосфере аргона и кислорода, в температурном диапазоне 25–1200 °C. Скорость повышения температуры составила 10 °C/мин.

Методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа исследованы физико-химические особенности воздействия температуры на модифицированный порошок, содержащий 5% Al (рис.1)

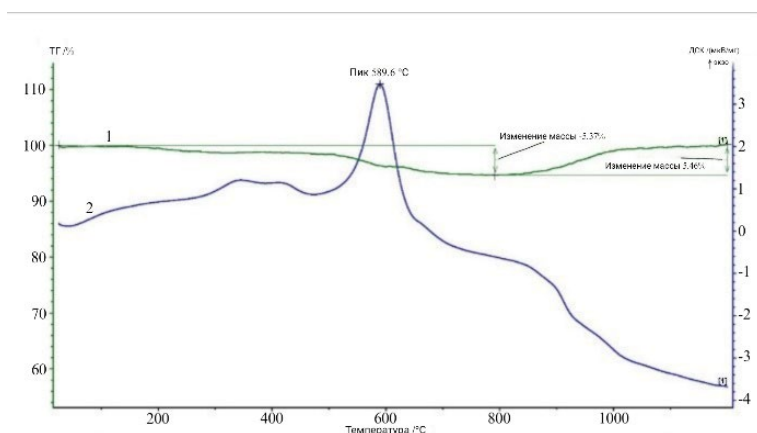


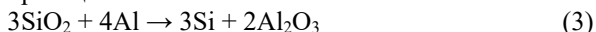
Рис.1. Кривые термического анализа модифицированного порошка, содержащего 5% Al: 1 – термогравиметрическая (ТГ) кривая; 2 – кривая дифференциально-термического анализа (ДТА)

Результаты исследования термического поведения

модифицированного порошка указывают на наличие нескольких термических эффектов, отражающих стадии физико-химических превращений в системе. На начальном этапе нагрева наблюдается незначительный эндотермический эффект с минимумом при 50°C.

При дальнейшем увеличении температуры дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) фиксирует отклонение термоаналитической кривой в сторону экзотермических процессов. Данный эффект может быть связан с различием в удельной теплопроводности исследуемого образца и эталона, обусловленным наличием алюминия, способствующего увеличению теплопроводности системы.

На термограмме регистрируются три экзотермических эффекта, соответствующие температурам 345°C, 427°C и 589°C. Пик при 345°C выражен слабо и, по всей видимости, связан с выгоранием остаточных органических соединений. Второй пик (427°C) также имеет невысокую интенсивность и может отражать формирование ограниченного количества доэвтектических α -твердых растворов кремнийсодержащей фазы в кристаллической структуре алюминия. Наиболее выраженный экзотермический эффект наблюдается в температурном диапазоне 510–625°C, достигая максимума при 589,6°C. Он соответствует образованию кремния и его растворению в алюминии. Образование кремния можно описать уравнением реакции 3:



Известно, что растворимость кремния в алюминии при эвтектической температуре (α +Si) 577°C является высокой, и при неравновесных условиях эвтектические образования могут возникать уже при содержании кремния выше 0,05 %. Учитывая температуру начала экзотермического эффекта (510 °C) можно отметить, что возникновение кристаллического кремния начинается до эвтектической температуры: в области твердофазных реакций.

При превышении температуры более 650°C термограмма демонстрирует переход ДСК-кривой в область эндотермических процессов. Это явление связано с теплопоглощением при плавлении алюминия ($T = 660^\circ\text{C}$), снижением удельной теплопроводности образца вследствие уменьшения количества металлического алюминия, разложением соединений с образованием оксидов, а также усадочными процессами, характерными для термоанализа.

Анализ кривой термогравиметрии (ТГ) подтверждает многоступенчатый характер термических превращений в алюминий-индуцированном порошке. Уменьшение массы на 5,37 % обусловлено выгоранием органических остатков и восстановлением кремния из

диоксида кремния (SiO_2). Напротив, после 800°C фиксируется увеличение массы на 5,46 %, что свидетельствует о процессе окисления и образовании оксидов.

В ходе исследования проведен комплексный термический анализ кремниевго порошка, содержащего 5 % Al. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) выявлены ключевые стадии термических превращений, включая эндотермические и экзотермические эффекты, а также изменение массы образца при нагревании.

Полученные результаты подтверждают, что металл-индуцированная кристаллизация алюминием является эффективным способом снижения температуры образования кристаллического кремния. Данные о термическом поведении кремниевго порошка, содержащего 5 % Al могут использоваться для оптимизации процессов получения кремнийсодержащих композитов, а также для разработки новых технологических решений в области порошковой металлургии и функциональных покрытий.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dhungana D. Solid phase crystallization of amorphous silicon at the two-dimensional limit/ D. Dhungana, E. Bonaventura, C. Martella, C. Grazianetti, A. Molle // *Nanoscale Adv.* — 2023. — Vol. 3. — pp. 668–674.
2. Farid N. Femtosecond laser-induced crystallization of amorphous silicon thin films under a thin molybdenum layer/ N. Farid A. Brunton, P. Rumsby, S. Monaghan, R. Duffy, P. Hurley, M. Wang, K.L. Choy, G.M. O'Connor. // *ACS Appl. Mater. Interfaces* — 2021. — Vol. 13. — pp. 37797–37808.
3. Лунев Н.А., Золотоиндуцированная кристаллизация тонких пленок аморфного субоксида кремния / Н.А. Лунев, А.О. Замчий, Е.А. Баранов, И.Е. Меркулова, В.О. Константинов, И.В. Корольков, Е.А. Максимовский, В.А. Володин// *Письма в Журн. техн. физики.* — 2021. — Т. 47, № 14. — с. 35–38.
4. Soleimani-Amiri S. Low temperature nickel induced crystallization of amorphous silicon nanorods on silicon and glass substrates // *Mater. Int.* — 2020. — Vol. 2. — pp. 164–169.

5. Павленко В. И. Влияние температуры отжига порошка диоксида кремния на алюминий-индуцированную кристаллизацию поликристаллического кремния / В. И. Павленко, А. И. Городов, Н. И. Черкашина [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2023. – Т. 96, № 9. – С. 754-762.

УДК 577.1

Смирнов И.С., Санников М.В.

Научный руководитель: Лаврентьев Ф.В., мл. науч. сотр.

Национальный исследовательский университет ИТМО,

г. Санкт-Петербург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ METTL16 С ПРИРОДНЫМИ ФЛАВОНОИДАМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА

Посттранскрипционные модификации РНК являются важнейшими механизмами регуляции экспрессии генов в клетке. Одной из наиболее распространённых и значимых модификаций является N⁶-метиладенозин (m⁶A), регулирующий стабильность, трансляцию и сплайсинг мРНК [1]. В контексте современной молекулярной медицины особое внимание уделяется ферментам, участвующим в m⁶A-модификациях, и в частности – белку METTL16 [2].

Актуальность изучения METTL16 связана с его участием в ключевых клеточных процессах – от регуляции гомеостаза до патогенеза онкологических и нейродегенеративных заболеваний. Научный интерес вызывает возможность таргетного ингибирования METTL16 с помощью природных соединений, таких как флавоноиды. Применение вычислительных методов хемоинформатики и молекулярного докинга позволяет провести предварительный скрининг потенциальных ингибиторов и оценить их взаимодействие с белком *in silico* [3].

Метилтрансфераза METTL16 представляет собой фермент, вовлечённый в катализ метилирования аденозиновых остатков в РНК. В отличие от комплекса METTL3 и METTL14, METTL16 метилирует как мРНК, так и tРНК, участвует в регуляции сплайсинга и контроле синтеза S-аденозилметионина (SAM) – основного донора метильных групп в клетке. METTL16 влияет на экспрессию гена MAT2A, регулируя клеточный метаболизм [4].

Фермент узнаёт специфические мотивы, такие как GGAC, и обеспечивает стабильность мРНК, а также её трансляцию и

локализацию. Исследования показывают, что дисфункция METTL16 связана с раком, нейродегенеративными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Так, повышенная активность METTL16 способствует пролиферации раковых клеток за счёт стабилизации онкогенной мРНК [5].

Особое значение METTL16 приобретает в условиях клеточного стресса: фермент регулирует экспрессию генов, отвечающих за антиоксидантную защиту и репарацию ДНК. Влияние METTL16 распространяется на ключевые механизмы поддержания клеточной жизнеспособности – от старения до адаптации к гипоксии.

Потенциальное ингибирование METTL16 может иметь терапевтическое значение. Интерес представляют природные лиганды, способные селективно связываться с активным центром фермента. Среди них – флавоноиды, такие как гесперидин, кверцетин, рутин, изорамнетин и гиперозид. Эти соединения обладают антиоксидантными свойствами и ранее проявили активность в отношении других ферментов эпигенетической регуляции.

Использование молекулярного докинга позволяет смоделировать взаимодействие лигандов с METTL16, спрогнозировать энергию связывания и идентифицировать ключевые аминокислотные остатки, вовлечённые в формирование комплекса.

Для исследования использовалась кристаллическая структура белка METTL16 (PDB ID: 6B91), полученная из базы Protein Data Bank. Перед докингом структура была предварительно подготовлена: удалены вода, ионы, кофакторы и другие посторонние молекулы, добавлены атомы водорода и сохранена в формате PDBQT. Для определения потенциальных сайтов связывания были использованы два метода: геометрический анализ карманов с помощью CASTp и расчет фармакофорных характеристик карманов с помощью DoGSiteScorer. Оба подхода позволили идентифицировать участок с наибольшим объёмом и потенциалом связывания как основной активный центр.

В качестве потенциальных лигандов рассматривались пять природных флавоноидов: гесперидин, кверцетин, рутин, гиперозид и изорамнетин. Их 3D-структуры были загружены с базы PubChem и обработаны с помощью Open Babel: произведена конвертация в формат PDBQT и добавлены заряды. Докинг проводился с использованием AutoDock Vina. Центр области поиска был установлен в координатах $x = 0,0 \text{ \AA}$, $y = 25,0 \text{ \AA}$, $z = 135,0 \text{ \AA}$, размер сетки – $30 \times 30 \times 30 \text{ \AA}$. Визуализация докинг-позиций и анализ взаимодействий между лигандом и аминокислотными остатками METTL16 осуществлялся с использованием инструментов PyMOL и PoseView.

Анализ сайтов связывания показал наличие нескольких потенциальных карманов, среди которых наибольший был выбран как целевой для докинга. Его объём составил 1191 Å³, а площадь – 957 Å². Докинг всех пяти лигандов был успешно выполнен. Все соединения продемонстрировали устойчивое связывание в пределах активного центра METTL16.

Результаты проведённого исследования представлены в таблице.

Таблица 1 – результаты исследования

Лиганд	ΔG, ккал/моль
Рутин	-8,9
Гесперидин	-8,8
Изорамнетин	-8,6
Кверцетин	-8,5
Гиперозид	-7,7

Визуальный анализ продемонстрировал, что рутин и гесперидин образуют множественные водородные связи и участвуют в π–π и гидрофобных взаимодействиях с аминокислотными остатками, включая Asp, Ser, His и Phe. Лиганды точно укладываются в карман и плотно удерживаются за счёт множества слабых взаимодействий. У гиперозида наблюдается более поверхностное связывание, что может объяснять его меньшее сродство. Таким образом, рутин и гесперидин являются наиболее перспективными кандидатами с точки зрения связывающей активности.

Природные флавоноиды обладают способностью связываться с белком METTL16, формируя устойчивые комплексы в пределах активного центра. Среди исследованных соединений наибольшее сродство к белку показали рутин и гесперидин. Полученные данные подтверждают перспективность применения молекулярного докинга как метода предварительного скрининга потенциальных ингибиторов метилтрансфераз. Установленные взаимодействия позволяют рекомендовать рутин и гесперидин для дальнейшего экспериментального тестирования на предмет ингибирования METTL16. Дальнейшее развитие исследования может быть связано с проведением молекулярной динамики и тестированием производных этих соединений для повышения селективности и биодоступности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhao, B.S., et al. (2017). The m6A epitranscriptome: a new layer of gene regulation. *Nature Reviews Genetics*, 18(5), 275-286.

2. Liu, K., Zhang, Y., & Wang, H. (2020). The role of METTL16 in RNA methylation and its implications in diseases. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(5), 355-367.

3. Zhang, C., et al. (2020). RNA methylation and its implications in human diseases. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(10), 615-634.

4. Jenuwein, T., & Allis, C.D. (2001). Transcriptional regulation by histone methylation. *Nature*, 409(6819), 1245-1249.

5. Zhang, S., et al. (2020). METTL16 is a novel prognostic biomarker for lung adenocarcinoma and is associated with immune infiltration and tumor microenvironment characteristics. *Frontiers in Genetics*, 11, Article 610.

УДК 541.49

Смирнов И.С., Санников М.В.

Научный руководитель: Лаврентьев Ф.В., мл. науч. сотр.

Национальный исследовательский университет,

г. Санкт-Петербург, Россия

КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИЗА ЛАКТАТА ЖЕЛЕЗА (III)

Лактат железа (III) является важным координационным соединением, обладающим широким спектром применения в биохимии и аналитической химии [1]. Однако его устойчивость в водных растворах существенно ограничена вследствие склонности к гидролизу. Понимание механизмов и термодинамических аспектов гидролиза таких комплексов имеет ключевое значение для их применения в промышленности, медицине и при разработке новых аналитических методик. Гидролиз железосодержащих комплексов, таких как лактат железа (III), приводит к образованию аквакомплексов и гидроксокомплексов железа [2]. Эти процессы могут влиять на реакционную способность соединения и его стабильность в растворе. Использование квантовохимических методов, таких как теория функционала плотности (DFT), позволяет провести детальный анализ механизма гидролиза и выявить наиболее термодинамически выгодные модификации гидролизованых продуктов [3]. Целью данной работы является исследование гидролиза лактата железа (III) в водной среде с помощью методов квантовохимических расчётов, включая определение термодинамических параметров реакции и характеристику образующихся аквакомплексов.

Для исследования использовался метод DFT с функционалом

B3LYP и базисом def2-SVP, который обеспечивает точные расчёты для молекулярных систем. Влияние растворителя моделировалось с помощью континуумной поляризованной модельной среды (CPCM). Моделировались реакции гидролиза лактата железа (III) при различных температурах (от 15°C до 37°C), в ходе которых ионы железа (III) последовательно теряли молекулы молочной кислоты и приобретали гидроксильные группы. Рассматривались несколько модификаций гидролизированных продуктов: с одной (рис. 1, молекулы 1–2) и двумя (рис. 1, молекулы 3–5) гидроксильными группами, координированными как в аксиальном, так и в экваториальном положении. Для каждого продукта были рассчитаны энергии Гиббса и константы гидролиза.

Результаты. Гидролиз лактата железа (III) начинается с замещения молекул молочной кислоты на гидроксильные группы, что приводит к образованию аквакомплексов. Квантовохимические расчёты показали, что на первой стадии гидролиза, при образовании основного пентааквакомплекса $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$, более стабильной является конфигурация с гидроксильной группой в аксиальном положении, что объясняется более равномерным распределением электронной плотности. На второй стадии гидролиза, когда образуется двухосновный тетрааквакомплекс $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$, наибольшую стабильность демонстрирует структура, в которой одна гидроксильная группа занимает экваториальное, а другая – аксиальное положение. Эта модификация обладает минимальной энергией Гиббса, что свидетельствует о её преимущественном образовании. Термодинамические расчёты показали, что гидролиз лактата железа (III) является энергетически выгодным процессом. Константы гидролиза увеличиваются по мере замещения молекул молочной кислоты на гидроксильные группы, указывая на смещение равновесия в сторону гидроксокомплексов. Повышение температуры способствует ускорению гидролиза, делая процесс более благоприятным с точки зрения термодинамики.

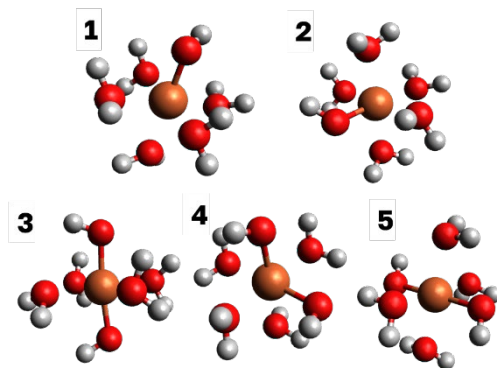


Рис. 1: пространственное расположение исследуемых молекул

Квантовохимическое исследование гидролиза лактата железа (III) показало, что этот процесс приводит к образованию устойчивых аквакомплексов, наиболее стабильной из которых является модификация с одной гидроксильной группой в аксиальном положении. Результаты расчётов термодинамических параметров свидетельствуют о том, что гидролиз лактата железа (III) происходит легко при стандартных температурах, и его скорость возрастает при повышении температуры. Полученные данные могут быть полезны при разработке аналитических методик, включающих использование лактата железа (III), а также при создании новых биохимических сенсоров на основе этого комплекса. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение кинетических аспектов гидролиза и его влияния на каталитическую активность железосодержащих систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Radoń, Mariusz. (2019). Benchmarking quantum chemistry methods for spin–state energetics of iron complexes against quantitative experimental data. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 21.
2. James R. Rustad, Benjamin P. Hay, J. W. Halley; Molecular dynamics simulation of iron(III) and its hydrolysis products in aqueous solution. *J. Chem. Phys.* 1 January 1995; 102 (1): 427–431
3. Nakaya, Manabu & Ohtani, Ryo & Lindoy, Leonard & Hayami, Shinya. (2020). Light-induced excited spin state trapping in iron(III) complexes. *Inorganic Chemistry Frontiers*. 8.

Смирнов И.С., Санников М.В.

Научный руководитель: Лаврентьев Ф.В., мл. науч. сотр.

Национальный исследовательский университет ИТМО,

г. Санкт-Петербург, Россия

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CRYOPROTECTION OF A BACTERIAL CONSORTIUM USING DIFFERENT CRYOPROTECTANTS

The article investigates the effectiveness of various cryoprotectants for the cryopreservation of a bacterial consortium. Cell viability after cryopreservation was assessed using the Koch method. The survival of bacterial strains with different cryoprotectants was compared.

Cryopreservation is a key method for long-term storage of microorganisms, particularly valued in food biotechnology for preserving probiotic and industrially important strains. However, low temperatures may cause damage to cellular structures, reducing culture viability. Two main types of cryoprotectants are used to protect cells – penetrating and non-penetrating – each acting through different mechanisms. Their effectiveness depends on the microorganism species and the concentration used, requiring an individual approach to selecting optimal conditions.

Bacillus coagulans and *Lactococcus lactis* strains are widely used in the production of functional foods and starter cultures, owing to their high biological activity and technological resilience. Determining the optimal conditions for their cryoprotection enhances culture preservation during freezing.

This study aims to provide a comparative evaluation of the effectiveness of different cryoprotectants in preserving the viability of a bacterial consortium composed of *Bacillus coagulans* MTCC 5856, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 335, and *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* 4.

Three microbial strains were used: *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* 4 (from the Russian National Collection of Industrial Microorganisms, VKPM, Kurchatov Institute, reg. no. B-3392), *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 335 (VKPM, reg. no. B-1988), and *Bacillus coagulans* MTCC 5856, isolated from the LactoSpore® product (Sabinsa Corporation, USA). To assess cryoprotection efficiency, the strains were frozen at $-80 \pm 5^\circ\text{C}$ for 72 hours with added cryoprotectants – sucrose and dimethyl sulfoxide (DMSO) – at concentrations of 5%, 10%, and 15%. After thawing, cell

viability was determined by the Koch method using the following formula:

$$\frac{N}{N_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

where N is the number of colony-forming units (CFU) after cryopreservation and N_0 is the number of CFU before cryopreservation.

The study results are presented in Table 1. Analysis revealed that bacterial survival after cryopreservation varied depending on the cryoprotectant type and concentration. For *Bacillus coagulans* MTCC 5856, the highest survival rate (94.67%) was observed with 5% DMSO. Overall, the viability of this strain remained consistently high regardless of sucrose or DMSO concentration, indicating strong resistance to cryopreservation conditions. In contrast, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* 4 showed the highest viability (93.69%) with 10% sucrose. The use of DMSO did not yield significant positive effects for this strain, with viability remaining around 82% across all concentrations, suggesting that sucrose is a more effective cryoprotectant in this case. Similarly, for *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 335, the best outcome (95.13%) was obtained with 10% sucrose, while DMSO showed lower effectiveness, especially at 15% (80.43%), possibly indicating cytotoxicity at higher concentrations.

Table 1 – Viability percentage after cryopreservation

Bacterial culture	Cryoprotectant concentration	Viability with sucrose	Viability with DMSO
<i>Bacillus coagulans</i> MTCC 5856	5%	91.22%	94.67%
	10%	91.74%	94.13%
	15%	91.43%	92.85%
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> 4	5%	86.58%	81.97%
	10%	93.69%	82.39%
	15%	87.75%	82.14%
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> 335	5%	82.01%	83.09%
	10%	95.13%	91.23%
	15%	85.50%	80.43%

These findings demonstrate that 10% sucrose was the most effective cryoprotectant in most cases. The strongest positive effect of sucrose was observed for the *Lactococcus lactis* strains, while *Bacillus coagulans* showed consistently high viability with both cryoprotectants. The study concludes that cryoprotectant type and concentration significantly affect microorganism survival after cryopreservation. The most stable survival rates were observed for *Bacillus coagulans* MTCC 5856, regardless of cryoprotectant type or concentration. For *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* 4 and *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 335, the best results were obtained with 10% sucrose,

indicating its high effectiveness. DMSO demonstrated lower effectiveness and potential toxicity at higher concentrations for some strains. Therefore, 10% sucrose may be considered a preferred cryoprotectant for preserving the viability of this microbial consortium.

BIBLIOGRAPHY

1. Carvalho A. S., Silva J., Ho P., Teixeira P., Malcata F. X., Gibbs P. Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria // *International Dairy Journal*. 2004. Vol. 14, No. 10. P. 835–847.
2. Gänzle M. G. Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage // *Current Opinion in Food Science*. 2015. Vol. 2. P. 106–117.
3. Majeed, M., Nagabhushanam, K., Natarajan, S. et al. *Bacillus coagulans* MTCC 5856 supplementation in the management of diarrhea predominant Irritable Bowel Syndrome: a double blind randomized placebo controlled pilot clinical study. *Nutr J* 15, 21 (2015).
4. Hyronimus B., Le Marrec C., Hadj Sassi A., Deschamps A. Acid and bile tolerance of spore-forming lactic acid bacteria // *International Journal of Food Microbiology*. 2000. Vol. 61, No. 2–3. P. 193–197.
5. Mazur P. Principles of cryobiology // In: Fuller B. J., Lane N., Benson E. E. (Eds.) *Life in the Frozen State*. Boca Raton: CRC Press, 2004. P. 3–65.

УДК 004.8, 342.4

Снустикова Е.В.

Научный руководитель Тимошук К.И. канд. физ.-мат. наук.
Университета прокуратуры Российской Федерации
г. Санкт-Петербург, Россия

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И КОНСТИТУЦИЯ: ПРАВОВОЙ СТАТУС ТЕХНОЛОГИЙ И ГРАНИЦЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В современных реалиях, где область цифровых открытий прогрессирует ежедневно, все большую популярность набирают технологии искусственного интеллекта (далее - ИИ). Благодаря новым цифровым разработкам, перспективным направлением которых является искусственный интеллект, активно развивается индустрия информационных технологий, осуществляется переход к цифровой экономике, применение искусственного интеллекта в медицине, образовании и других видах деятельности. Однако, с внедрением

инноваций практически во все сферы жизни общества возникают и новые вызовы, касающиеся правового статуса ИИ и системы его правового регулирования.

Официального определения искусственного интеллекта в нормативных источниках на данный момент нет. Даже в Конституции РФ после поправок 2020 года не закреплена дефиниция технологий ИИ[3]. Вопрос о том, что представляет собой данная разработка, является дискуссионным, так же, как и вопрос о ее правовом положении. Мнения ученых расходятся: одна группа специалистов считает, что искусственный интеллект – это метод регулирования компьютерных технологий¹, другая говорит о том, что это самоорганизующаяся система²[4]. Именно поэтому данная научная категория остается спорной для науки. Однако, в Национальной стратегии развития ИИ до 2030 г., утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года, приводится конкретное определение. Согласно статье 5 вышеупомянутого документа, искусственный интеллект — это «совокупность технологических решений, способных имитировать когнитивные функции человека и достигать результатов, как минимум сопоставимых с человеческим интеллектом, что также включает в себя способность к самообучению и поиску решений без заранее заданных алгоритмов»³. Из-за сложностей с толкованием термина ИИ, возникают проблемы юридического характера, связанные с определением правового статуса технологий. Вопрос заключается в том, каким образом они должны вписываться в существующую систему права и как должно осуществляться регулирование их функционирования. Одни специалисты предлагают наделить ИИ статусом физического лица со всеми характерными для него правами и обязанностями, в ответ на это другие ученые предлагают для цифровых технологий статус юридического лица соответственно, однако в данной проблеме предлагается и третье решение, которое заключается в том, чтобы

¹ Осипов Г.С. Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее/[Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49858109_57207925.pdf

² Морхат П.М. Право и искусственный интеллект: Тезаурус / ООО «Институт государственно-конфессиональных отношений права». - М.: Буки Веди, 2019. - С. 5-6

³ Указ Президента РФ от 10.10.2019 №490 (ред. от 15.02.2024) О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации (вместе с "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года")

регулировать робототехнику как и статус животных[2]. Считается, что в настоящий момент наиболее приемлемый вариант - наделить ИИ статусом юридического лица и регулировать его в правоотношениях соответственно. Однако, данный аспект в юридической науке в ближайшее время останется дискуссионным как и система регулирования новых технологий.

Технологии ИИ быстро расширяют свой спектр применения: создание лекарств в медицине, беспилотные автомобили, домашний помощник, педагогика, криминалистика, машинный перевод, финансовые модели и т.д. По мере того, как технологии ИИ продолжают развиваться, растут и опасения по поводу юридических последствий их использования. Это связано с тем, что системы ИИ обладают определенной автономией в выполнении задач и не могут напрямую воспринимать или учитывать этические и правовые нормы при выполнении операций. Регулирование искусственного интеллекта должно учитывать баланс между свободой инноваций и необходимостью защиты общественных и государственных интересов. Кроме того, одним из значимых пробелов в регламентации ИИ является отсутствие в нормативных источниках положений, прямо регулирующих юридические аспекты ответственности за убытки, причиненные ИИ. Это создает неурегулированный участок в правовой

системе, поскольку ИИ получает все большее распространение в различных отраслях и его использование может повлечь вредные последствия. Это же создает такие трудности как назначение ответственности за действия ИИ. Вопрос о том, кто должен отвечать за работу технологий: разработчик системы, ее владелец или сам алгоритм, остается открытым[1]. Однако это не единственная проблема, вызванная отсутствием возможности правового регулирования искусственного интеллекта. Существует ряд угроз, связанных с отсутствием правового регулирования ИИ. Например, неконтролируемый искусственный интеллект ставит под угрозу несоблюдение основных прав и свобод человека и гражданина, а вместе с этим опасность представляется и для конституционного строя государства. Следует упомянуть защиту личных данных, неприкосновенность частной жизни, человеческое достоинство, безопасность которых может быть нарушена в связи с внедрением нерегулируемых компьютерных технологий в сферу защиты прав в юриспруденции. Кроме того, может возникнуть угроза национальной безопасности, государственной тайны. Развитие ИИ может привести к созданию автономных систем оружия, которые могут принимать решения без участия человека, что увеличивает риск

неконтролируемого применения силы в военных конфликтах. Таким образом, анализ внедрения ИИ в правовую систему российского законодательства показывает необходимость создания нормативно-правовых актов, способных регулировать степень влияния ИИ на государственные дела, определить статус и правовое положение ИИ, обеспечить контроль его функционирования, а также гарантировать защиту конституционных прав и свобод граждан от угроз, вызванных ИИ.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что в контексте активной информатизации необходимо создание гибкой правовой системы, которая может эффективно регулировать искусственный интеллект и обеспечивать защиту конституционных прав человека и гражданина. Искусственный интеллект - мощный инструмент, способный помочь в решении проблем разных сфер жизни, однако вместе с этим он ставит перед обществом и государством важные правовые и этические вызовы. Для эффективного управления рисками и максимизации преимущества от внедрения новых технологий есть необходимость в разработке сбалансированной нормативной базы. Для осуществления поставленных целей следует обеспечить взаимодействие между правозащитниками, разработчиками технологий и государственными органами для формирования подхода к правовому регулированию ИИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Апостолова Н. Н. Ответственность за вред, причиненный искусственным интеллектом// Северо-Кавказский юридический вестник. — 2021. — № 1. — С. 112–119.
2. Афанасьевская А. В. Правовой статус искусственного интеллекта // Вестник Саратовской государственной юридической академии. - 2021. - №4(141). - С. 88-92.
3. Апостолова Н. Н. Ответственность за вред, причиненный искусственным интеллектом// Северо-Кавказский юридический вестник. — 2021. — № 1. — С. 112–119.

Ступицкий А.В., Шарипов Р.Р.
Научный руководитель: Хакимуллина Л.Ш., канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

ВЛИЯНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СИЛ НА КРИТИЧЕСКУЮ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ (ГТУ)

Современные газотурбинные установки представляют собой сложные механические системы, работающие в условиях экстремальных скоростей вращения и температур. Одной из ключевых проблем при проектировании и эксплуатации ГТУ является обеспечение устойчивости ротора при прохождении критических скоростей. В отличие от идеализированных теоретических моделей, реальные роторные системы подвержены действию различных диссипативных сил, которые существенно влияют на их динамическое поведение.

Диссипативные процессы в ГТУ носят комплексный характер и включают в себя несколько физических механизмов. К ним относятся: вязкое трение в подшипниках и уплотнениях, аэродинамические потери при взаимодействии ротора с рабочей средой, внутреннее трение в материалах конструкции. Эти процессы не только приводят к рассеянию энергии, но и модифицируют спектр собственных частот системы, что необходимо учитывать при определении критических режимов работы.

Физические основы диссипативных процессов в ГТУ

Газотурбинная установка представляет собой сложный механический агрегат, основными элементами которого являются:

- Компрессор, обеспечивающий сжатие поступающего воздуха
- Камера сгорания, где происходит смешение топлива с воздухом и его воспламенение
- Турбина, преобразующая тепловую энергию газов в механическую работу
- Роторная система, соединяющая все элементы в единую кинематическую цепь

Особое значение для динамики ГТУ имеет роторная система, которая включает в себя:

- Основной вал, передающий крутящий момент
- Диски турбины и компрессора с закреплёнными лопатками

- Опорные подшипники (обычно подшипники скольжения или качения)

- Уплотнительные устройства

Именно в этих элементах сосредоточены основные диссипативные процессы. В подшипниках возникает вязкое трение, зависящее от скорости вращения и свойств смазочного материала. В зазорах уплотнений наблюдаются сложные газодинамические эффекты, приводящие к дополнительным потерям энергии. Лопатки турбины и компрессора испытывают значительные аэродинамические нагрузки, которые также носят диссипативный характер.

Математическое описание динамики ротора

Динамическое поведение роторной системы с учётом диссипативных сил описывается дифференциальным уравнением:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m\Omega^2 e \cos(\Omega t) \quad (1)$$

где:

- m - эквивалентная масса ротора
- c - коэффициент демпфирования
- k - жёсткость роторной системы
- Ω - угловая скорость вращения
- e - эксцентриситет массы

Критическая скорость вращения, при которой возникает резонанс, определяется выражением:

$$\Omega_{cr} = \sqrt{(k/m - (c/(2m))^2)} \quad (2)$$

где:

- Ω_{cr} (или ω_{cr}) - угловая частота собственных затухающих колебаний системы (в радианах в секунду, рад/с).
- k - коэффициент жёсткости системы (в ньютонах на метр, Н/м).
- m - масса колеблющегося тела (в килограммах, кг).
- c - коэффициент демпфирования (вязкого трения) (в ньютон-секундах на метр, Н·с/м).

Из этой формулы видно, что демпфирование не только ограничивает амплитуду колебаний, но и снижает значение критической скорости.

Практические аспекты учета диссипативных сил

При проектировании и эксплуатации ГТУ учет диссипативных сил требует комплексного подхода. Ключевой задачей является точное определение демпфирующих характеристик, которые значительно зависят от температурного режима. Нагрев турбинной зоны изменяет вязкость смазочных материалов в подшипниках, непосредственно

влияя на коэффициент демпфирования, особенно в переходных режимах работы.

Нелинейность аэродинамических сил проявляется при высоких окружных скоростях, где линейные модели демпфирования дают значительные погрешности. Это требует применения методов вычислительной газовой динамики. Эксперименты подтверждают, что аэродинамическое демпфирование лопаток может изменяться в разы при смене рабочих режимов.

Проведённое исследование демонстрирует фундаментальную роль диссипативных сил в формировании динамического поведения роторных систем газотурбинных установок. Анализ физических механизмов диссипации энергии, включая вязкое трение в подшипниках, аэродинамическое сопротивление и внутренние потери в конструкционных материалах, позволяет по-новому взглянуть на проблему определения критических скоростей вращения.

Особое значение имеет комплексный характер диссипативных процессов в современных ГТУ, где одновременно действуют несколько механизмов рассеяния энергии с различными физическими природами и зависимостями от режимных параметров. Это требует разработки новых математических моделей, адекватно описывающих взаимное влияние различных типов демпфирования при переменных температурах и скоростях вращения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учебник. Изд. 21-е — М.: ЛЕНАНД, 2018
- 2. В. А. Марцинковский Динамика роторов / В. А. Марцинковский [Электронный ресурс] // CORE: [сайт]. — URL: <https://core.ac.uk>. (дата обращения: 22.05.2025)
- 3. Морозов В. М. Диссипативные силы / Морозов В. М. [Электронный ресурс] // Большая Российская энциклопедия: [сайт]. — URL: <https://bigenc.ru>. (дата обращения: 24.05.2025)
- 4. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов / Елисеев Ю. С., Манушин Э. А., Михальцев В. Е. [и др.]. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 638 с.
- 5. В. И. Антипов, д. т. н., профессор. А. А. Руин, аспирант, НГТУ. Динамика роторно-бегунковой системы с учетом линейного и нелинейного демпфирования [Текст] / В. И. Антипов, д. т. н., профессор.

А. А. Руин, аспирант, НГТУ. — . — 603600. Нижний Новгород, ул. Минина 24., 1997 — 572 с.

УДК 620.22

Ташкинов Н.С.

Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕНТГЕНОЛОГИИ

В настоящее время радиационно-защитные материалы широко используются во многих сферах деятельности человека: в атомной энергетике, медицине, строительстве, промышленности, космической сфере деятельности. Все эти направления требуют разработки и использования как простых, так и сложных композиционных радиационно-защитных материалов [1-20].

В медицине очень часто используется рентгеновское оборудование. Оно применяется для получения снимков костей, а также внутренних органов человека. Для этого используются рентгеновские аппараты. Принцип действия рентгеновского аппарата заключается в использовании рентгеновских лучей - излучения с короткими волнами, имеющими высокую проникающую способность [21].

Для защиты от излучения рентгеновских лучей используются специальные материалы, которые применяются в отделке помещений.

В рентгенологических кабинетах в качестве защитных материалов используют [22-23]:

- свинцовые листы — самый простой и самый эффективный материал для защиты от рентгеновского излучения, благодаря своей высокой плотности, он прекрасно экранирует персонал от рентгеновских лучей. Листы свинца толщиной от 1 до 3 мм устанавливаются на стены, полы и потолки рентгеновских кабинетов;

- баритовая штукатурка - сухая строительная смесь, предназначенная для защиты от гамма- и рентгеновского излучения, в ее состав входят портланд, либо магнезитовый цемент, мелкий сульфат бария (баритовый песок), полимеры и пластификаторы для придания пластичности готовой смеси. Экранирует излучение и используется для отделки стен и потолков кабинетов с рентген-оборудованием. Преимуществом баритовой штукатурки является ее относительно невысокая стоимость, способность экранировать разнообразные виды

искусственного излучения и обеспечивает абсолютную монолитность покрытия. Но основной элемент в ее составе достаточно токсичен, поэтому требуется соблюдать меры защиты, а также имеет большой удельный вес;

- рентгенозащитное стекло используется в оконных проемах рентгенологических кабинетов. Оно блокирует рентгеновские лучи, позволяя вести визуальный контроль за обследованием пациента. Чаще всего применяются стекла толщиной от 10 мм до 12 мм, как минимум на 60% состоит из оксидов ряда тяжёлых металлов, основным из которых является оксид свинца;

- рентгенозащитные панели - плиты, похожие на обычный гипсокартон. Содержат свинец или барит, бывают и комбинированные. Панели состоят из рентгенозащитного материала (листового свинца, барита или рентгенозащитной резины) и внешней облицовки (из стекломатного листа, HPL-пластика, МДФ, гипсокартона или других материалов). Просты в установке, можно делать в несколько слоев, обладают защитой от коррозии, гидроизоляцией, стойкостью к агрессивным веществам; в основном используются для отделки стен;

- рентгенозащитный напольный ровнитель - сухая смесь на основе цемента, в которую добавлен измельченный концентрат барита с радиозащитными свойствами. В состав также входят полимерные соединения, которые обеспечивают высокую прочность готового покрытия и повышают адгезию рабочего раствора к бетону. Способен задерживать гамма и близкое ему по спектру рентгеновское излучение. Водонепроницаем, долговечен, обладает прочностными характеристиками. Подходит для выравнивания горизонтальных поверхностей под любое покрытие: керамическая плитка, керамогранит, линолеум, паркет и т. д. Экологически безопасен;

- свинцовые двери;

- рентгенозащитные жалюзи - конструкция из вертикальных ламелей, которая защищает окна, двери и перегородки от рентгеновского излучения. Представляют собой резину, которая содержит свинцовый или баритовый наполнитель, обеспечивающий эффективное поглощение рентгеновского излучения. Обеспечивают двухстороннюю защиту: защищают помещение от внешних источников излучения и блокируют выход радиации из помещения наружу. С внешней стороны полотно пропитано составом с антибактериальными свойствами. Ламели изготовлены из цельного полотна, не имеют складок и заломов, разрывов.

Радиационно-защитные материалы играют важную роль в обеспечении безопасности персонала и пациентов в

рентгенологических кабинетах. Правильный выбор материалов, их толщина и грамотное проектирование защитных конструкций – залог минимизации риска облучения и соблюдения норм радиационной безопасности. Постоянный мониторинг состояния защитных средств и их своевременная замена также являются неотъемлемой частью обеспечения безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.
2. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.
3. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.
4. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.
5. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. Использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12.
6. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В.

И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.

7. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

8. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.

9. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлкомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

10. Ястребинский, Р. Н., Соколенко, И. В., Иваницкий, Д. А., Матюхин, П. В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

11. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

12. Matyukhin P.V. Inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.

13. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

14. Композиционный материал для радиационной защиты: пат. 2470395 Рос. Федерация № 2010152157/07; заявл. 20.12.2010; опубл. 20.12.2012

15. Матюхин, П. В., Бабенко, И. К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П. В. Матюхин, И. К. Бабенко [Текст] //

Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород:Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.

16. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

17. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород:сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

18. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

19. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod:Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

20. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

21. Безопасность рентгеновских аппаратов: дозы и допустимая лучевая нагрузка / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://els-med.ru>.

22. Кимель Л.Р., Машкович В.П.. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 2-е изд. // М.: Атомиздат. 1972. 312 с.

23. Андрианов А.Ю., Белоус В.А. Ослабление гамма-излучения многослойными полимерными дисперсно-наполненными структурами // Вопросы атомной науки и техники, 2010. №5. 75 с.

*Чуриков А. С., Прохоренков Д. С., Питинова Д. С.
Научный руководитель: Сирота В. В., канд. физ-мат. наук
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CFD МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Детонационное напыление — это перспективный метод нанесения покрытий, основанный на использовании энергии управляемого взрыва газовой смеси для ускорения частиц порошкового материала до сверхзвуковых скоростей. При столкновении с подложкой частицы деформируются, образуя плотное, высокопрочное покрытие с высокой адгезией. Этот процесс отличается от традиционных методов термического напыления, таких как плазменное или HVOF-напыление, поскольку позволяет достигать более высоких температур и скоростей частиц, что обеспечивает уникальные свойства получаемых покрытий [1-3].

CFD (Computational Fluid Dynamics) моделирование играет ключевую роль в оптимизации процесса детонационного напыления, позволяя детально анализировать газодинамические параметры, распределение температур и скоростей частиц, а также взаимодействие ударных волн с материалом. Использование численных методов дает возможность сократить количество дорогостоящих экспериментов, предсказывать характеристики покрытий и подбирать оптимальные режимы напыления для различных материалов.

Основными преимуществами детонационного напыления являются возможность нанесения тугоплавких и композиционных материалов, высокая плотность и адгезия покрытий, а также минимальное тепловое воздействие на подложку, что исключает ее деформацию. Благодаря этим особенностям метод находит применение в аэрокосмической отрасли, энергетике, медицине и других высокотехнологичных областях. CFD моделирование открывает новые возможности для дальнейшего совершенствования технологии, делая ее более эффективной и экономически выгодной. Таким образом, изучение перспектив использования численного моделирования в детонационном напылении представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Для успешного моделирования процесса детонационного напыления с помощью CFD необходимо комплексное применение

современных вычислительных методов, учитывающих многокомпонентность газовой среды, высокие скорости химических реакций и взаимодействие частиц с ударными волнами. Одним из ключевых подходов является использование уравнений Навье-Стокса, дополненных моделями горения и детонации, таких как модель ZND (Зельдовича – Неймана – Дёринга), которая позволяет описать структуру детонационной волны и параметры потока за фронтом. Для учета турбулентности применяются методы LES (Large Eddy Simulation) или RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes), обеспечивающие баланс между точностью и вычислительными затратами.

Важным этапом является моделирование движения и нагрева частиц порошка в газовом потоке, для чего используется метод дискретных частиц (DPM – Discrete Phase Model) или подход Лагранжа-Эйлера, позволяющий отслеживать траектории и фазовые превращения частиц. Для описания взаимодействия частиц с подложкой применяются методы механики сплошных сред, включая модели пластической деформации и адгезии. Кроме того, для повышения точности расчетов необходимо учитывать реальные термодинамические свойства газов и материалов, используя базы данных, такие как NIST или специализированные программные пакеты (ANSYS Fluent, OpenFOAM, COMSOL).

Оптимизация вычислительного процесса может быть достигнута за счет параллельных расчетов на высокопроизводительных кластерах, а также применения адаптивных сеток, позволяющих увеличивать разрешение в зонах высоких градиентов давления и температуры. Валидация моделей проводится путем сравнения с экспериментальными данными, полученными с помощью высокоскоростной съемки, пирометрии и других диагностических методов. Таким образом, сочетание современных численных методов, точных физических моделей и экспериментальной верификации позволяет эффективно решать задачу CFD моделирования детонационного напыления и прогнозировать свойства формируемых покрытий.

Совершенствование технологии детонационного напыления открывает новые горизонты в создании функциональных покрытий для экстремальных условий эксплуатации. Одним из наиболее значимых направлений становится разработка многослойных и градиентных покрытий, где каждый слой выполняет специфическую функцию – от термобарьера до антикоррозионной защиты. Традиционные экспериментальные методы подбора состава и параметров напыления

требуют значительных временных и финансовых затрат, в то время как CFD-моделирование позволяет виртуально тестировать сотни комбинаций материалов и режимов обработки за короткие сроки [4, 5]. Особый интерес представляет интеграция методов машинного обучения с CFD-расчетами, что даст возможность не только прогнозировать свойства покрытий, но и автоматически находить оптимальные параметры процесса на основе накопленных данных.

Еще одним перспективным направлением является применение детонационного напыления в аддитивных технологиях. Комбинирование этого метода с 3D-печатью позволяет создавать детали сложной геометрии с заданными локальными свойствами поверхности, что особенно востребовано в аэрокосмической и медицинской отраслях. Например, появляется возможность формировать биосовместимые покрытия на имплантатах с пористой структурой, способствующей остеоинтеграции, или наносить жаропрочные слои на лопатки газовых турбин с точным контролем толщины в разных зонах.

Развитие вычислительных мощностей и алгоритмов в ближайшие годы сделает возможным моделирование не только отдельных актов детонационного напыления, но и всего технологического цикла, включая подготовку поверхности, многопроходное нанесение и последующую обработку. Это позволит перейти от создания единичных покрытий к проектированию комплексных поверхностных систем с программируемыми характеристиками. Кроме того, появление новых моделей, учитывающих наноструктурирование материалов при ударе частиц, откроет пути к разработке покрытий с уникальными трибологическими и прочностными свойствами, недостижимыми при использовании традиционных технологий.

Особую актуальность приобретает экологический аспект технологии. CFD-моделирование позволяет минимизировать количество пробных экспериментов, сокращая расход материалов и выбросы в атмосферу. В перспективе это может привести к созданию "зеленых" установок детонационного напыления, работающих на альтернативных газовых смесях с пониженным углеродным следом. Таким образом, симбиоз передовых вычислительных методов и физических принципов детонационного напыления формирует новую парадигму в инженерии поверхности, которая будет определять развитие многих высокотехнологичных отраслей в ближайшие десятилетия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сирота В. В. Получение покрытий с высокой инфракрасной излучательной способностью / В. В. Сирота, С. В. Зайцев, М. В. Лимаренко, Д. С. Прохоренков, М. С. Лебедев, А. С. Чуриков, А. Л. Даньшин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 23-37. – DOI 10.17212/1994-6309-2024-26.2-23-37. – EDN HYMFHY.

2. Sirota V. V. Effect of powder morphology on the structure and properties of Al_2O_3 based coatings obtained by detonation spraying / V. V. Sirota, S. V. Zaitsev, M. V. Limarenko, D. S. Prokhorenkov, A. S. Churikov / Construction Materials and Products. – 2024. – Vol. 7, No. 5. – DOI 10.58224/2618-7183-2024-7-5-7. – EDN CJDCLA.

3. Sirota V. V. The effect of the introduction of B_4C on the adhesive and cohesive properties of self-fluxing coatings / V. V. Sirota, S. V. Zaitsev, M. V. Limarenko, A. S. CHURIKOV, D. S. PODGORNYYI // Construction Materials and Products. – 2024. – Vol. 7, No. 6. – DOI 10.58224/2618-7183-2024-7-6-5. – EDN CJHDDZ.

4. Rakhadilov B. Use of Computational Fluid Dynamics (CFD) Methods to Analyze Combustion Chamber Processes at HVOF Spraying and Their Comparison with Experimental Data / B. Rakhadilov, N. Muktanova, A. Kengesbekov // Modelling. – 2025. – Т. 6. – №. 1.

5. Jafari H., Emami S., Mahmoudi Y. Numerical investigation of dual-stage high velocity oxy-fuel (HVOF) thermal spray process: A study on nozzle geometrical parameters / Jafari H., Emami S., Mahmoudi Y. // Applied Thermal Engineering. – 2017. – Т. 111. – С. 745-758.

УДК 537.226

Шаговская В.С., Ахмедов Н.А., Титов В.А.

Научный руководитель: Гречухин А.В., канд. техн. наук

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

РАЗРАБОТКА ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ЭЛАСТОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОТВОДА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Отвод статического электричества с лабораторного и промышленного оборудования является необходимым для обеспечения безопасности и предотвращения негативных последствий, таких как, повреждение оборудования, получение травм персоналом и возникновение пожаров [1]. Для изготовления изделий, способных

отводить статическое электричество с оборудования необходимо применять электропроводящие материалы, разработка которых в настоящее время является актуальной задачей.

Цель данной работы заключалась в разработке эластомерного материала с низким электрическим сопротивлением для отвода статического электричества.

В качестве основы токопроводящего материала был выбран силоксановый каучук [2, 3], так как он содержит функциональные группы с кремнием и кислородом, которые образуют прочные связи между атомами, что делает его устойчивым к высоким температурам и обеспечивает хорошую электропроводность. В качестве наполнителя применяется рубленное углеродное волокно с длиной волокна 3 мм. Вулканизация резиновой смеси осуществляется при помощи пероксидов. Разработанные составы токопроводящего материала представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав образцов токопроводящего материала

№ образца	Матрица	Наполнитель			Вулканизатор	
1	Силоксановый каучук	96 %	Углеродное волокно 3 мм	2 %	Пероксид	2 %
2		94 %		4 %		
3		92 %		6 %		
4		90 %		8 %		

Для проведения испытаний разработанных составов токопроводящего материала были изготовлены опытные образцы. Технологический процесс получения опытного образца состоит из следующих операций:

1. Получение резиновой смеси. Компоненты токопроводящего материала загружаются на вальцы в следующей последовательности. Первым загружается силоксановый каучук и прокатывается на вальцах с зазором 0,5 мм при температуре 40-50 °С. Затем добавляется рубленное углеродное волокно, последним добавляется пероксид. Общее время перемешивания составляет 10 минут.

2. Прессование резиновой смеси. Подготовленная резиновая смесь загружается в пресс-форму и прессуется на пресс-вулканизаторе при температуре 250 °С в течение 15 минут.

Внешний вид полученных опытных образцов представлен на рисунке 1.

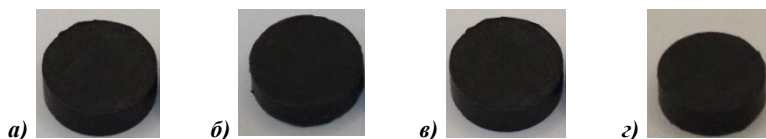


Рис. 1 Внешний вид опытных образцов:

а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3; г – образец № 4;

Для определения электрического сопротивления и твердости были проведены испытания полученных образцов.

Определение электрического сопротивления осуществлялось при помощи многофункционального прибора. Сущность способа заключалась в том, что образец устанавливался между двумя металлическими пластинами, на верхнюю пластину устанавливался груз весом 2 кг. Сопротивление образца замерялось щупами измерительного прибора, подведенными к верхней и нижней пластине. Для каждого состава принималось среднеарифметическое значение результатов, полученных на основании серии испытаний, состоящей из 3 экспериментов, проводимых на разных образцах.

Испытания на твердость проводились на приборе для определения твердости по Шору [4]. Значениями твердости по Шору являются показания шкалы, полученные в результате проникновения в материал определенного стального стержня.

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав образцов токопроводящего материала

№ образца	Твердость по Шору А	Электрическое сопротивление R, Ом
1	51	10 257
2	60	160
3	65	71
4	57	32

Результаты испытаний показали, что образец № 4 обладает наименьшим электрическим сопротивлением, при этом сохраняет определенные эластические свойства, вследствие чего является наиболее подходящим для изготовления изделий, предназначенных для отвода статического электричества с лабораторного и промышленного оборудования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № 125040404855-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. RU 62488 U1, Н 05 F 3/02, А 61 N 1/14. Устройство для снятия электростатического заряда / Гурылев А.С. - № 2006120809; заявл. 15.06.2006; опубл. 10.04.2007. – 24 с.

2. Пат. 401167 СССР, С 08 L 83/04, С 08 K 3/08, С 08 K 3/14. Электропроводящая резина / Поддубный И.Я., Аверьянова Л.А., Аверьянов С.В., Шейнин И.С., Чудакова Р.М., Ген М.Я., Платэ И.В., Федорова Е.А. - № 1619471; заявл. 12.02.1971; опубл. 07.09.1987, Бюл. № 33. – 4 с.

3. Пат. 1746405 СССР, Н 01 В 1/04. Токопроводящая резиновая смесь / Попов С.В., Радкевич Л.С., Самарай Л.И., Горбатенко В.И., Чубарь Т.В., Евтушенко Т.П.; заявитель и патентообладатель Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского - № 4853745/07; заявл. 24.07.1990; опубл. 07.07.1992, Бюл. № 25. – 4 с.

4. ГОСТ 24621-2015 «Пластмассы и эбонит. Определение твердости по Шору». Официальное издание – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

Оглавление

Баркова С.Н., Дугинова Е.Б.

ВЫЯВЛЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	3
---	---

Билоушенко И.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ СРЕДЫ PNETLAB ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА.....	8
--	---

Билько К.Е.

КАДАСТРОВЫЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРЕШЕНИИ ЗЕМЕЛЬНО- ИМУЩЕСТВЕННЫХ СПОРОВ.....	13
--	----

Брыкин Л.О, Афремов Л.Л.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА МЕТОДОМ СРЕДНЕГО СПИНА.....	21
---	----

Булгакова А.А., Посохова В.Ф., Вергейчик А.В.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИМЕРИЗАТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА.....	25
--	----

Вергейчик А.В., Педан Д.О., Клепикова М.А.

ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ КАК СВЯЗУЮЩИЙ КОМПОНЕНТ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	30
--	----

Воронова К.В.

СОСТАВ ФЛОРЫ СЕЛА СТАНИЧНОЕ АЛЕКСЕЕВСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	33
--	----

Галендухина А.А.

УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ	37
--	----

Галендухина А.А.

ВОВЛЕЧЁННОСТЬ СТУДЕНТОВ В АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА	40
---	----

Галимуллина И.И., Никулина Е.М.,	
МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ С МЕХАНИЗМОМ ПОЛИСПАСТ	44
Головин И.И.	
ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	48
Давыденко Т.С., Кудрявченко А.Т., Педан Д.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИУРЕТАН-ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	52
Иваненко Д.А., Тишанская В.А.	
БЕНЗОДИТИОФЕН-СОДЕРЖАЩИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ — КЛЮЧЕВОЙ КОМПОНЕНТ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	57
Игонин В.В., Журавлева Е.С.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ	61
Истратий И.И., Митина Д.А., Овсянников В.В.	
СОВРЕМЕННЫЕ РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	66
Истратий И.И., Крузин К.О., Петров И.С.	
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	71
Кечин Н.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ	76
Клепикова М.А., Вергейчик А.В., Педан Д.О.	
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ РЕЦЕПТУР ЧИСТЯЩИХ СРЕДСТВ	80

Кондратьева Е.В.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ
СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ И КЕРАМИКИ..... 84

Коншина А.А., Лемза Д.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕНДЕНЦИЙ В
РАЗРАБОТКЕ ВОДОМАТОВ: ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ
ФИЛЬТРАЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ..... 88

Кудрявченко А.Т., Архипов К.С., Вергейчик В.Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СТИРОЛ-ЭТИЛЕН-БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ,
НАПОЛНЕННЫХ МЕЛОМ 92

Логачев Я.А.

ГОЛОГРАММА. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБУЧЕНИЯ ПУТЕМ
ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 97

Луданов К.В.¹, Луданов Д.Р.²

БИОФИЗИЧЕСКИЙ (БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ) АНАЛИЗ
СЛЮНЫ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА 101

Лупандин А.В., Колесов С.Н., Недвига А.Г.

РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛУЧЕВОЙ
ТЕРАПИИ 105

Лявданский К.В.

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ СПУТНИКОВ ФОРМАТА CUBESAT
..... 110

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ
КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОЛИТЬЯ С
ПРИМЕНЕНИЕМ СИЛИКАТ-ГЛЫБЫ В КАЧЕСТВЕ
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ДОБАВКИ..... 115

Мерзликина А.И., Босых Р.В.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ	120
Мерзликина А.И., Босых Р.В.	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОЛИТЬЯ.....	125
Мерзликина А.И., Босых Р.В.	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ	130
Митина Д.А., Овсянников В.В., Истратий И.И.	
ГИПСОМАГNETИТОВЫЙ КОМПОЗИТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	136
Митина Д.А., Курулева У.Е., Овсянников В.В.	
ЗАЩИТА ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	140
Морозов Д.А.	
ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИСТЕМНЫХ МЕТРИК ТЕХНОЛОГИЯМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	145
Москалева А.А., Дугинова Е.Б.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС	149
Моторыкина А.А., Пойменов М.С.	
РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	154
Нестерова Е.Д.	
АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ	159

Новак А.С

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМА С ДЕФЕКТАМИ И ПРИМЕСЯМИ:
ОТ КЛАССИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДО СОВРЕМЕННЫХ
ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ..... 162

Паушкина К.К.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ
НУКЛЕАЦИИ ПРИ НАГРЕВАНИИ ЧАСТИЦЫ ГЕЛЕОБРАЗНОГО
ТОПЛИВА В РАЗОГРЕТОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ..... 166

Педан Д.О., Вергейчик А.В., Клепикова М.А.

БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА 171

Плугин И.А., Цыганов А.Р., Зотов И.В.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И УФ ОБЛУЧЕНИЯ НА
ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $Mo_{1.33}STx$ 176

Рудакова С.Р., Смулярова В.С.

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮРЫ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В
СИММЕТРИЧНОЙ РАМЕ..... 179

Ручий А.Ю., Баринов Р.А., Сильченко Д.В.

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРНЫЕ
КОМПОЗИТЫ 182

Рыжкова Ю.С., Дюкарева В.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ПРИ РАДИАЦИОННОМ
ЗАГРЯЗНЕНИИ..... 186

Савенко Г.А.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ: ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ И ПУТИ
ИХ РЕШЕНИЯ 190

Синебок Д.А., Пушкарская Д.В., Сильченко Д.В.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ИЗ ПОЛИЭТИЛГИДРОСИЛОКСАНОВОГО ОЛИГОМЕРА.....	193
Смирнов И.С., Санников М.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТТЛ16 С ПРИРОДНЫМИ ФЛАВОНОИДАМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА	197
Смирнов И.С., Санников М.В.	
КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИЗА ЛАКТАТА ЖЕЛЕЗА (III)	200
Смирнов И.С., Санников М.В.	
COMPARATIVE ASSESSMENT OF CRYOPROTECTION OF A BACTERIAL CONSORTIUM USING DIFFERENT CRYOPROTECTANTS.....	203
Снустикова Е.В.	
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И КОНСТИТУЦИЯ: ПРАВОВОЙ СТАТУС ТЕХНОЛОГИЙ И ГРАНИЦЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	205
Ступицкий А.В., Шарипов Р.Р.	
ВЛИЯНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СИЛ НА КРИТИЧЕСКУЮ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ (ГТУ).....	209
Ташкинов Н.С.	
РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕНТГЕНОЛОГИИ	212
Чуриков А. С., Прохоренков Д. С., Питинова Д. С.	
ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CFD МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ	217
Шаговская В.С., Ахмедов Н.А., Титов В.А.	
РАЗРАБОТКА ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ЭЛАСТОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОТВОДА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	220