

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
ИМЕНИ ПАТРИСА ЛУМУМБЫ»**

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ – 2023

**Труды
международной конференции**

Москва, 5–7 апреля 2023 г.

**Москва
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы
2023**

УДК 69:62(063)
ББК 30+38
И62

У т в е р ж д е н о
*РИС Ученого совета
Российского университета
дружбы народов*

Под редакцией
доктора технических наук, профессора *М.Ю. Мальковой*

Ответственный за подготовку издания к публикации –
И.А. Мамиева

И62 **Инженерные системы** : труды международной конференции. Москва, 5–7 апреля 2023 г. / под ред. М. Ю. Мальковой. – Москва : РУДН, 2023. – 580 с. : ил.

В издании приводится содержание основных докладов международной конференции «Инженерные системы – 2023», которая проходила 5–7 апреля 2023 г. в Москве. Конференция была организована кафедрой машиностроительных технологий Инженерной академии Российского университета дружбы народов.

В рамках международной конференции работали 8 секций. Материалы для публикации отобраны оргкомитетом конференции в соответствии с рекомендациями независимых рецензентов, расположены по секциям и публикуются с сохранением стиля и орфографии авторов.

Труды могут представлять интерес для научных работников, аспирантов, инженеров, занимающихся аналогичными задачами, и быть полезны для преподавателей высших учебных заведений технического и математического профиля.

Сборник подготовлен оргкомитетом международной конференции «Инженерные системы – 2023».

Мероприятие проведено при финансовой поддержке Инженерной академии РУДН.

ISBN 978-5-209-12079-7

© Оформление. Российский университет
дружбы народов, 2023

Секция 1

АВИАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рычкова А.Д., студент,
sam_28_02@mail.ru*

*Научный руководитель Соловьёв В.В., канд. техн. наук, доцент
Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия*

Аннотация. Совершенствование и повышение эффективности использования двигательных установок космического назначения является важной задачей. Эта необходимость обусловлена сложностью современных космических задач и увеличение частоты запусков космических аппаратов. В данной статье произведена оценка состояния производства двигательных установок различных космических аппаратов на международном уровне, выполнен анализ основных технических характеристик двигателей стран-производителей и направлений их совершенствования. В результате были определены наиболее характерные способы производства жидкостных ракетных двигателей и перспективы выпуска альтернативных двигательных установок, связанных с использованием плазменных, ионных, ядерных, твердотопливных и клиновоздушных двигателей.

Ключевые слова: ракетный двигатель, двигательная установка, альтернативные источники топлива, космический аппарат, ракета-носитель

Введение

Актуальность темы заключается в необходимости изучения состояния производства двигательных установок, так как они являются ключевым элементом в конструкции летательного аппарата и от них зависит множество параметров полета. За последнее десятилетие общее количество запусков во всем мире возросло в два раза, решение многих задач связано с улучшением качества их выполнения при той же стоимости пуска и тех же затратах на производство космических аппаратов и других составляющих.

Целью исследования определена оценка современного состояния и перспектив производства двигательных установок космических аппаратов в России и за рубежом.

При оценке современного состояния и перспектив производства двигательных установок космических аппаратов использованы количественные методы исследования. Применение статистических методов позволило осуществить сбор и анализ данных при сравнительной характеристике жидкостных двигателей в ракетах-носителях. Также был выполнен анализ работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных проблемам производства двигательных установок и современного состояния космической отрасли. Информационной базой исследования послужили материалы научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и официальных сайтов Роскосмоса, МИФИ, JAXA, Pangea Aerospace и др.

Обсуждение

Проблемам разработки более эффективных двигательных установок за счет модернизации самой конструкции или материалов двигателя и поиска альтернативных источников топлива посвящено множество работ отечественных ученых.

Особый интерес представляют работы П.В. Булата и Е.Е. Ильиной [1], К.И. Жарикова и М.М. Дронь [2], А.Р. Бикмучева и А.В. Соичева [3], Р.В. Ахметжанова, А.В. Богатого и Г.А. Дьяконова [4], где предложены варианты технических решений для использования и совершенствования различных видов двигателей в целях улучшения характеристик космических аппаратов и его эксплуатационных свойств. В.Е. Жук и С.Б. Жук рассмотрели концепцию ионного ракетного с учётом его рабочего тела в виде водорода, выделили проблемы применения такой двигательной установки и пути их решения [5]. Также А.Е. Максименко, Р.А. Лазорак, Д.Р. Шайнурова проанализировали вероятность внедрения воздушно-реактивных двигателей в ракеты-носители [6].

Влияние использующегося топлива на параметры двигательной установки и поиски альтернативных источников описаны и изучены в трудах многих авторов. Авторы И.О. Андрияшин и В.А. Бабук рассмотрели принципы разработки и внедрения нового топлива на основе малоразмерных наночастиц, а также произвели анализ некоторых параметров гибридных ракетных двигателей [7]. Перспективы использования и характеристики ракетных двигателей на метановом топливе определили Д.В. Чаркин, В.Е. Яценко, И.В. Винокуров, А.В. Кретинин [8]. Вариант применения топлива с нестан-

дартными компонентами, такими как водород, кислород и триплетный гелий, был указан в работе В.П. Плохих и А.Г. Милованова [9]. Оценка результатов проектной проработки, создания и испытания жидкостного ракетного двигателя, работающего на кислороде и сжиженном природном газе произведена в работах А.В. Иванова, С.В. Кузьмичева, Д.С. Пушкарева, О.Б. Тверье [10] и Д.А. Соколова, П.А. Миронова [11].

Часть исследований посвящена созданию двигателей, имеющих большую мощность по сравнению с уже существующими моделями. Возможность разработки и создания новых и более мощных версий жидкостных ракетных двигателей (РД-175, РД-193, РД-170/171) на базе научно-производственного объединения Энергомаш была рассмотрена авторами И.А. Арбузовым, В.К. Чвановым, Б.И. Каторгиным [12].

Результаты

Различают два понятия «ракетный двигатель» и «двигательная установка». Согласно ГОСТу 17655-89, под ракетным двигателем понимается «реактивный двигатель, создающий тягу для перемещения аппарата с помощью веществ и источников энергии, имеющихся на перемещаемом аппарате» [13]. В свою очередь, космическая двигательная установка (ДУ) представляет собой более сложное устройство, которое включает в себя, помимо ракетного двигателя, баки с компонентами топлива; системы автономного управления и регулирования; различные агрегаты [14].

В начале рассмотрим ракетные двигатели (РД). На основании анализа и систематизации информации, доступной в открытых источниках, можно выделить следующие признаки сегментации двигателей:

- по типу приведения в движение: физические, химические, электрические, тепловые, ядерные;
- по типу используемого продукта: жидкостные ракетные двигатели, твердотопливные ракетные двигатели;
- по области применения в летательных аппаратах: космические аппараты, баллистические ракеты и др.

В большинстве космических летательных аппаратах, направленных на выведение полезной нагрузки на определенную орбиту, используются жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), где

работу выполняют жидкий окислитель и горючее. В таблице приведена сравнительная характеристика наиболее известных жидкостных двигателей в ракетах-носителях.

Таблица 1

Сравнительная характеристика ЖРД

| Двигатель | Страна | Компоненты топлива | Тяга, кН | Удельный импульс (вакуум), с | Масса, кг | Давление в камере сгорания, бар | Коэффициент расширения |
|-----------|------------------|--|----------|------------------------------|-----------|---------------------------------|------------------------|
| РД-0124 | Россия | RP-1/ LO ₂ | 294,3 | 359 | 520 | 160 | - |
| LE-7A | Япония | LO ₂ /LH ₂ | 1100 | 440 | 1780 | 121 | 54 |
| RS-25 | США | LO ₂ /LH ₂ | 2323 | 455 | 3177 | 204 | 78 |
| Vikas-2 | Индия | N ₂ O ₄ / C ₂ H ₈ N ₂ | 766 | 293 | 900 | 58,5 | 13,9 |
| Vulcain 2 | Европейский Союз | LO ₂ /LH ₂ | 1350 | 434 | 2040 | 116 | 58,5 |
| YF-75D | Китай | LO ₂ /LH ₂ | 87 | 443 | 265 | 41 | 80 |

В большинстве случаев компоненты топлива определяют температуру камеры сгорания и, следовательно, удельный импульс. Vulcain 2, RS-25 и LE-7A должны работать на протяжении всего запуска. Это трудное для выполнения требование, так как тяга на уровне моря обычно на 10-20 % ниже вакуумной. Эти двигатели рассчитаны на высокую тягу, поскольку они обеспечивают основное движение.

По этой причине, в двигателях Vulcain 2, RS-25 и LE-7A используются повышенные значения давления в камере сгорания для достижения необходимой тяги. Высокое давление в RS-25 означает, что горловина довольно маленькая, приблизительно 27 см в диаметре, а данное значение коэффициента расширения RS-25 может быть использовано не только при больших размерах сопла, но и при малых и средних соплах. Превышающие показатели расширения, давления и эффективная система охлаждения приводят к значительному удельному импульсу, способствующему высокой тяге. Стоит

отметить, что большая масса двигателя отражает его использование на пилотируемых кораблях, обеспечивая надежность миссии, и возможность многоразового применения. Другие двигатели предназначены для использования на второй (Vikas-2, YF-75D) и третьей (РД-0124) ступенях. Для таких двигателей потребность в тяге меньше, что видно из таблицы 1 при сравнении значений тяги для двигателей первой ступени (Vulcain 2, RS-25, LE-7A). Это связано с тем, что часть первоначальной массы ракеты-носителя теряется либо в виде израсходованного топлива, либо в виде выброшенных пустых ступеней и ускорителей.

Скорость истечения газов является важным свойством наряду с малой массой двигателя. Низкое давление в камере способствует низкой массе двигателя; для третьих ступеней масса двигателя составляет часть «мертвой» массы космического аппарата.

Российский двигатель РД-0124 использует высокоочищенный керосин и жидкий кислород через четыре камеры сгорания. Несмотря на то, что двигатель предназначен для работы на третьей ступени, давление в камере относительно высокое. Комбинация компонентов насыщает топливо высоким содержанием кислорода. РД-0124 используется в «Блоке И», третьей ступени ракеты-носителя «Союз-2.1б» «Ангара-А5». Двигатель может быть применен повторно.

Создание новых и развитие имеющихся ЖРД будет основываться на том, что удельный импульс зависит от температуры сгорания и молекулярной массы газов, поэтому совершенствования будут иметь тенденцию к применению более легких отработавших газов и высоких температур сгорания, что создаст дополнительную нагрузку на камеру сгорания и сопло.

Так, в ноябре 2022 года Китай провёл успешные испытания ЖРД YF-130 [15], предназначенного для первых ступеней и ускорителей сверхтяжёлых ракет-носителей. Новый китайский двигатель имеет два сопла и развивает тягу свыше 500 т, что сделало его мощнее российского двигателя РД-180, который в настоящее время является лидером в ракетостроении. РД-180 развивает тягу до 423,4 т.

Современные ракетные двигатели справляются с задачами выведения полезной нагрузки на орбиту. В настоящее время значительных изменений и создания принципиально новых ЖРД для ракет-носителей не предвидится, так как нынешние технологии и

методы производства достаточно хорошо изучены и адаптированы. Однако, для выполнения и обеспечения длительных космических миссий разрабатываются альтернативные виды ДУ (таблица 2).

Таблица 2

Проекты, направленные на разработку альтернативных ДУ

| Страна | Наименование проекта | Содержание проекта | Мероприятия |
|--------|--|--|--|
| Россия | VERA (Volume-Effective Rocket-propulsion Assembly) | Проектирование, производство и эксплуатация плазменных двигателей с целью обеспечения длительного срока службы за счет его питания от солнечных батарей, маневренности на орбите и свода аппаратов с орбиты после окончания срока их службы. | В мае 2022 года были проведены успешные испытания двигателя [16]. В августе 2022 года спутники с новыми плазменными двигателями VERA вышли на орбиту [17]. |
| | Проект исследовательского центра имени М.В. Келдыша | Создание новых ионных ракетных двигателей (мощность 100 кВт) в период с 2025 по 2030 гг. [18]. | В июне 2020 года были проведены первые огневые испытания прототипа ИД-200 КР (мощность от 200 Вт до 35 кВт) [19]. |
| Япония | Совместный проект компании Pale Blue и японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA) | Разработка новых электрических ионных двигателей с технологией создания баков низкого давления для топлива (для воды). Бак будет являться сильнопористым веществом на основе металлоорганических каркасов (MOF) [20]. | Проект находится в стадии разработки. |
| | AQUARIUS | Двигательная установка в кубсате EQUULEUS, в которой собраны 8 водяных (паровых) ускорителей. | В ноябре 2022 года японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) сообщило об успешном использовании |

| | | | |
|------------------|--|---|--|
| | | | водяного пара для перемещения космического аппарата EQUULEUS, который был запущен в рамках лунной миссии Artemis I [21]. |
| США | Совместный проект отдела оборонных инноваций США (DIU) и компаний Ultra Safe Nuclear Technologies и Avalanche Energy | Разработка и производство нового поколения ядерных двигательных и энергетических установок малых космических аппаратов для длительных маневренных полётов и возможности выхода за орбиту Луны. | В мае 2022 года организация Министерства обороны DIU и компании Ultra Safe Nuclear Technologies и Avalanche Energy заключили контракты на демонстрацию установок в 2027 году [22]. |
| Китай | Совместный проект китайских космических агентств | Создание электрической двигательной установки на ионной тяге с мощностью 200 МВт, которая позволит добраться до Марса за 39 дней [23]. Расход топлива планируется уменьшить в десять раз. | Проект находится в стадии разработки. |
| Европейский Союз | Проект компании Pangea Aerospace (Италия) | Проектирование, производство и эксплуатация клиновоздушных ракетных двигателей [24]. Двигатели компании позволят увеличить полезную нагрузку до 30% и эффективность его работы до 15%, а также они рассчитаны минимум на 10 повторных применений. | В ноябре 2021 года в Германии были проведены успешные испытания двигателя [25]. |

Япония занимается разработкой не только альтернативных двигателей, но и поиском альтернативных источников энергии (вода и водяной пар), которые будут экономически выгодны и экологически безопасны.

В России активно проводятся различные испытания плазменных двигателей, направленные на долгосрочное удержание наноспутников на орбите с минимальной затратой топлива и без увеличения объёма космического мусора.

Европа – это одна из немногих стран, занимающихся производством и эксплуатацией химических ракетных двигателей на твердом топливе. Несмотря на это, на данный момент, европейские космические агентства считают перспективным развитие клиновоздушных жидкостных ракетных двигателей на метане и жидком кислороде для снижения воздействия на окружающую среду и возможности неоднократного использования, чтобы позволяет уменьшить затраты на производство.

Электрические ракетные двигатели на ионной тяге для полётов в дальний космос разрабатывают большинство стран. Однако, для выполнения таких космических миссий необходимы двигатели мощностью от 5 до 500 МВт. Создание и начало эксплуатации подобных двигателей займет 15 лет. Это ведёт к использованию имеющихся ядерных установок и их модернизированных версий, применение которых может начаться уже через 5 лет.

Заключение

1. Значительная часть ракетно-космической техники использует жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), где работу выполняют жидкий окислитель и горючее.

2. По результатам сравнительной характеристики определено, что компоненты топлива ЖРД задают температуру камеры сгорания и значение удельного импульса. Определенные сочетания химических элементов топлива позволяют задать нужные параметры тяги для основного движения аппарата в зависимости от цели космической миссии. Высокие значения коэффициента расширения могут быть использованы при различных размерах сопла, т.е. при больших, средних и малых.

3. Производители ЖРД будут стремиться к применению более легких отработавших газов и высоких температур сгорания, что повлечет за собой различные модернизации конструкций и материалов камер сгорания и сопел.

4. Оценка перспектив производства, направленных на разработку альтернативных ДУ, указывает на то, что каждая из стран

проводит свои исследования и испытания в перспективном для себя направлении. Так, Россия выбрала в качестве перспективной ДУ плазменный двигатель; Япония – ионные двигатели на воде и водяном паре; США – ядерные ДУ; Европейский Союз – твердотопливные и клиновоздушные жидкостные ракетные двигатели. Однако, большинство из них считают не менее перспективным разработку собственной ДУ на ионной тяге.

Таким образом, не смотря на многочисленные разработки, в ближайшие 10 лет ЖРД не потеряют свою актуальность, и их модернизация будет продолжаться. Велика вероятность начала использования двигателей на ядерной энергии, на смену которым, по оценкам специалистов, через 15-20 лет придут электрические ракетные двигатели в силу их низкого расхода рабочего тела, возможности значительно уменьшить массу космического аппарата и экологичности.

Список литературы

1. Булат П.В. О проблеме создания детонационного двигателя – современные тенденции в аэрокосмическом двигателестроении / П. В. Булат, Е. Е. Ильина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-10. – С. 2140-2142. – EDN RNKXDD.
2. Жариков К.И. Анализ применения газовых ракетных двигателей в двигательных установках космических аппаратов / К. И. Жариков, М. М. Дронь // Динамика систем, механизмов и машин. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 28-35. – DOI 10.25206/2310-9793-2022-10-3-28-35. – EDN RWIXQY.
3. Бикмучев А.Р. Лазерный ракетный тепловой двигатель для микро- и наноспутниковых космических систем нового поколения / А. Р. Бикмучев, А. В. Сочнев // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Международная молодёжная научная конференция: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 томах, Казань, 08–10 ноября 2017 года. Том I. – Казань: Издательство Академии наук РТ, 2017. – С. 1055-1058. – EDN YPVUWW.
4. Электрические ракетные двигатели нового поколения для малых космических аппаратов / Р. В. Ахметжанов, А. В. Богатый, Г. А. Дьяконов [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2019. – № 3. – С. 3-13. – DOI 10.1134/S0002331019030038. – EDN CZMNCS.

5. Жук В.Е. Концепция электрического водородного ракетного двигателя (ЭВРД) / В. Е. Жук, С. Б. Жук // Инновационная наука. – 2016. – № 6-2. – С. 65-68. – EDN WCFLTP.

6. Максименко А.Е. Анализ возможности применения воздушно-реактивных двигателей в конструкциях ракет-носителей / А. Е. Максименко, Р. А. Лазорак, Д. Р. Шайнурова // Астероидная безопасность: материалы VI студенческой научно-технической конференции, Челябинск, 07–09 декабря 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет Политехнический институт Высшая школа электроники и компьютерных наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 26-30. – EDN UTJYFU.

7. Андрюшин И.О. Принципы создания гибридных ракетных двигателей на базе нанодисперсного металлического горючего / И. О. Андрюшин, В. А. Бабук // Проблемы создания и применения космических аппаратов и систем средств выведения в интересах решения задач Вооруженных Сил российской Федерации: МАТЕРИАЛЫ III ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Санкт-Петербург, 12 апреля 2021 года – 13 2022 года. – Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2022. – С. 299-303. – EDN XNBAWE.

8. Перспективы использования новых компонентов топлива на основе метана для ракетных двигателей / Д. В. Чаркин, В. Е. Яценко, И. В. Винокуров, А. В. Кретинин // Авиакосмические технологии (АКТ-2019): Труды XX Международной научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов, Воронеж, 24–25 октября 2019 года. Том II Тур. – Воронеж, 2019. – С. 266-269. – EDN GASJKX.

9. Плохих В.П. Развитие многоцветных аэрокосмических систем / В. П. Плохих, А. Г. Милованов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 28-33. – DOI 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_28. – EDN WWSDOE.

10. Жидкостный ракетный двигатель нового поколения на компонентах топлива жидкий кислород и сжиженный природный газ / А. В. Иванов, С. В. Кузьмичев, Д. С. Пушкарев, О. Б. Тверье // Труды НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко. – 2022. – № S38-39. – С. 124-148. – EDN BFINQY.

11. Sokolov D.A. The problem of creating liquid-propellant rocket engine, working on propellant system: oxygen and liquefied natural gas / D. A. Sokolov, P. A. Mironov // . – 2017. – No. 16. – P. 71-73. – EDN ZDUQUZ.

12. Разработка мощных жидкостных ракетных двигателей в АО «НПО Энергомаш» / И. А. Арбузов, В. К. Чванов, Б. И. Каторгин [и др.] // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 3(95). – С. 14-22. – DOI 10.22204/2410-4639-2017-095-03-14-22. – EDN XDQGCW.

13. Двигатели ракетные жидкостные. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ 17655-89. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835154.pdf> (дата обращения: 23.01.2023).

14. Основные типы ракетных двигательных установок // Студопедия: [сайт] – 2015. – URL: https://studopedia.ru/16_117326_osnovnie-tipi-raketnih-dvigatelay.html (дата обращения: 23.01.2023).

15. Ling Xin. Powerful Chinese space rocket engine passes ‘milestone’ test [Электронный ресурс] // South China Morning Post: [сайт]. – 2022. – 6 нояб. – URL: https://www.scmp.com/news/china/science/article/3198624/powerful-chinese-space-rocket-engine-passes-milestone-test?module=perpetual_scroll_0&pgtype=article&campaign=3198624 (дата обращения: 25.01.2023).

16. Новости университета «МИФИ» [Электронный ресурс] / Свидетельство Роскомнадзора о регистрации Эл № ФС77-42318 // Официальный сайт НИЯУ МИФИ. – URL: <https://mephi.ru/press/news/18791> (дата обращения: 25.01.2023).

17. Новости университета «МИФИ» [Электронный ресурс] / Свидетельство Роскомнадзора о регистрации Эл №ФС77-42318 // Официальный сайт НИЯУ МИФИ. – URL: <https://mephi.ru/press/news/19123> (дата обращения: 26.01.2023).

18. Роскосмос [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – URL: <https://www.roscosmos.ru/30388/> (дата обращения: 26.01.2023).

19. Роскосмос [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – URL: <https://www.roscosmos.ru/28692/> (дата обращения: 26.01.2023).

20. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – URL: https://global.jaxa.jp/press/2022/12/20221206-1_e.html (дата обращения: 26.01.2023).

21. Vishwam Sankaran. Japan successfully uses steam to propel Moon spacecraft [Электронный ресурс] // The Independent: [сайт]. – 2022 – 28 нояб. – URL: <https://www.independent.co.uk/space/japan-steam-propel-moon-spacecraft-b2234128.html> (дата обращения: 26.01.2023).

22. World Nuclear News [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Contracts-to-demo-novel-space-propulsion-technolog> (дата обращения: 27.01.2023).

23. Stephen Chen. China launches first satellite with high-power electric drive [Электронный ресурс] // South China Morning Post: [сайт]. – 2023. – 13 янв. – URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3206732/china-launches-first-satellite-high-power-electric-drive> (дата обращения: 27.01.2023).

24. Pangea Aerospace [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – URL: <https://pangeaaerospace.com/technology/> (дата обращения: 27.01.2023).

25. Pangea Aerospace tests aerospike engine [Электронный ресурс] // SpaceNews: digital publication: [сайт] – URL: <https://space-news.com/pangea-aerospace-tests-aerospike-engine/>. – Дата публикации: 20 нояб. 2021.

CURRENT STATE AND PROSPECTS PRODUCTION OF PROPULSION SYSTEMS SPACECRAFT

Rychkova Aleksandra Dmitrievna, student,

sam_28_02@mail.ru

Scientific supervisor Solovyov Vladislav Viktorovich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Amur State University, master@amursu.ru

Abstract. Improving and increasing the efficiency of the use of space propulsion systems is an important task. This necessity is due to the complexity of modern space tasks and the increase in the frequency of launches of space apparatuses. This article evaluates the state of production of propulsion systems of various spacecraft at the international level, analyzes the main technical characteristics of the engines of the producing countries and the directions of their improvement. As a result,

the most characteristic methods of producing liquid rocket engines and prospects for the production of alternative propulsion systems associated with the use of plasma, ion, nuclear, solid-fuel and wedge-air engines were identified.

Keywords: rocket engine, propulsion system, alternative fuel sources, spacecraft, launch vehicle

КОНСТРУКЦИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА С ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Лихачёв И.В., Куковинец А.В., Бобров М.Н.

ФАУ «ГосНИИАС», г. Москва

Аннотация. Современный вектор развития воздушного транспорта заставляет инженеров рассматривать возможность использования электричества в качестве основного источника энергии на борту. Одной из существенных проблем, препятствующих электрификации транспортных средств, является недостаточный технологический уровень производства средств накопления энергии. Активные исследования, направленные на повышение эффективности аккумуляторов, побуждают к рассмотрению новых схем построения бортовой системы электроснабжения (СЭС) воздушных судов (ВС). В статье приведены общие сведения о современном состоянии аккумуляторных батарей (АКБ) и предложена концептуальная идея перспективной системы распределения электропитания (СРЭП) с аккумуляторами, являющимися частью конструкции, в применении к ВС с электрифицированной распределённой силовой установкой (РСУ).

Введение

Одним из направлений развития зарубежного авиастроения в наши дни является электрификация функциональных систем летательных аппаратов ввиду ужесточения экологических требований, предъявляемых ИКАО. Стоимость аккумуляторов, применяемых в транспортных средствах, таких как грузовые электромобили и малые экспериментальные ВС, снижается ввиду постоянного совершенствования технологий производства, поэтому интерес к использованию АКБ в качестве основного бортового источника электроэнергии возрастает. В фокусе внимания находятся методы создания гибридных (ГСУ) и электрифицированных силовых установок (ЭСУ), о чём свидетельствует множество экспериментальных проектов мировых научных центров, например, американский «X-57 Maxwell», европейский «FutPrInt50», российские НИР «Электро-

лет», «Интеграл-РС» и другие. Также актуальны сотни проектов, преследующих цель разработки электрических ВС городской воздушной мобильности [1].

Одними из центральных проблем, ограничивающих возможность использования электричества в качестве основного источника на борту, являются неудовлетворительные массогабаритные показатели АКБ, обладающих необходимой ёмкостью и обеспечивающих заданное качество электроэнергии в бортовой СЭС. К примеру, масса потребной АКБ перспективного регионального самолёта оценивается, исходя из текущего уровня технологий, в несколько тонн [2].

В настоящее время в области производства аккумуляторов ведутся активные работы, направленные на повышение энергоёмкости, снижение массы и объёма занимаемого ими пространства, причём разработка ГСУ и ЭСУ определяется темпами создания средств накопления электроэнергии. Согласно дорожной карте развития технологий силовых установок, представленной компанией Safran [3], при успешном решении основных технических проблем в области хранения и передачи энергии большой мощности, связанных с энергоёмкостью АКБ, возможность реализации первого крупногабаритного, полностью электрифицированного самолёта появится к 2040 г.

Текущий уровень технологий в области производства АКБ

Эффективность аккумуляторов ограничена характеристиками основных компонентов: анода, катода, электролита и сепаратора. Качество литий-ионных АКБ за прошедшие 30 лет достигло высокого уровня. Наиболее вероятным событием при их дальнейшем развитии прогнозируется совершенствование анода [4]. Основным материалом, из которого изготавливается анод в АКБ интеркаляционного типа, является графит, причём он обладает наибольшими габаритами в сравнении с другими компонентами. Ведущим направлением исследований является разработка анодов из кремния или с применением чистого металлического лития, использование которых ранее было ограничено ввиду несовершенства технологий изготовления и низкого уровня безопасности эксплуатации. Важными преимуществами кремния являются возможность хранения лития в гораздо меньшем объёме в сравнении с графитом и обес-

печение высокой скорости заряда АКБ. Тонкие кремниевые аноды обладают высокой плотностью энергии, однако основная проблема заключается в степени расширения кремния во время заряда/разряда, которая на два порядка превышает аналогичный показатель у графитовых анодов и ведёт к разрушению крупных частиц кремния при расширении. Несмотря на существующее решение в виде использования наночастиц, остаётся проблема повреждения поверхности кремния, которая обычно имеет пассивирующую плёнку. Это повреждение вызывает побочные химические процессы, ведущие к быстрому снижению ёмкости, из-за чего прибегают к использованию комбинированного варианта: добавлению небольшого количества кремния в графитовый анод.

С целью достижения необходимых характеристик АКБ рассматриваются и альтернативные пути, среди которых выделяют три быстро развивающиеся технологии накопления электроэнергии: полупроводниковые технические решения с использованием твёрдого электролита, ионисторы и проточные окислительно-восстановительные АКБ. В аккумуляторах с жидким электролитом требуется сепаратор толщиной около 20-30 мкм, а для АКБ с твёрдым электролитом необходима толщина в 7 раз меньше, что соответствует двукратному увеличению количества запасаемой энергии. Кроме того, химический состав твёрдотельного электролита менее инертен по сравнению с жидкостью или гелем. Американские аэрокосмические компании Lockheed Martin и United Technologies проявляют большой интерес к АКБ с окислительно-восстановительной реакцией, на что указывает большое количество патентов, появившихся в последние годы [5].

Наряду с решением вопросов повышения энергоёмкости АКБ перспективным методом снижения доли источников электроэнергии в массе транспортного средства является внедрение аккумуляторов в несущую конструкцию транспортного средства – разработка так называемых конструкционных АКБ. Исследователи из Технологического университета Чалмерса (Швеция) и Королевского технологического института (Швеция) синтезировали новые виды углеродного волокна и предложили [7] концепцию электро-мобиля с элементами кузова, представляющими собой АКБ. Углеродное волокно при этом является несущим материалом конструкции. Наибольшая жёсткость была достигнута при использовании

специального стекловолоконного плетения. Аккумуляторная ячейка содержит электрод из углеродного волокна и электрод из фосфата лития и железа, разделённые сепаратором из стекловолоконного плетения, пропитанного электролитом и отверждённого в печи. Электролит представляет собой гелевую полимерную матрицу. Заявлено, что разработанная конструкция имеет высокую прочность и жёсткость (значение модуля Юнга превышает 75 ГПа). Определено, что энергоёмкость АКБ, построенных по такой схеме, до четырёх раз ниже, чем у литий-ионных аккумуляторов, однако необходимо отметить, что транспортное средство, в котором энергия запасена в конструкции, обладает меньшей массой и не требует наличия отдельного пространства для размещения традиционных АКБ.

Контур СЭС ВС

Применение конструктивных аккумуляторов в контуре СЭС наиболее актуально для ВС с РСУ, в котором электрические двигатели разнесены по плоскости крыла, что, безусловно, приводит к необходимости формирования новых требований к построению структуры СРЭП ВС, размещению АКБ на борту и организации её коммутации. СРЭП РСУ – это совокупность устройств, участвующих в передаче электроэнергии от источников к приёмникам – электрифицированным двигателям ВС. СРЭП является частью СЭС ВС и предназначена для осуществления коммутации источников и приёмников электроэнергии согласно программе их функционирования, для резервирования электропитания приёмников, а также для защиты приёмников от повреждений распределительной сети.

СРЭП РСУ содержит:

- распределительные устройства (РУ),
- силовую и информационную кабельные сети,
- вычислители,
- аппаратуру управления и контроля,
- коммутационную и защитную аппаратуру (КЗА)
- и другое оборудование.

Особенностью РСУ на ВС является применение множества двигателей, каждый из которых должен быть обеспечен электроэнергией соответствующего качества. Кроме того, в зависимости от архитектуры РСУ и требований к надёжности, силовые электричес-

кие цепи могут резервироваться, поэтому к СРЭП РСУ предъявляются специальные требования по используемым силовым кабелям. Удовлетворение указанным требованиям должно производиться с учётом необходимости оптимизации массогабаритных показателей участков кабельной сети. СРЭП РСУ характеризуется возросшим по сравнению с традиционными схемами количеством передаваемой энергии, которое обуславливает увеличение значения напряжения в силовых кабелях. За счёт использования повышенного напряжения площадь сечения и масса кабелей могут быть снижены или оставлены неизменными. Повышение требований к СРЭП РСУ обусловлено возросшим тепловыделением в силовых цепях, а также увеличением опасности негативных последствий при возникновении нештатных и аварийных ситуаций, в особенности значительным увеличением энергии и температуры электрической дуги при работе коммутационной аппаратуры или возникновении короткого замыкания в условиях пониженного давления воздуха на крейсерских высотах полёта ВС. Перечисленные причины влекут за собой возникновение специальных требований, предъявляемых к СРЭП РСУ.

Поскольку двигатели, входящие в состав РСУ, являются основными приёмниками электроэнергии, передаваемой через СРЭП, и притом жизненно важными для безопасного выполнения полёта ВС, обеспечение высокого уровня надёжности РСУ является первостепенной задачей. Одной из возможных реализаций силовой части СРЭП РСУ является подведение электроэнергии к каждому двигателю, однако жизнеспособность такого решения ограничена характеристиками (объёмом пространства, жёсткостью конструкции планера и пр.) мест установки КЗА и областей прокладки соединительных проводов. Если планируется прокладка кабелей повышенного напряжения в крыле ВС, то пространства для установки необходимого количества устройств может оказаться недостаточно.

Важным фактором при выборе структуры СРЭП РСУ является величина разворачивающего крутящего момента, возникающего при отказе двигателя, а также время, необходимое для его компенсации. Возможное решение состоит в том, чтобы отключать двигатель, расположенный симметрично отказавшему двигателю относительно строительной оси ВС, одновременно с обнаружением отказа. В этом случае величина разворачивающего момента будет

минимизирована. Задействование информационного канала для реализации указанного симметричного отключения двигателя вносит временную задержку, обусловленную пропускной способностью канала и быстродействием вычислителя, а также требует исправности всех компонентов, отвечающих за работоспособность канала. При этом отключение может быть реализовано аппаратными средствами: для этого необходимо соединить параллельно двигатели, расположенные симметрично, и защитить их единым устройством КЗА (рисунок 1). В случае обнаружения неисправности одного из двигателей и его отключении симметричный двигатель будет отключен автоматически. Распределение электроэнергии в представленной схеме реализуется с помощью ЦРУ (центрального распределительного устройства). Если структура СРЭП РСУ включает ЦРУ, то ЦРУ и источники электроэнергии должны быть электрически разделены и установлены в разных местах.

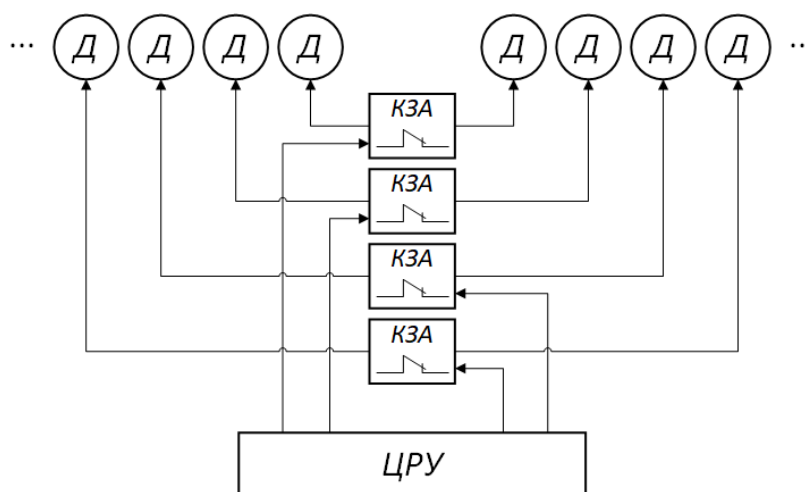


Рис. 1. Возможная схема симметричного подключения электропитания двигателей (Д) в составе СРЭП РСУ

Ввиду структурной избыточности РСУ масса и габариты СРЭП могут быть снижены по результатам расчёта надёжности. К примеру, если будет доказано, что показатель критичности отказа

определённого набора двигателей не превышает установленного значения, то может использоваться единый КЗА для цепи электропитания группы из нескольких двигателей. Соответствующая схема приведена на рисунке 2.

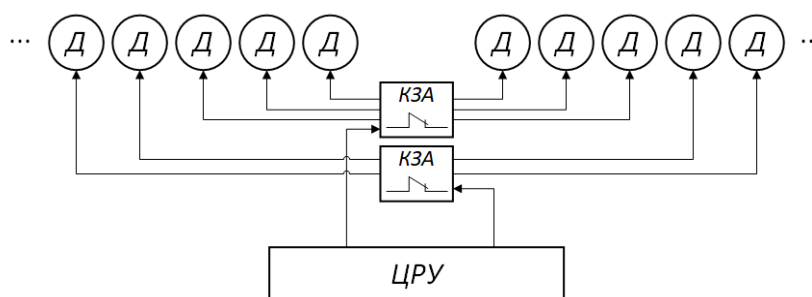


Рис. 2. Возможная схема объединения двигателей в группы в составе СРЭП РСУ

Использование централизованной структуры СРЭП РСУ, представленной на рисунке 2, в случае отказа двигателя неизбежно приведёт к снижению тяги, создаваемой РСУ, поэтому целесообразно разделение канала электропитания как минимум на два: канал левого борта ВС и правого. Для реализации разделения каналов двигатели следует подключать к каналам с чередованием, как представлено на рисунке 3: штрихпунктирной линией показан участок цепи резервного электропитания. Неисправность в одном из каналов не приведёт к полной потере тяги, а снижение величины тяги будет ограничено во времени задержкой на реконфигурацию. Таким образом, структура СРЭП РСУ становится децентрализованной.

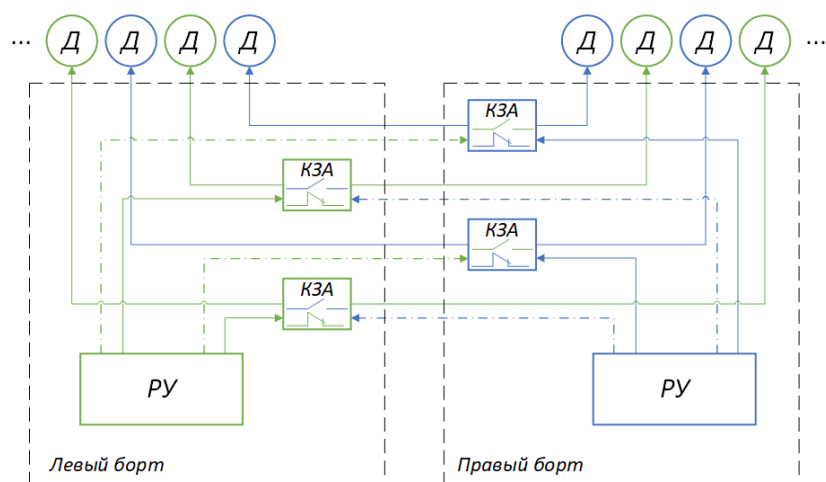


Рис. 3. Возможная схема разделения каналов электропитания двигателей в СРЭП РСУ

Для разделения каналов электропитания необходимо не только использовать специальные схемы трассировки, но и применять аппаратное и программное резервирование, в том числе вычислителей СРЭП РСУ. Вычислители, входящие в состав устройств управления и контроля СРЭП РСУ, должны получать электропитание независимо от участка, которым они управляют. При использовании повышенного напряжения в бортовой сети возникает необходимость в модификации коммутационной аппаратуры, совершенствовании изоляции силовых токопроводящих элементов СРЭП РСУ, физическом разнесении и электрическом разделении компонентов СРЭП как друг относительно друга, так и относительно конструктивно-силовых элементов планера ВС и жизненно важных для эксплуатации самолётных систем. При прокладке соединительных проводов в подвижных элементах фюзеляжа или планера необходимо обеспечить защиту от механических воздействий (изгиб, истирание и др.), для чего провода следует помещать в гибкие изоляционные трубки или использовать другие средства изоляции в дополнение к обычной изоляции.

Анализ возможности авиационного применения конструкционных АКБ

Согласно ГОСТ Р 54073-2017 СЭС ВС должны состоять не менее чем из двух независимых каналов или подсистем. Технология конструкционных аккумуляторов, выполненных в составе несущих конструкций ВС с РСУ, позволит распределить систему генерирования по конструктивно-силовым элементам фюзеляжа и планера, причём к каждой электрической нагрузке или группе нагрузок может быть подобран источник необходимой мощности. В этом случае длина и масса силовой кабельной сети может быть минимизирована, тем самым решена задача весовой оптимизации энергетического комплекса ВС в целом. Кроме того, обеспечивается более гибкое резервирование СЭС, которое приводит к повышению уровня надёжности РСУ.

На рисунке 4 представлены концептуальные схемы перспективной СРЭП РСУ с АКБ в традиционной форме, а также с распределённой системой генерирования. Углеродное волокно способно выполнять две функции одновременно: лёгкий композитный материал может быть использован для изготовления элементов планера, в частности, крыла ВС, и одновременно способен служить в качестве электрода литий-ионного аккумулятора. Возможность использования этой перспективной технологии для производства конструктивно-силовых элементов крыла ограничивается допустимыми значениями жёсткости и прочности материалов, которые определяются нормативными документами, в частности АП-25. Одним из возможных технических решений является размещение аккумуляторов в малонагруженных элементах крыла [7, 8].

Конструкционные АКБ смогут заряжаться как путём подключения внешнего источника питания при нахождении на земле, так и за счёт энергии, выделяющейся при работе РСУ в режиме генерирования, например, на этапе снижения ВС, причём для размещения устройств контроля качества входной энергии будет иметься достаточно пространства. Процесс заряда, возможно, будет более эффективным, поскольку потери на прохождение силовых кабелей будут минимизированы. В силу того, что конструкционные аккумуляторы концептуально могут располагаться по всей площади крыла ВС, можно допустить их разделение на секции, обеспечивающие электропитанием требуемой мощности только ближайших потребителей, то есть может быть исключена необходимость использования РУ.

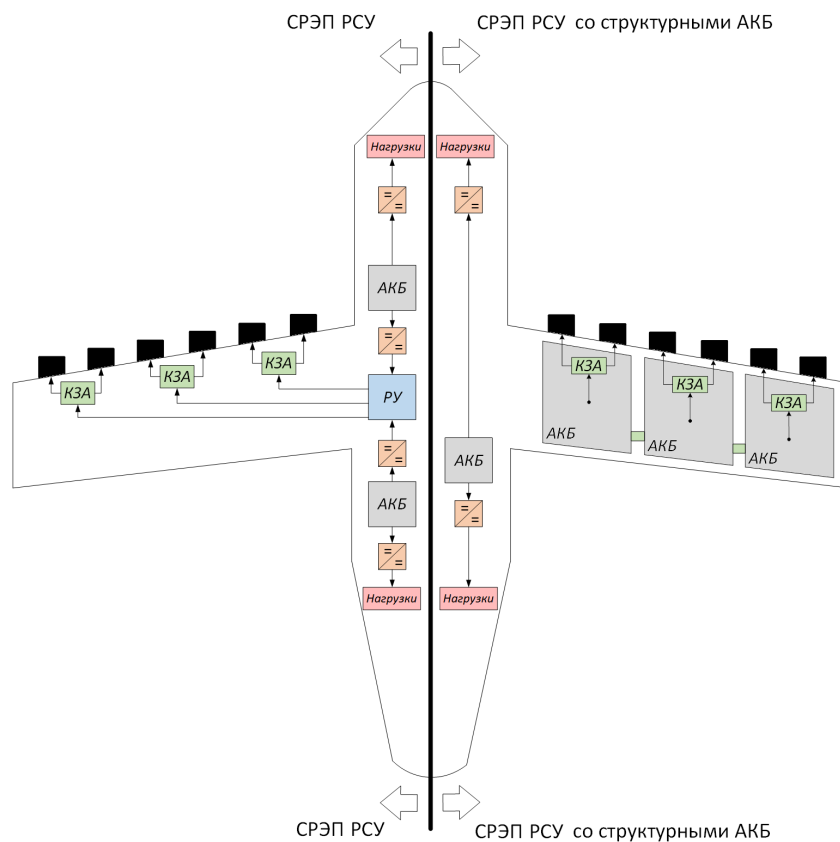


Рис. 4. Концептуальная схема перспективной СРЭП РСУ

Авторы работы [9] в 2004-м году опубликовали информацию о прототипах конструктивных аккумуляторов и предложили два подхода к реализации этой концепции. Один подход состоит в разделении функций материалов, применяемых для изготовления таких АКБ, то есть одни материалы используются для восприятия механической нагрузки (поверхность является корпусом), а другие – для накопления энергии электрохимическим способом. Эту концепцию назовём конструктивными АКБ раздельного типа. Другой подход заключается в применении материалов, предназначенных для одновременного выполнения этих функций, то есть несущие

элементы распределены по всему объёму, – АКБ совмещённого типа. Исследования существующих прототипов конструкционных аккумуляторов, направленные на расчёт жёсткости при изгибе, показали [10], что из указанных подходов преимущество имеет раздельный тип АКБ. Однако некоторые из предложенных технических решений обладают более низкими значениями модулей упругости в сравнении с обычными цилиндрическими литий-ионными аккумуляторами 18650. Кроме того, наблюдается прямая зависимость между жёсткостью и энергоёмкостью АКБ этого типа: повышение жёсткости (изменение свойств корпуса) приводит к увеличению массы аккумулятора, при этом возможности накопления энергии остаются на прежнем уровне. Расчёты проводились для изолированных аккумуляторных ячеек, то есть не учитывалась система обеспечения теплового баланса.

Снижение энергетических характеристик АКБ совмещённого типа обусловлено применением твёрдого электролита, обладающего низкой ионной проводимостью, а также высоким электрическим сопротивлением коллекторов тока, которые обычно представляют собой пенометалл или углеткань в тонкой оболочке. Однако эти материалы улучшают механические характеристики аккумулятора, что приводит к возникновению оптимизационной задачи. В АКБ раздельного типа электрохимические характеристики материалов могут быть оптимизированы независимо от необходимости изготовления жёсткого и лёгкого корпуса. Таким образом, аккумуляторы раздельного типа всегда будут иметь более высокую жёсткость на изгиб.

В работе [8] отмечается, что необходимые значения прочности и жёсткости могут быть достигнуты за счёт применения расчалочной конструкции или использования кольцевого крыла. Кроме того, при интеграции конструкционных АКБ в обшивку ВС могут быть снижены энергопотребление и масса системы обеспечения теплового баланса ввиду наличия конвекционного теплообмена с окружающей средой.

Заключение

В настоящее время перспектива реализации конструкционных АКБ в качестве основного источника электроэнергии на борту ВС видится ограниченной демонстраторами технологии. Несмотря

на то, что существующие прототипы конструкционных аккумуляторов раздельного типа превосходят аналогичные устройства совмещённого типа, для них остаются нерешёнными общие проблемы. Механические повреждения АКБ на основе лития, который используется в большинстве предлагаемых концепций, могут вызывать явление теплового разгона, который представляет опасность [11]. Авторы работы [10] считают, что целесообразно включить в рассмотрение металл-воздушные АКБ с водным электролитом, так как они имеют высокую энергоёмкость и не подвержены тепловому разгону. Результаты расчёта тепловой модели литий-железо-фосфатной бортовой АКБ показали [12], что такой аккумулятор также не подвержен тепловому разгону. Корпус аккумулятора, изготовленный из лёгких металлов и углеродных композитов, имеет пределы прочности, которых может оказаться недостаточно для ожидаемых эксплуатационных нагрузок. На данный момент в качестве возможных мест размещения конструкционных АКБ целесообразно рассматривать малонагруженные элементы конструкции планера. Существует также ряд трудностей, связанных с технологиями производства [13].

Ожидаемый рубеж необходимого уровня развития средств накопления энергии, которые могут быть интегрированы в конструкцию ВС, определяется прогнозируемым временем создания крупных ВС – 2040–2050-е годы. Появление новых технологий изготовления конструкционных АКБ и новых материалов, обладающих высокой энергоёмкостью при обеспечении необходимого значения модуля упругости, позволит сформировать обоснованные предложения по их авиационному применению.

Список литературы

1. Ugwueze O., Statheros T., Bromfield M. et al. Trends in eVTOL aircraft development: the concepts, enablers and challenges. AIAA SciTech 2023 Forum. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. (AIAA), 2023.
2. Karadotcheva E., Nguyen S.N., Greenhalgh E.S. et al. Structural Power Performance Targets for Future Electric Aircraft, 2021. *Energies*, 14(19).
3. Сливцкий А.Б., Яковлева Н.К. Авиационная техника вертикального взлета и посадки: развитие и отработка технологий,

концептуальных подходов и проектов (окончание) // Авиационные системы. – 2022. – № 11. – С. 45-49.

4. *Berdichevsky G., Yushin G.* The Future of Energy Storage – Towards A Perfect Battery with Global Scale (Sila Nanotechnologies, 2020).

5. European Patent Office and IEA, “Innovation in Batteries and Electricity Storage: A Global Analysis Based on Patent Data” (2020).

6. *Rangarajan R.* (2018). Structural Battery Composites in Electric Vehicle Design, Master thesis, Chalmers University of Technology.

7. *Panarotto M., Isaksson O., Asp L.* Assessing the value of radical technology alternatives at system level, 2018. 15th International Design Conference, P. 633-642.

8. *Scholz A.E., Hermanutz A., Hornung M.* Feasibility analysis and comparative assessment of structural power technology in all-electric composite aircraft // 67. Deutscher Luft-und Raumfahrtkongress. – 2018.

9. *Thomas J.P., Qidwai M.A.* Mechanical design and performance of composite multifunctional materials, 2004. Acta Materialia, 52(8), P. 2155–2164.

10. *Hopkins B., Long J., Rolison D. et al.* High-Performance Structural Batteries, 2020, Joule, 4(11), P. 2240-2243.

11. *Pandian G., Pecht M., Zid E. et al.* Data-driven reliability analysis of Boeing 787 Dreamliner, 2020. Chinese Journal of Aeronautics, 33(7), P. 1969-1979.

12. *Бобров М.Н.* Моделирование бортовых химических источников тока / М.Н. Бобров, И.А. Королёв, И.В. Лихачёв // Авиационные системы в XXI веке: Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 21-22 апреля 2022 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2022. – С. 167-169.

13. *Danzi F., Salgado R.M., Oliveira J.E. et al.* Structural Batteries: A Review, 2021, Molecules, 26(8), 2203.

КОНЦЕПЦИЯ РЕЗОНАНСНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Шабуневич В.И.¹, к.т.н., Шабуневич А.В.²

¹ *Ведущий научный сотрудник ВНИКТИ, г. Коломна,*

² *Инд. предприниматель, инженер, г. Жуковский*

Аннотация. С помощью гармонического анализа конечно-элементных моделей, содержащих окруженное одним или несколькими кольцами центральное тело, показана возможность осуществления полетов также в безвоздушном пространстве за счет совместных резонансных колебаний колец и тела, когда число колец более трех.

Ключевые слова: конечно-элементные модели, гармонический анализ, резонансные пики, форма деформирования

Введение

Современные ракетные двигатели хорошо справляются с задачей выведения техники на околоземную орбиту, но совершенно непригодны для длительных космических перелетов. Поэтому уже не первый десяток лет ученые работают над созданием альтернативных космических двигателей, которые могли бы разгонять корабли до рекордных скоростей. До сих пор считается, что реактивная тяга — это чуть ли не единственный возможный способ двигаться в пустом космическом пространстве. С другой стороны [1], например, известен двигатель EmDrive британского инженера Роджера Шаера. Конструкция EmDrive представляет собой по форме конусное металлическое ведро, запаянное с обоих концов. Внутри этого ведра расположен магнетрон, подобный установленному в микроволновке. Сам автор объясняет работу своего двигателя через разность давления электромагнитного излучения в разных концах «ведра» — в узком конце оно меньше, чем в широком. Благодаря этому создается тяга, направленная в сторону узкого конца. Возможность такой работы двигателя не раз оспаривалась, но во всех

экспериментах установка Шаера показывает наличие тяги в предполагаемом направлении. В числе экспериментаторов, опробовавших «ведро» Шаера, такие организации, как NASA, Технический университет Дрездена и Китайская академия наук. Изобретение проверяли в самых разных условиях, в том числе и в вакууме, где оно показало наличие тяги в 20 микроньютонов. Это, конечно, очень мало по сравнению с химическими реактивными двигателями. Но, учитывая то, что двигатель Шаера может работать сколько угодно долго, так как не нуждается в запасе топлива (работу магнетрона могут обеспечивать солнечные батареи), потенциально он способен разгонять космические корабли до огромных скоростей, измеряемых в процентах от скорости света. Попытки строительства и запуска солнечных парусников в космос уже имели место – в 1993 году тестирование солнечного паруса на корабле «Прогресс» провела Россия, а в 2010 году успешные испытания по пути к Венере осуществила Япония. Но еще ни один корабль не использовал парус в качестве основного источника ускорения. Солнце излучает не только фотоны, но также и электрически заряженные частицы вещества: электроны, протоны и ионы. Все они формируют так называемый солнечный ветер, ежесекундно уносящий с поверхности светила около одного миллиона тонн вещества. Солнечный ветер распространяется на миллиарды километров и ответственен за некоторые природные явления на нашей планете: геомагнитные бури и северное сияние. Земля от солнечного ветра защищается с помощью собственного магнитного поля. Проект электрического паруса, созданный в 2006 году финским ученым Пеккой Янхуненом, внешне имеет мало общего с солнечным. Этот двигатель состоит из нескольких длинных тонких тросов, похожих на спицы колеса без обода. Хотя его тяга будет примерно в 200 раз меньше, чем у солнечного паруса, этот заинтересовал Европейское космическое агентство потому, что электрический парус гораздо проще сконструировать, произвести, развернуть и эксплуатировать в космосе. Кроме того, с помощью гравитации парус позволяет также путешествовать к источнику звездного ветра, а не только от него. А так как площадь поверхности такого паруса гораздо меньше, чем у солнечного, то для астероидов и космического мусора он уязвим куда меньше. Возможно, первые экспериментальные корабли на электрическом парусе мы увидим уже в следующие несколько лет.

Кроме того, развиваются проекты ионного, плазменного и термоядерного двигателей и даже двигателя на антиматерии.

Основная часть

Авторами данной работы предложен Способ регулирования резонансных колебаний и устройство для его осуществления [2], практическое применение которых может позволить создать новые летательные аппараты для перемещений также в космосе.

Задачей изобретения является возбуждение резонансных механических колебаний без применения уравнивающей массы или фундамента при регулировании контролируемых параметров резонансных колебаний центральной массы (поля) путем добавления дополнительных внешних масс (полей).

Решение задачи достигается тем, что в предлагаемом способе регулирования резонансных колебаний, заключающемся в том, что резонансные колебания центральной цилиндрической или сферической массы (или физического поля), связанной с внешней массой (или взаимно проникающим полем), возбуждают путем принудительного периодического возбуждения, создаваемого, например, электромагнитным вибратором, предложено создавать дополнительные связанные с первыми двумя (центральной и внешней) и вращающиеся, например, синхронно и одновременно или по очередности программы управления с первыми сферические или, например, цилиндрические массы или взаимно проникающие поля.

Применение предложенных совокупностей существенных признаков позволяет получить новый технический результат: возбуждать резонансные механические колебания без применения уравнивающей массы или фундамента при регулировании контролируемых параметров резонансных колебаний центральной массы (поля) путем добавления дополнительных вращающихся внешних масс (полей).

Для проверки возможности практического осуществления способа и устройства были изготовлены картонные и пенопластовые модели. Каждая модель представляла собой набор связанных между собой перемычками концентричных картонных кругов. Модели устанавливались в наружное приспособление ротора электродвигателя. При включении последнего модели раскручивались. При этом во всех случаях сразу улетали модели с числом кругов более 3.

Модели с числом кругов до 3 могли долго вращаться и не отрываться от ротора.

Эксперименты показали принципиальную возможность практического осуществления заявляемого способа и устройства возбуждения и регулирования резонансных колебаний.

Сущность изобретения поясняется рисунками 1-6, на которых показаны принципиальные схемы цилиндрических моделей устройств, содержащих центральный диск и от одного до шести колец вокруг него, для осуществления способа регулирования резонансных колебаний и расчетные графики зависимостей амплитуд перемещений от частоты нагружения вертикальной перегрузкой $1g$ для центральных узлов этих моделей. Анализ полученных графиков показывает, что добавление внешних вращающихся колец более трех позволяет получать значительные по величине постоянные амплитуды резонансных колебаний центрального диска, позволяющие совершать полеты этих устройств. Аналогичные явления проявляются и на сферических вращающихся моделях.

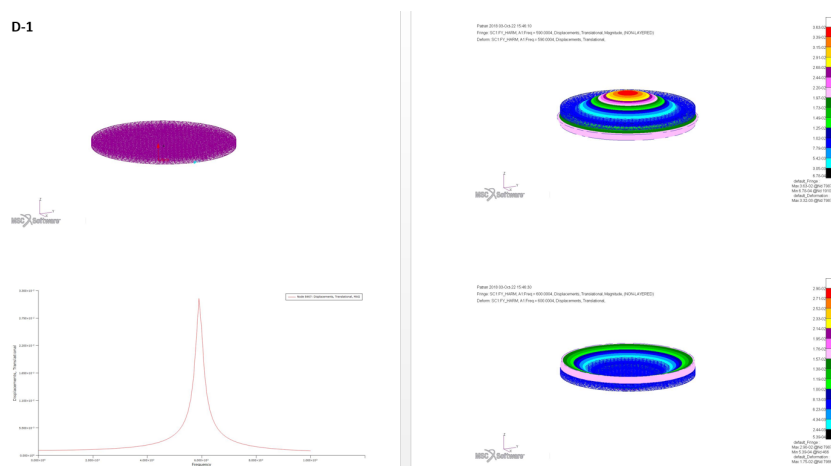


Рис. 1. Центральное тело, график изменения амплитуды его перемещений по частоте нагружения вертикальной перегрузкой $1g$ и картины перемещений на резонансах

D-2

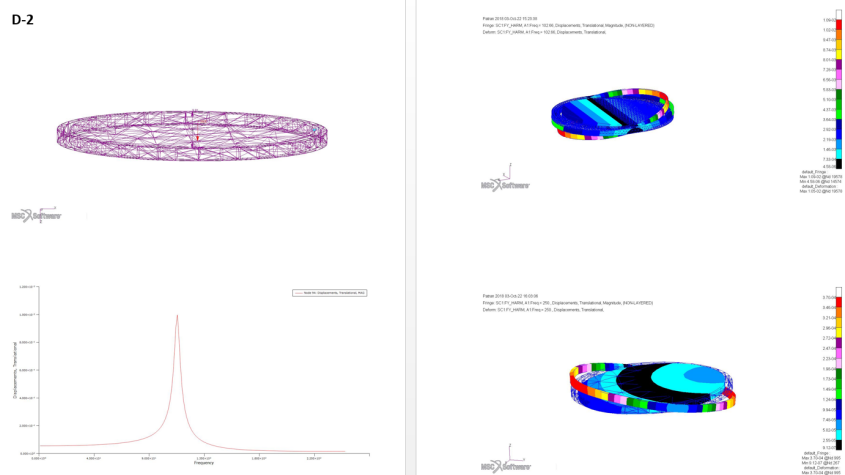


Рис. 2. Центральное тело с одним кольцом, график изменения магнитуды перемещений тела по частоте нагружения вертикальной перегрузкой 1g и картины перемещений на резонансах

D-3

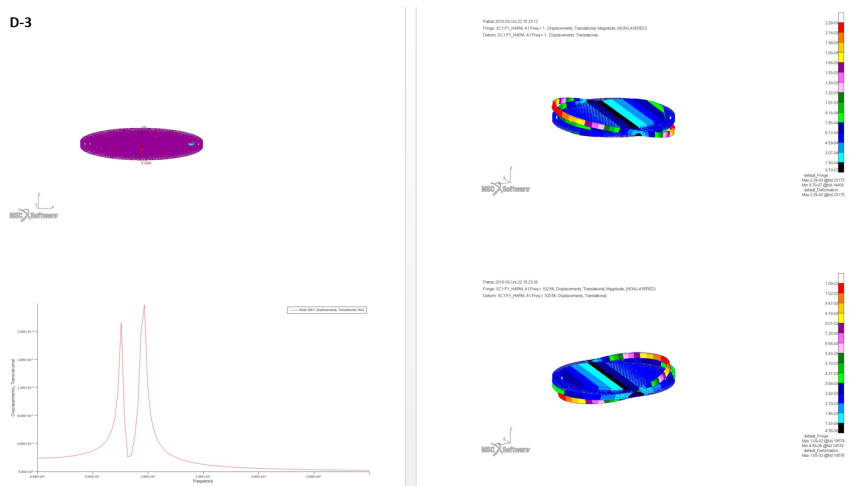


Рис. 3. Центральное тело с двумя кольцами, график изменения магнитуды перемещений тела по частоте нагружения вертикальной перегрузкой 1g и картины перемещений на резонансах

D-4

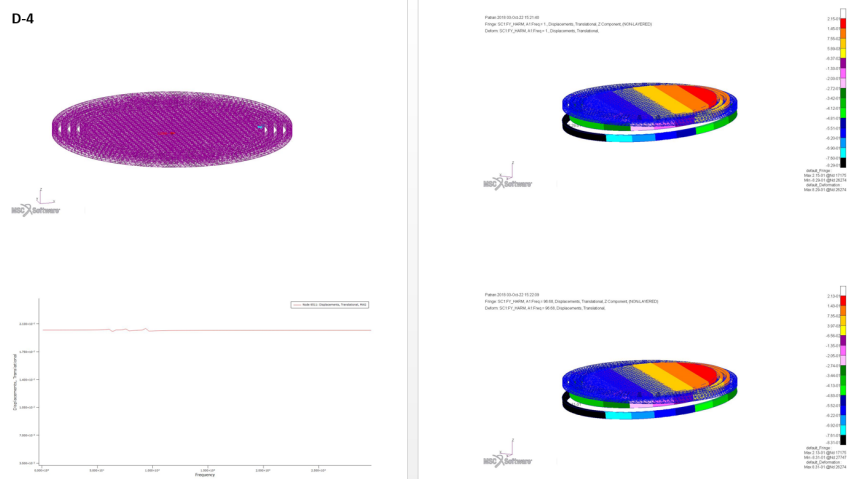


Рис. 4. Центральное тело с тремя кольцами, график изменения магнитуды перемещений тела по частоте нагружения вертикальной перегрузкой 1g и картины перемещений на резонансах

D-5

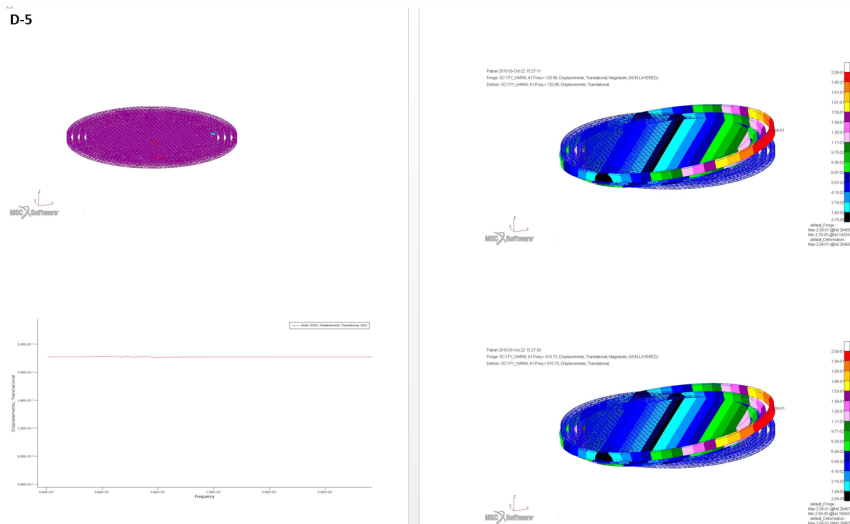


Рис. 5. Центральное тело с четырьмя кольцами, график изменения магнитуды перемещений тела по частоте нагружения вертикальной перегрузкой 1g и картины перемещений на резонансах

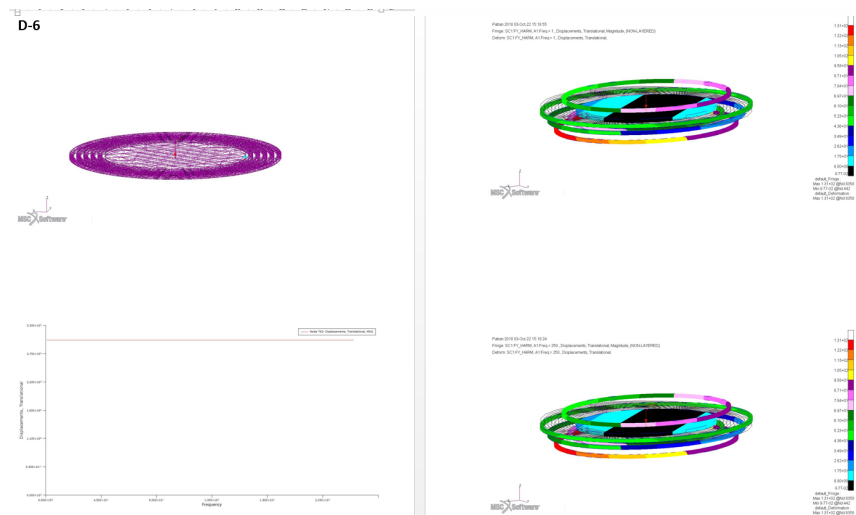


Рис. 6. Центральное тело с пятью кольцами, график изменения магнитуды перемещений тела по частоте нагружения вертикальной перегрузкой 1g и картины перемещений на резонансах

Заключение

Проведенные расчеты по методу конечных элементов и упрощенные эксперименты показывают принципиальную возможность создания резонансных летательных аппаратов, пригодных также для осуществления полетов в космосе.

Список литературы

1. <https://vseonauke.com/1555641721575705135/7-kosmich-eskih-dvigatlej-buduschego/>
2. Способ регулирования резонансных колебаний и устройство для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2620711, 2015.

THE CONCEPT OF A RESONANT AIRCRAFT

Shabunovich V.I.¹, PhD, Shabunovich A.V.²

¹ Leading researcher of VNIKT, Kolomna,

² Ind. entrepreneur, engineer, Zhukovsky

Abstract. With the help of harmonic analysis of finite element models containing a central body surrounded by one or more rings, the possibility of flying also in airless space due to joint resonant oscillations of the rings and the body, when the number of rings is more than three, is shown.

Keywords: finite element models, harmonic analysis, resonance peaks, deformation form

Секция 2

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

INNOVATION AND PRODUCTIVITY: ENHANCE THE INNOVATIVE PERFORMANCE OF FIRMS THROUGH PRODUCTIVITY

Kritika Taniya Saharia,

Department of Innovation Management in Industries,

RUDN University, Moscow, Russia

Kritikataniyas@gmail.com

Mafiha Rahman Badhan,

Department of Innovation Management in Industries,

RUDN University, Moscow, Russia

mafiha1993@gmail.com

Abstract. Innovation is viewed as a key component of economic company performance and is seen as essential to achieving consumer pleasure and fulfilling their needs. At a time when businesses have similar options to promote their products at little cost, it requires coming up with a novel idea that will be put into practice to provide them a competitive advantage. In order to match their asset portfolios with two important performance goals, efficiency and innovation, businesses invest in a range of information technologies. The universalistic premise of previous research is that organizations' asset portfolios would always enable the realization of both goals. The circumstances under which organizations' asset portfolios should be more heavily weighted toward efficiency or innovation have received very little examination. Here, we contend that, when assessing efficiency in the innovation process, the type of the market in which a business competes will have a major moderating impact on the relationship between asset portfolios and productive innovation outputs.

Keywords: Innovation, Productivity, Efficiency, Firm, Performance

Introduction

All areas of technological, economic, and social activity – from research and development through investment, manufacturing, and application – are involved in the complex phenomena known as innovation. Efficiency and innovation go hand in hand, and this is the main problem with managing innovation.

The effectiveness of factors affecting inventive activities ranges from substantially discouraging to greatly boosting them. We assess the performance of industrial organizations using a profile that highlights the key performance factors in research and development, manufacturing, marketing, and management at all phases after examining the innovation process from the viewpoint of the innovative system.

The worldwide market's business climate is always evolving. While regulation is always changing and new technologies are always entering the market, the importance of environmental sustainability, protection, and its connections to industry are only growing. Due to the present global economic climate, businesses are continually forced to create new goods and services to fulfil client demand and be responsive to it. This is also a sign of corporate competitiveness. As a result, amid extremely volatile market conditions, a company's capacity for innovation becomes the most crucial determinant for competitive advantage. Because of the potential for innovation, businesses continually create new products and services that adapt to the state of the market and are included into all of their plans, operating procedures, and organizational frameworks. Innovation gives businesses the ability to shield themselves from the unpredictability that the global environment inevitably creates, which ultimately makes them more equipped to identify new possibilities and make the most of those that already exist. Innovations are a must for any business operating today. A company's technical output and capacity for knowledge discovery, exchange, and application directly influence its competitive advantage. Companies, both local and foreign, have included innovation activities into their vision statements and regard them as a crucial goal.

Innovation-the concept and its measurements

Innovation is a complicated process that affects all areas of technological, economic, and social activity, from research and development through investment, manufacturing, and application. There are just two general markers of inventive efficiency that may be examined and roughly anticipated in the early phases. These are the required range of applications and the technical level. The following signs are the required range of applications and the technical level. These indications, which are bundled into specific coefficients, relate to needs that have been identified as well as to resource availability, time constraints, and pressure

from the marketplace. The complexity, interconnectedness, scale, and level of technology used affect whether or not current tools and skills will work with it or interfere with it. We require extra information for these coefficients that was not accessible in the early stages of research and development. The risk factor, development time, lifetime, and resource needs may, however, all be calculated as the innovation process advances. Then the aforementioned coefficients should be steadily improved.

The innovators will own the future. Measurement is a crucial component of the methodical approach that organizations must take to innovation. It pinpoints possibilities and keeps tabs on the organization's attempts to boost innovation. Most importantly, measuring defines the organization's value for innovation and offers a way to distribute recognition and incentives for it fairly.

Some firms opt to be innovators' leaders according to their plans, while others prefer to follow. But if you don't know when or how much you are genuinely inventing, it might be difficult to determine if you are a leader. An organization is on strong foundation when creativity and new idea implementation are accurately measured. Without such mechanisms, businesses are more likely to choose employees for salary raises and promotions based on less objective criteria, such political conduct, rather than on performance.

Essentially, to find out how much an organization is innovating, we must measure both parts of the innovation process: ideation and implementation.

Essentially, we must assess both stages of the innovation process – ideation and implementation – to determine how much a business is innovating.

There are basically five steps to measure the innovation. These are

1. Compile and monitor each idea
2. Calculate the costs and advantages of each idea.
3. Measure the Effectiveness of Each Idea
4. Determine Each Idea's Added Value.
5. Establish the organization-wide innovation rate.

Productivity – the concept and its measurement

The degree of technology and the intended scope of application are these. These are these signs, although it is challenging to quantify,

what we mean by the phrase "productivity" is the amount of output that can be created utilizing a specific level of inputs. There isn't even an assumption of production efficiency or optimality at this level of the definition. However, given its level of technological expertise, its organizational structure, its size, and other endowments, as well as the environment in which it operates, we typically assume that the entity whose productivity we wish to measure is "efficient" in the sense that it is using the bare minimum level of inputs to produce a certain level of output. Businesses can use productivity as a gauge of work effectiveness to assess factors such as the quantity of labor required to perform a task or potential organizational effectiveness-boosting measures. Professionals may complete more work in less time by understanding productivity. Because of this, a wide range of professionals in various jobs are able to determine their own and other professionals' productivity as well as the productivity of whole companies.

The ratio of output value to input value is known as productivity. The number of jobs a professional completes in a certain length of time or the quantity of money made within that same time period is the output value. The number of hours over which the activities occur is often the input value. That is $\text{Productivity} = \text{total output} / \text{total input}$.

Relation of Innovation and Productivity

Simply, innovation may increase productivity, which translates to increased output from the same input. The economy expands as productivity increases because more products and services are produced. With the same input, new concepts and technologies are created and implemented, increasing the output. For consumers and businesses, innovation and productivity development provide enormous advantages. The pay of workers grows as productivity rises. They may purchase more products and services because they have more money in their pockets. Businesses also increase their profitability, allowing them to invest and expand their workforce.

Finally, innovation output has a strong link with company productivity. Innovation output (patent numbers, inventive sales) greatly increases following R&D expenditure. The CDM model has been used in a number of studies to examine the connection between R&D, innovation, and business productivity as well as the trade.

Importance of productivity

Making operational adjustments, such as hiring more staff or purchasing more equipment to fulfil deadlines, is made possible by measuring the productivity of your business or department. Knowing how productive your staff is can help you determine how effective you are as a whole, if you can meet deadlines, and whether you can accept new clients. It might take some time and thought to determine which method of productivity measurement is appropriate for your company.

There are a number of factors that make measuring workplace productivity crucial. To make investment decisions, a corporation has to understand how productive its operations are. The business may infer from its productivity data that the decline in productivity is being brought on by outdated equipment. As a result, management spends money updating the plant. A business may assess the effectiveness of its operations over time and make modifications by continuously evaluating productivity. Measuring productivity also gives you an opportunity to evaluate the effectiveness of your personnel, which is a crucial consideration. For instance, if a client asks your business to accommodate a difficult deliverable, the only way to know if you can achieve the deadline is if you are routinely tracking the workforce's productivity. Additionally, managers must be aware of how each particular worker is doing. This knowledge aids them in making crucial choices that affect the effectiveness of the workplace as a whole. Monitoring productivity is also important since it enables management to make changes to the business. The information acquired throughout the measurement process, for instance, can show manufacturing delays.

Alternately, it could highlight issues with the customer lifecycle. By realizing this, you may be able to make operational adjustments like growing your customer service staff or purchasing new machinery for manufacturing.

Measuring efficiency in the innovation process through productivity

As investing in innovation is not a desirable activity as such – the outcomes or outputs of the innovation process are what count for society – efficiency is a key idea in innovation as well. One may even go so far as to say that, in the end, only the impact on a nation's economic

performance matters. Although the economic implications will not be examined in this article, future research on innovation efficiency should also consider this aspect. A product, process, and market-focused innovation approach is one option available to businesses. Firm performance in this sense refers to the results obtained in achieving internal and external goals of a business by properly and successfully applying process, market, and technology innovation techniques. Although market innovation deals with the market mix and market selection in order to satisfy a customer's buying preference, process innovation is the process of reengineering and enhancing internal functioning of corporate processes. On the other hand, product innovation entails the development of a completely new product using novel materials or the improvement of an existing product in order to satisfy customers.

Productivity and innovation efficiency are connected. When more outputs are generated with the same quantity of inputs or when the same output is produced with less input, productivity increases. Here, innovation efficiency will be defined similarly: innovation efficiency is increased when more innovation outputs are produced with the same amount of innovation inputs or when fewer innovation inputs are required to produce the same amount of innovation outputs. The ratio of outputs to inputs may thus be used to quantify innovation efficiency. The ratio of outputs to inputs may thus be used to quantify innovation efficiency. The proportion of company turnover resulting from new products in the EIS composite index to inputs (education, investment in innovation, innovation activities at the business level, etc.)

Since Griliches (1979; 1986), whose work relates research and development to productivity results, there has been empirical study relating innovation and productivity in businesses. For small and medium-sized businesses (SMEs), the relationship between innovation and productivity is still unclear since it might differ based on an organization's age, size, or industry. In our study, we create new metrics of corporate innovation using a novel combination of UK administrative microdata, media, and website content. This blend adds to current measures including self-reported innovation surveys, patents, and trademarks. We combine these data with a sizable cross-sector panel of UK SMEs to study the relationship between innovation and productivity in a richer and more reliable way.

Result and Discussion

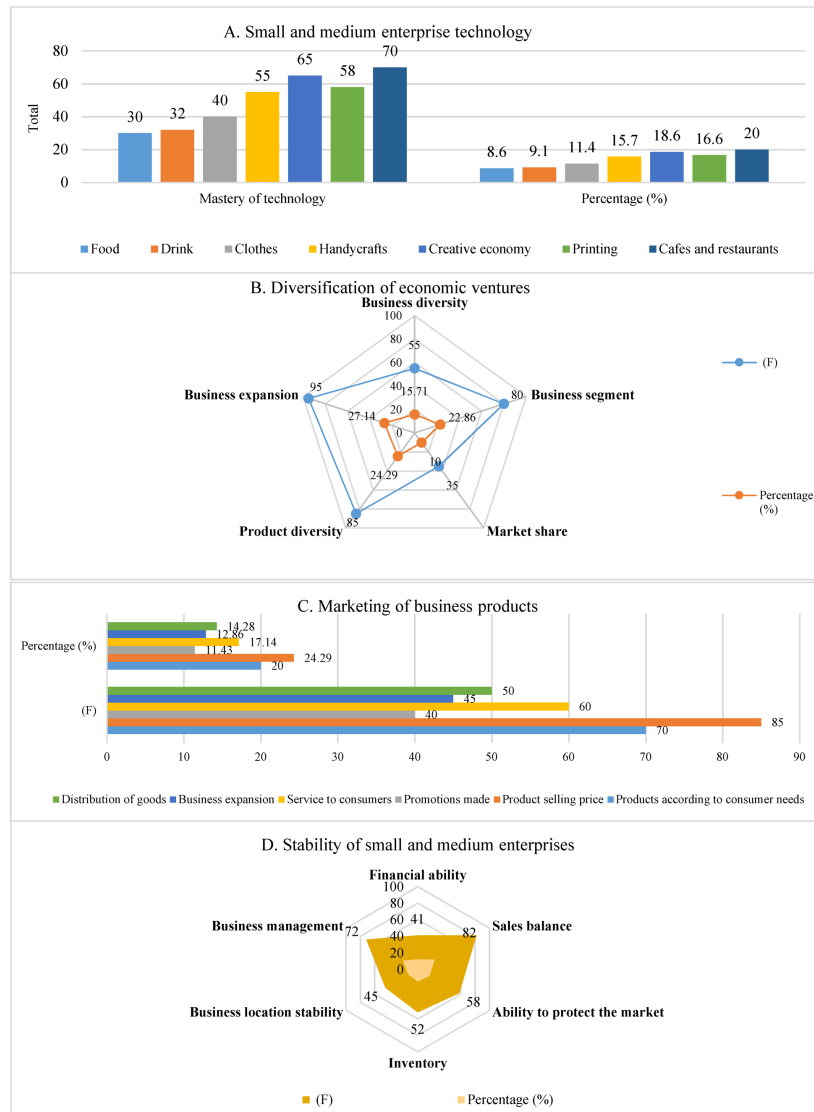
After extensive investigation into various kinds of industrial manufacturing and service sector procedures, a few key tactics that may be quite helpful from an Indian perspective were initially offered. Together with the prospective areas of use for those tactics, a practical implementation of how to use such strategies in a particular situation has also been discovered. Information from primary and secondary sources was combined to create the study's data set. The paper's primary sources were various company personnel, while its secondary sources included the internet, foreign periodicals, and books.

Economic research has long focused on the importance of innovation in understanding economic success, but many issues remain. How we gauge innovation is one of the major issues. We can only make inferences about the relationships between productivity, company performance, and the adoption of new ideas by enhancing the data we have at the firm level.

Examine relationships between launch activity and company productivity while accounting for firm diversity and prior IP, our findings demonstrate that launch activity, particularly in the service sector, is linked to improved SME productivity. According to the findings regarding the productivity of SMEs, an increase of 1 standard deviation in the likelihood of launching a product (extensive margin) results in a 2.7% increase in revenue productivity, while an increase in the number of products launched (intensive margin) results in a 3.9% increase in revenue productivity. As firm media events affect the underlying sample selection, these results are calculated on a sample of businesses that have received media attention. It's interesting to see that patents don't seem to matter after product releases are taken into account in the model, while trademarks still play a role.

| | Log revenue/worker | | Rev/worker growth | | High-growth episodes | |
|---|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| L.new product launch | 0.064*** (0.019) | | 0.000 (0.007) | | -0.006 (0.005) | |
| L2.15% depreciated PCT / EPO/US patent count | 0.004 (0.007) | 0.005 (0.007) | -0.006* (0.003) | -0.006* (0.003) | 0.002 (0.002) | 0.002 (0.002) |
| L2.15% depreciated TM count | 0.081*** (0.024) | 0.081*** (0.024) | 0.002 (0.005) | 0.002 (0.005) | 0.003 (0.005) | 0.003 (0.005) |
| Ave pre-2009 patenting | 0.072 (0.057) | 0.070 (0.058) | 0.009 (0.022) | 0.009 (0.022) | 0.029* (0.016) | 0.029* (0.016) |
| Firm patents pre-2009 | -0.223* (0.116) | -0.217* (0.116) | 0.014 (0.043) | 0.014 (0.043) | -0.019 (0.029) | -0.020 (0.029) |
| Observations | 27019 | 27019 | 27019 | 27019 | 27019 | 27019 |
| R ² | 0.166 | 0.165 | 0.010 | 0.010 | 0.023 | 0.023 |

Source: BSD / CH / GI / Orbis / UKIPO



Examples of SMEs: (A) technological innovation, **(B)** business diversification, **(C)** product marketing, and **(D)** business stability. Source: primary data.

Launch quality, launch importance and firm revenue productivity, SMEs with events, 2014-2017.

| | Log rev/worker 1 | Rev/worker growth 2 | High growth episodes 3 |
|--|---------------------|------------------------|---------------------------|
| A. L.total launch reports, main Topic | 0.000*** | -0.000** | -0.000 |
| R^2 | (0.000) | (0.000) | (0.000) |
| | 0.166 | 0.010 | 0.023 |
| B. L.weighted launch reports, main topic | 0.000 | -0.000 | -0.000 |
| R^2 | (0.000) | (0.000) | (0.000) |
| | 0.165 | 0.010 | 0.023 |
| C. L.firm has important launch, main topic | 0.168*** | -0.027 | -0.007 |
| R^2 | (0.052) | (0.018) | (0.013) |
| | 0.166 | 0.010 | 0.023 |
| D. L.count of important launches, main topic | 0.218*** | -0.014 | -0.002 |
| R^2 | (0.069) | (0.016) | (0.014) |
| | 0.166 | 0.010 | 0.023 |
| Observations | 27019 | 27019 | 27019 |

Source: BSD/CH/GI/Orbis/UKIPO

By examining the manufacturing and service sectors, company age, and size, we broaden the scope of the investigation. While for manufacturing enterprises new patenting is connected to poorer productivity and historic patenting to greater productivity, explaining the initial cost of patenting and its long-term consequences in this sector, service companies drive both the effects on the product launches and trademarks. According to the number of mentions, we discover a substantial association between big launches and productivity. Companies that have at least one launch have revenue productivity that is 17% higher, and each additional important launch boosts productivity by 22%.

Conclusion

Our research demonstrates the need for improved innovation data to capture inside firm mechanisms and behaviors. Ignoring the reality that businesses make strong selections for IP-related activities might lead to erroneous findings and poorly informed policymakers. Finally, we think there is room for significant development in this direction,

particularly in terms of data. Although it is challenging to measure using conventional statistics, we think that technological progress is a major factor in the rise in productivity. By creating new approaches to view organizations' inventive behavior based on online scraping and natural language processing, we provide something new to the traditional literature on innovation in firms, where we know that patents and surveys remain the predominant indicators. Innovative tools will enhance the measurement of a number of economic concerns, hopefully directly affecting the caliber of policymaking.

References

1. *F.D. Gault, W. Pattinson*. Innovation in service industries: The measurement Issues. Voorburg Group Meeting, September 11-15, 1995. The Netherlands. P: 03.
2. *Marxt and F. Hacklin*. Design, Product Development, Innovation: All the same in the end? A short discussion on terminology. International Design Conference, Design 2004. Dubrovnik, May 18-21.2004. P:4.
3. *Mak. Joshi*. Innovations in Marketing, Business innovation conference, September, 10.2008. Wheatonil.
4. *Mingaleva Zh.A. and I.I. Platinyuk*, 2011. Analysis and Assessment of Innovation Potential of an Enterprise. Nauchno-Tekh. Vedomosti St. Petersburg. Politekh. Univ., 125: 133-138.
5. *Cohen W.*, 1995. Empirical Studies of Innovation Activity. In Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change. Ed., P. Stoneman, Oxford: Blackwell.
6. *Cohen W.M. and D. Levinthal*, 1989. Innovation and Learning: Two Faces of R&D. The Economic Journal, 99: 569-596.
7. *Acs Z.J., and Audretsch D.B.* (1990), Innovation and Small Firms, MIT Press, Cambridge MA.
8. *Benavente H.J.M.* (2006), The role of research and innovation in promoting productivity in Chile, Economics of Innovation and New Technology 15, 301-315.
9. *Crepon B., Duguet E. and Mairesse J.* (1998), Research, innovation, and productivity: An econometric analysis at the firm level, Economics of Innovation and New Technology 7, 115-156.
10. *Hall B.H., Lotti F. and Mairesse J.* (2011), Evidence on the impact of R&D and ICT investment on innovation and productivity in

Italian firms, revised version of paper presented at the Concord 2010 Conference, Seville, Spain, March 2010.

11. *Arundel A. and Hollanders H.* Innovation Strengths and Weaknesses, Brussels: European Commission, DG Enterprise, EIS 2004 Thematic paper, 2005.

12. *Coelli Timothy J., D.S. Prasada Rao, Christopher J. O'Donnell and George E. Battese.* An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Springer, 2nd edition, 2005.

13. *Aral S. and Weill P.* "IT Assets, Organizational Capabilities & Firm Performance: How Resource Allocations and Organizational Differences Explain Performance Variation," *Organization Science* (18), 2007, pp. 763-780.

14. *Benner M.J. and Tushman M.L.* "Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited," *Academy of Management Review* (2), 2003, pp. 238-256.

15. *Dess G.G. and Beard D.W.* "Dimensions of Organizational Task Environments," *Administrative Science Quarterly* (29:1), 1984, pp. 52-73.

16. *Janz N., Loof H. and Peters B.* (2003), Firm level innovation and productivity – Is there a common story across countries?, ZEW Discussion Paper 03-26, Mannheim.

17. *van Leeuwen, G.* (2002), Linking innovation to productivity growth using two waves of the community innovation survey, OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2002/8, Paris.

18. *Loof H. and Heshmati A.* (2006), On the relationship between innovation and performance: A sensitivity analysis, *Economics of Innovation and New Technology* 15, 317-344. Loof, H., Hesh

19. *Masso J. and Vahter P.* (2008), Technological innovation and productivity in latetransition Estonia: Econometric evidence from innovation surveys, *European Journal of Development Research* 20, 240-261.

20. *Peters B.* (2006), Productivity effects of innovation activities, in B. Peters, *Innovation and Firm Performance: An Empirical Investigation for German Firms*, PhD thesis, University of Würzburg.

ИННОВАЦИИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ: ПОВЫШЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

К.Т. Сахария, М.Р. Бадхан

Кафедра инновационного менеджмента в отраслях

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. Инновации рассматриваются как ключевой компонент экономической эффективности компании и необходимы для удовлетворения потребителей и удовлетворения их потребностей. В то время, когда у предприятий есть аналогичные варианты продвижения своей продукции с небольшими затратами, требуется придумать новую идею, которая будет реализована на практике, чтобы обеспечить им конкурентное преимущество. Чтобы привести свои портфели активов в соответствие с двумя важными целями производительности, эффективностью и инновациями, предприятия инвестируют в ряд информационных технологий. Универсальная предпосылка предыдущих исследований заключается в том, что портфели активов организаций всегда позволяют реализовать обе цели. Обстоятельства, при которых портфели активов организаций должны быть более ориентированы на эффективность или инновации, очень мало изучены. Здесь мы утверждаем, что при оценке эффективности инновационного процесса тип рынка, на котором конкурирует бизнес, будет иметь основное сдерживающее влияние на взаимосвязь между портфелями активов и производительными результатами инноваций.

Ключевые слова: инновации, производительность, эффективность, твердый, производительность

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧАСТИЯ
КОМПАНИЙ РФ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ
МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТАХ**

Иванов П.И., аспирант

Научный руководитель: Андреева Лариса Олеговна,

к.п.н., доцент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Pvlili498@gmail.com

Аннотация. Целью данной работы является исследование возможностей применения технологии блокчейн в контексте управления высокотехнологичным международным проектом. Методом анализа существующей литературы по данной теме и рассмотрения функциональных возможностей технологии блокчейн. Актуальность данного исследования обусловлена все более широким распространением технологии блокчейн, умных контрактов и различных криптовалют. В данной работе проведен анализ текущей ситуации относительно регулирования блокчейн-технологий в РФ, актуальность и возможность внедрения системы на различные уровни управления частных и государственных компаний.

Ключевые слова: блокчейн, управление проектами, распределенный реестр, смарт-контракт, инновационный менеджмент

Введение

На сегодняшний момент теме блокчейн, криптовалют и умных контрактов уделяется большое внимание различных слоев населения, проявляет интерес государство, инвесторы и акционеры. На данный момент в силу наступающих и наступивших политических и экономических обстоятельств, в частности уход от привычных схем оплаты поставок сырья и экспорта/импорта товаров может быть целесообразным рассматривать технологии децентрализации и повышенной криптографической защиты с точки зрения безопасности и поддержки суверенитета РФ. Также интеграция технологий блокчейн в существующие бизнес-процессы высокотехнологичных компаний позволит повысить эффективность междуна-

родного сотрудничества, безопасность и надежность финансовой системы. В исследовании проводится обзор существующих возможностей применения технологии блокчейн в РФ, рассматриваются правовые и исторические вопросы, проводится анализ существующих путей реализации по внедрению системы в различные области развивающейся цифровой экономики, проведен анализ исследований бизнес-моделей с внедренной технологией блокчейн.

Технологию блокчейн можно описать как реплицированную и распределенную участниками сети (пользователями) базу данных, при помощи которой можно хранить, передавать и отслеживать информацию о совершении группы последовательных операций (транзакций).

Модель системы, структурно схожая с блокчейном в его современном понимании была впервые описана в диссертации криптографом Дэвидом Чаум из США в 1982 году, а в 1991 году математики С. Хабер и У. Скотт Сторнетта уже разработали систему, состоящую из цепочки блоков, связанных между собой и защищенную криптографическим кодом [1].

Первая работа, описывающая технологию блокчейн (blockchain) была написана автором Сатоши Накамото в 2008 году, именно он считается создателем технологии блокчейн и разработчиком первой криптовалюты биткойн (bitcoin) [2, 3]. В том же 2008 году мировой финансовый кризис выявил существенные проблемы в функционировании централизованной банковской системы. Популярность криптовалюты как технологии была достаточно низкой примерно до 2014 года, а в 2017 году произошло сильное удорожание биткойна, что привело к наплыву новых инвесторов, ранее не пользовавшихся данной технологией [4]. На сегодняшний день существует огромное количество централизованных и децентрализованных криптовалют, отличающихся между собой по степени открытости, по объемам транзакций, а также по необходимости идентификации в системе. Криптовалюта, привязанная к реальному валютному курсу или биржевым товарам называется стейблкоином (stablecoin). Некоторые страны уже ввели правовое регулирование данных монет и используют такие валюты для хранения государственных активов. Популярность стейблкоина достигла таких объемов, что количество транзакций со стейблкоинами оказалось больше, чем платежной системой mastercard в 2022 году [5].

Цель

В настоящее время ситуация на мировой арене подталкивает Российскую экономику к глобальным и долгосрочным переменам, что не может не оказать влияния на банковскую и финансовую сферы. Новые расширяющиеся рынки сбыта и взаимного сотрудничества требуют от банковской системы надежности, простоты, быстродействия и прозрачности операций. Модернизация системы банковских операций (или полное перестроение и создание с нуля) позволит Российской Федерации выйти на новый уровень взаимодействия со странами-партнерами и надолго закрепиться в списке стран самых надежных экономик мира. Внутри страны интересна перспектива внедрения системы умных контрактов для исключения коррупции в сфере государственных закупок, снижения комиссии для пользователей различных сервисов, увеличения быстродействия защищенности финансовой системы, предотвращения отмыкания средств.

Целью данного исследования является обзор существующих возможностей, проблем внедрения и рассмотрение возможных достоинств технологии блокчейн и умных контрактов как на территории РФ, так и за ее пределами, в контексте международного сотрудничества. Система расчетов цифровой монетой, обеспеченной золотом может стать эффективным инструментом новой цифровой экономики [6].

Технология блокчейн допускает возможность отсутствия посредников (таких как банк, например) в процессе обмена информацией и средствами между компаниями или владельцами цифровых монет, сохраняя при этом высокую степень защищенности, поскольку информация о транзакциях хранится децентрализованно у всех подключенных к сети, при этом для совершения транзакции необходимо одобрение от определенного процента участников. Запись о каждой новой транзакции остается в виде кэша и в последующих, что практически исключает риск подделки или фальсификации данных [7]. На рис. 1 приведена схема совершения транзакции между владельцами кошельков данной технологии.

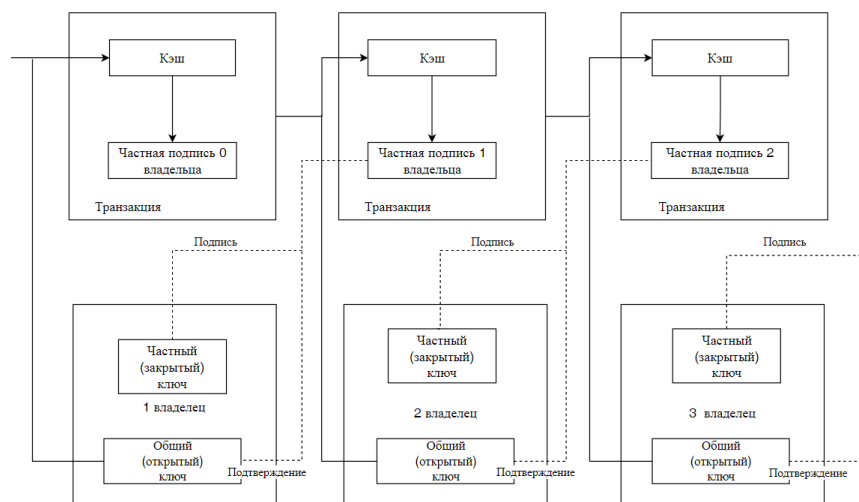


Рис. 1. Схема работы цепочки блоков

Материалы и методы исследования

Общий принцип совершения транзакции технологии блокчейн можно описать следующим образом.

Каждый владелец цифровой валюты на основе блокчейн имеет 1 частный (закрытый) ключ доступа и 1 открытый, доступный всем остальным участникам сети ключ, который может использоваться для приема цифровых денежных средств. Кэш транзакции содержит все данные о предыдущей транзакции и сведения об общем ключе владельца кошелька, с которого проводится следующая транзакция. А также частная подпись владельца, состоящая из подписи закрытого ключа и криптографического подтверждения от открытого ключа.

Благодаря данной достаточно понятной для пользователя структуре блокчейн практически исключает возможность подделки данных о транзакциях, поскольку данные хранятся распределенно между всеми участниками сети. Сильно упрощается возможность финансового анализа компании и увеличивается прозрачность принятия решений топ-менеджмента, что в перспективе может привести к повышению прибыли высокотехнологичной компании примерно в полтора раза [8].

Внедрение таких технологий как блокчейн и умных контрактов в перспективе сильно изменит рыночную ситуацию, взаимодействие между корпорациями, приведет к появлению новых сервисов и уходу с рынка сервисов-посредников. Отказ от фирм-посредников посредством умных контрактов позволит пользователям и представителям услуг сократить траты на комиссию, которая может достигать до 25% от конечной стоимости [23].

Применение технологии блокчейн не ограничивается только финансовой областью, существует еще несколько направлений, где данная технология уже активно интегрируется в существующие бизнес-процессы. Одним из таких направлений является применение умных (smart) контрактов. Стоит отметить, что умные контракты не обязательно могут быть реализованы в среде блокчейн, но применение именно с данной технологией дает ощутимые плюсы.

Одним из определений, согласно проекту Федерального закона № 419059-7 «О цифровых финансовых активах» смарт – контракт это: договор в электронной форме, исполнение прав и обязательств по которому осуществляется путем совершения в автоматическом порядке цифровых транзакций в распределенном реестре цифровых транзакций в строго определенной таким договором последовательности и при наступлении определенных им обстоятельств. Однако данное определение было исключено из проекта, и в Федеральном законе такого определения нет [9]. В Федеральном законе от 18.03.2019 № 34-ФЗ даны следующие положения:

1. «Условиями сделки может быть предусмотрено исполнение ее сторонами возникающих из нее обязательств при наступлении определенных обстоятельств без направленного на исполнение обязательства отдельно выраженного дополнительного волеизъявления его сторон путем применения информационных технологий, определенных условиями сделки...» (ч. 2 ст. 309 ГК РФ).

2. «Договор в письменной форме может быть заключен путем составления одного документа (в том числе электронного), подписанного сторонами, или обмена письмами, телеграммами, электронными документами либо иными данными...» (ч. 2 ст. 434 ГК РФ).

В Российской Федерации на данный момент в области строительства действует Приказ Минстроя России от 14 января 2020 года № 9/пр «Об утверждении типовых условий контрактов на выполнение работ по строительству (реконструкции) объекта капи-

тального строительства и информационной карты типовых условий контракта». Данный приказ позволяет составлять цифровые умные контракты для строительно-монтажных работ в портале исполнения контрактов (ПИК).

Использование умных контрактов в области строительства за 2021 в Московской области составило почти 70% [10]. В 2022 году количество умных контрактов по области составило уже около 80%. Одним из преимуществ является быстрое время составления умного контракта, для подготовки шаблонного контракта требуется не более 15-30 минут, а благодаря заданным в программное обеспечение требованиям к контракту, уменьшается риск ошибок при составлении контрактов. Использование данной технологии позволяет отойти от индивидуальной «сборки» договора к конвейерному типу составления контрактов [11].

Результаты

Блокчейну предсказывают широкое распространение как в государственном, так и в коммерческом секторах [21]. Можно предполагать, что уже на данный момент возможно полноценное использование продукта для коммерческих целей, однако, на данный момент существует ряд препятствий, в частности:

1) Сложность внедрения технологии.

Перспектива применения систем на основе технологии блокчейн безусловно очевидна для всех сторон бизнес - процесса, но внедрение инновационной технологии усложнено отсутствием опыта широкого применения данной технологии, поскольку внедрение таких сложных систем в организационную структуру высокотехнологичных компаний требует, как правило, большого количества разработчиков, архитекторов системы, системных аналитиков, тестировщиков. Позволить себе команду высокого уровня для выполнения задач по разработке и внедрению новых систем и различных сервисов с использованием блокчейн могут пока что по большей части компании ИТ-гиганты, при всем при этом возможности по внедрению технологии в государственный сектор уже есть, примером тому может служить разработанная для ЦБ РФ блокчейн-платформа Мастерчейн (Masterchain), Российская национальная блокчейн-сеть. Развитием платформы «Мастерчейн» занимается Ассоциация ФинТех. В Ассоциацию входят: Банк России, Сбербанк,

банк ВТБ, Альфа-Банк, Газпромбанк, Банк «Открытие», Национальная система платежных карт КИВИ банк, Банк АК БАРС, РНКО Платежный центр, «Тинькофф банк» и Райффайзенбанк, ассоциированные члены: БинБанк, СКБ-Банк, Совкомбанк, Промсвязьбанк, ПАО «МТС», МБ Инновации, Ростелеком и Внешэкономбанк (ВЭБ).

2) Ограничения возможностей и границы применения системы.

Несмотря на кажущуюся понятность и простоту блокчейн – достаточно сложная для разработки технология, что накладывает определенные сложности в понимании ее возможностей как пользователей, так и контролирующих органов. При внедрении технологии в организационную структуру необходимо создать информационную базу с описанными требованиями, архитектурой и моделью системы в виде схем. Также по возможности максимально донести пользователям системы необходимые сведения для успешной и эффективной работы, возможно провести обучающие семинары для сотрудников, подготовить инструкции.

3) Сложности в подготовке кадров.

Постоянно меняющиеся требования рынка приводят к растущему для развития системы количеству специалистов в области блокчейн, а также разработки ПО, его проверок, сертификаций, анализа и учета новых требований. Данную проблему нельзя назвать новой, на Российском ИТ-рынке специалистов дефицит кадров наблюдается уже не один десяток лет. Для решения данной проблемы лаборатория блокчейн Сбербанка и СберУниверситет в 2022 году запустили образовательную программу по децентрализованным финансам.

4) Юридические аспекты.

Судебной и правовой системе РФ предстоит еще достаточно трудоемкие процессы апробации, тестирования, ввода и внедрения систем контроля, анализа и систем учета данной отрасли, предстоит составление технических регламентов, требований, ввод новых определений и правил для полноценного урегулирования аспектов технологии блокчейн и умных контрактов в юридической плоскости. В 2021 правительство РФ утвердило использование платформы Мастерчейн для обмена данными в ходе эксперимента цифровой экономики.[25] В июле 2022 года была реализована платформа Мастерчейн 2.0 с опубликованной технической документацией.

5) Определение бизнес-потребностей и готовность бизнеса к изменениям.

Перед полномасштабным внедрением технологии необходимо четко определить ее области применения и бизнес-потребности, которые будут удовлетворяться. Для адекватного распределения ресурсов на разработку и внедрении системы имеет смысл предварительно проанализировать ситуацию у зарубежных коллег по рынку, проконсультироваться с разработчиками блокчейн решений. Внедрение блокчейн коснется большого количества компаний разного уровня, что потребует вложений как человеческих ресурсов, так и финансовых, временных.

6) Сложности международного регулирования.

Использование блокчейн в корпоративных сетях международного уровня требует определенного соответствия нормативно – правовой базы в двух различных странах. Данная ситуация, по мнению автора, может решиться созданием международных групп и комиссий по регулированию и стандартизации странами, взаимодействие и сотрудничество между которыми уже существует в каких – то других сферах (импорт газа/нефти, товаров широкого потребления и т.д.).

7) Проблемы объединения различных блокчейн систем.

На данный момент уже существует большое количество блокчейн-сетей, и лишь некоторые из них способны интегрироваться с другими сетями. Российскими экспертами были разработаны методические рекомендации МР 159.5.001 – 2020 «Протокол обмена сообщениями между распределёнными реестрами с децентрализованным подтверждением пересылаемых сообщений».[22] Данные методические указания позволяют создать консорциумную сеть из различных корпоративных блокчейнов. Если к сети хочет подключиться новый участник, то ему необходимо создать «мост» – программное обеспечение, обеспечивающее взаимодействие маршрутизирующей и корпоративной сети, а также узел маршрутизирующей сети.

Для создания сети блокчейн, где необходима возможность контроля и повышения уровня быстродействия и обеспечения большего доверия между участниками сделки лучше всего подходят блокчейн закрытого типа. Блокчейн закрытого типа – такой тип блокчейна, при котором все участники сделки должны быть пригла-

шены в сеть, прежде чем они смогут стать его частью. Транзакции в данном случае видны только участникам сети, управлять же системой могут как все юзеры, так и определенные стороны, группы лиц. Возможно создание участников с разными уровнями доступа, что позволяет принять участие в данной сети контролирующего органа, который может управляться группой лиц [13]. Особенно перспективным является возможность использования технологии блокчейн в цепочках поставок. Применение технологии может крайне сильно облегчить процесс взаимодействия между провайдерами поставок различного уровня и производителями, когда необходим контроль выгрузки товара, складирования и автоматического управления логистическими процессами.

Использование технологии блокчейна закрытого типа может найти применение в корпоративных сетях для следующих целей:

- оплаты поставок;
- исполнения обязательств;
- исключения и крайнего уменьшения коррупционной составляющей;
- повышения доверия между участниками сети продаж и поставок;
- снижения нагрузки на бухгалтерию участников сделки;
- уменьшения времени составления договоров.

В блокчейне открытого типа пользователь любого класса может вносить, читать, а также участвовать в цепочке транзакций. Основным достоинством данного подтипа является полная распределенность (децентрализованность) работы системы, так как каждый участник сети имеет равные права. Примером такого типа блокчейна являются криптовалюты. Интересной вариацией является блокчейн требующий разрешения на чтение, но не запись, что оказалось удобным в сфере страхования для автоматического запуска возмещения при выполнении условий смарт контракта [24].

Обсуждение

В системах блокчейн имеется возможность проведения анонимного голосования без возможности подделки голоса и автоматизированного процесса вынесения итогового решения с применением технологии умных контрактов. В таком сценарии изначально заложена возможность вынесения решения на основе анализа

результатов голосования при помощи систем принятия решений (СППР), учитывающего количество участников, статус голосующего в системе, его функциональные возможности в системе, права доступа.

В современных СППР существует перспектива возможности использования блокчейн сетей, где имеется определенный вес каждого из участников сети, что позволяет создать самоорганизующуюся иерархическую структуру, на основе которых могут приниматься решения различного уровня с заранее прописанными и криптографически защищенными условиями исполнения.

Заключение

Анализ существующих исследований показывает, что использование инструментов блокчейн является перспективным направлением для повышения эффективности корпоративного управления [14].

На данный момент основным недостатком и особенностью умных контрактов является сложность процесса изменения контракта, внесение правок и т.д. Специалисты разных стран работают над упрощением процесса внесения изменений, в особенности усилия направлены на разработку такого программного кода, который позволял бы вносить изменения в контракт при обстоятельствах, которые ранее не были описаны в условиях контракта. На данный момент времени становится очевидна необходимость внедрения технологии блокчейн в самые различные отрасли промышленности, финансовую сферу, сферу государственного регулирования. Описанные в работе аспекты внедрения технологии блокчейн и умных контрактов позволяют предположить, что при грамотной, систематизированной работе, основанной как на международном сотрудничестве, так и при помощи государственной поддержки, внедрение и разработка блокчейн сетей для повышения эффективности участия РФ в международных высокотехнологичных проектах вполне осуществима и перспективна в ближайшие десятилетия.

Нормативно – правовая база.

1) Конституция Российской Федерации: [принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г. с изменениями, одоб-

ренными в ходе общероссийского голосования 01 июля 2020 г.] // Официальный интернет–портал правовой информации. (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/) (Дата обращения: 15.03.23).

2) Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) [статья 1225]: от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 16.12.2021) // Собрание законодательства РФ. – 05.12.1994. (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/) (Дата обращения: 15.03.23).

3) Федеральный закон от 18.03.2019 № 34-ФЗ. (URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201903180027>) (Дата обращения: 15.03.2023).

4) Приказ Минстроя России от 14 января 2020 года № 9/ пр «Об утверждении типовых условий контрактов на выполнение работ по строительству (реконструкции) объекта капитального строительства и информационной карты типовых условий контракта». (URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/70220/>) (Дата обращения: 15.03.2023).

Список литературы

1. *Валерий Забелин*, интернет-ресурс Банки Сегодня Что такое блокчейн: объясняем технологию максимально просто и на примерах. (URL: <https://bankstoday.net/last-articles/blokcheyn>).

2. *Чурилов А.Ю.* Использование технологии блокчейн: платежная система, «умные» контракты, принятие коллегиальных решений, хранение информации / А. Ю. Чурилов // Право в сфере Интернета : Сборник статей / Ответственный редактор М. А. Рожкова. – Москва : ООО «Издательство «СТАТУТ», 2018. – С. 144–158. – EDN YPJMHJ. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36521769>) (Дата обращения: 15.03.2023).

3. *Satoshi Nakamoto*. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System (URL: [https:// bitcoin.org/bitcoin.pdf](https://bitcoin.org/bitcoin.pdf)) (Дата обращения: 15.03.2023).

4. *Валерий Цегоев*, История одной монеты: как биткоин повлиял на мировой финансовый рынок за десять лет своего существования, новостной портал RT. (URL: <https://ru.rt.com/c74z>) (Дата обращения: 15.03.2023).

5. *Дмитрий Носков* В 2022 году стейблкоины обогнали Mastercard по объему операций (URL: <https://www.if24.ru/v-2022-godu-steyblkoiny-obognali-mastercard-po-obemu-operatsij/>) (Дата обращения: 15.03.2023).

6. *Евгений Каминский* «Золотой» токен: зачем России и Ирану совместный стейблкоин (URL: <https://ko.ru/articles/zolotoy-token-zachem-rossii-i-iranu-sovmestnyy-steybkoin/>) (Дата обращения: 15.03.2023).

7. *Пряников М.М., Чугунов А.В.* Блокчейн как коммуникационная основа формирования цифровой экономики: преимущества и проблемы // International Journal of Open Information Technologies. 2017. № 6. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-kak-kommunikatsionnaya-osnova-formirovaniya-tsifrovoy-ekonomiki-preimuschestva-i-problemy>) (Дата обращения: 13.02.2023).

8. Применение технологии блокчейн в проектах цифровой трансформации производства / Гарина И. О. // Управление научно-техническими проектами : материалы IV Международной научно-технической конф., Москва, 3 апреля 2020 г. / МГТУ им. Н. Э. Баумана (Нац. исслед. ун-т). – М., 2020. – С. 41–44. (URL: <https://libra-ry.bmstu.ru/Catalog/Details/550466>) (Дата обращения: 15.03.23).

9. *Белов В.А.* Смарт-контракты: применение в договорной практике. Юрист компании. (URL: <https://www.law.ru/article/22127-smart-kontrakty>) (Дата обращения: 15.03.2023).

10. *Королихин В.В.* Применение технологии «Умный контракт» в Московской области / В. В. Королихин, О. Г. Дьяченко // Госзаказ: управление, размещение, обеспечение. – 2021. – № 66. – С. 42–51. – EDN VDR0MX. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42989596>) (Дата обращения: 15.03.2023).

11. *Королихин В.В.* Комплексный подход к цифровизации - опыт Московской области / В. В. Королихин, О. Г. Дьяченко // Журнал Бюджет. – 2021. – № 1(217). – С. 37–41. – EDN VMYKHJ (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44757537>) (Дата обращения: 15.03.2023).

12. Система автоматизации процесса управления государственными и муниципальными закупками – Автоматизированный Центр Контроля – Государственный и муниципальный заказ («АЦК – Госзаказ» / «АЦК – Муниципальный заказ») (URL:

<https://bftcom.com/products/upravlenie-zakupkami/atsk-goszakaz/>
(Дата обращения: 15.03.2023).

13. Гордеев В.В., Громов О.В., Громов В.К., Литинский Г.И., Самойленко В.М. ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН В СМАРТ-КОНТРАКТАХ НА ЗАПРАВКУ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ // Научный вестник МГТУ ГА. 2021. № 5. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-blokcheyn-v-smart-kontraktah-na-zapravku-vozdushnyh-sudov-grazhdanskoy-aviatsii>) (Дата обращения: 15.03.2023).

14. Пряников М.М., Чугунов А.В. Блокчейн как коммуникационная основа формирования цифровой экономики: преимущества и проблемы // International Journal of Open Information Technologies. 2017. № 6. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-kak-kommunikatsionnaya-osnova-formirovaniya-tsifrovoy-ekonomiki-preimuschestva-i-problemy>) (Дата обращения: 13.02.2023).

15. Качмашев О.Е. Применение технологии блокчейн при управлении цепочками поставок / О. Е. Качмашев // Логистика и управление цепями поставок : Сборник научных трудов / Под редакцией В. В. Щербакова, Е. А. Смирновой. Том Выпуск 3(16). – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – С. 85–88. – EDN ZCVZHV. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36687878>) (Дата обращения: 15.03.2023).

16. Бинчжан Л. Схема использования технологии блокчейн в цепочках поставок в транспортных узлах / Л. Бинчжан // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19. – № 4(86). – С. 536–545. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-4-536-545. – EDN OTBRNI. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shema-ispolzovaniya-tehnologii-blokcheyn-v-tsepochkah-postavok-v-transportnyh-uzlah>) (Дата обращения: 15.03.2023).

17. Самусевич В.Е. Анализ развития системы биткоин и блокчейн / В. Е. Самусевич // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 6. – EDN LVRNPJ. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50397604>) (Дата обращения: 15.03.23).

18. Бакуменко Л.П. Классификация методом опорных векторов мошеннических программ кражи Биткойна / Л. П. Бакуменко,

Н. С. Васильева // Учет и статистика. – 2022. – № 4(68). – С. 112–122. – DOI 10.54220/4595.2023.44.52.012. – EDN MCXXSX. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50370589>) (Дата обращения: 15.03.23).

19. Галанов А.Э. Нейронные сети и нейронные технологии / А. Э. Галанов, Г. П. Селюкова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : Сборник материалов ЛП Международной студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 29 марта 2019 года. Том Часть 2. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2019. – С. 399–405. – EDN YVXCYG. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38585520>) (Дата обращения: 15.03.2023).

20. Разработка элементов распределенной библиотеки на базе распределенного реестра для систем мониторинга и диагностики / Э. В. Мельник, И. С. Пуха, М. В. Орда-Жигулина, Д. В. Орда-Жигулина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 349–357. – EDN UIIVJZ. (URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44895021>) (Дата обращения: 15.03.2023).

21. Умаров Х.С. Влияние блокчейн-технологий на трансформацию государственных и корпоративных процессов / Х. С. Умаров // Дискуссия. – 2021. – № 6(109). – С. 28–36. – DOI 10.46320/2077-7639-2021-6-109-28-36. – EDN NGQBHZ. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-blokcheyn-tehnologiy-na-transformatsiyu-gosudarstvennyh-i-korporativnyh-protsessov>) (Дата обращения: 15.03.2023).

22. Илья Дружинин, Ассоциация ФинТех// Без швов. Как решить главную проблему для корпоративных блокчейн-решений/ (URL: https://ib-bank.ru/bisjournal/post/1524?fbclid=IwAR3a8Z-vSAyzmlWuUWQJ0UEQb5QePYh1W9I2S-mjDouqjxTmeWwJ1_C9j4) (Дата обращения: 15.03.2023).

23. Рябко Виолетта Владимировна, Васильева Татьяна Владимировна БЛОКЧЕЙН: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ // Вопросы развития современной науки и техники. 2021. № 4. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-problemy-i-perspektivy-razvitiya>) (Дата обращения: 02.03.2023).

24. Волошин Игорь Петрович. Типы блокчейн и анализ экономических характеристик // ИБР. 2018. № 4 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/typy-blokcheyn-i-analiz->

ekonomicheskikh-harakteristik (дата обращения: 02.03.2023) (Дата обращения: 15.03.2023).

25. Collective, Anon, editor. "Bitcoin Anonymous?: Of Trust in Code and Paper." Book of Anonymity, Punctum Books, 2020, pp. 433–

46. JSTOR, (URL: <https://doi.org/10.2307/j.ctv1jf2c5t.30>) (Дата обращения: 15.03.2023).

26. *Pribyl O., Pribyl P., Lom M., Svitek M.* Modeling of Smart Cities based on ITS architecture, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazin, Issue 1, 2019. (URL: https://www.researchgate.net/publication/328764347_Modeling_of_Smart_Cities_Based_on_ITS_Architecture) (Дата обращения: 15.03.2023)

27. *Turpin, Jonathan B.* "Bitcoin: The Economic Case for a Global, Virtual Currency Operating in an Unexplored Legal Framework." Indiana Journal of Global Legal Studies, vol. 21, no. 1, 2014, pp. 335–68. JSTOR, (URL: <https://doi.org/10.2979/indjglolegstu.21.1.335>.) (Дата обращения: 15.03.2023).

28. *Krishnan, Armin.* "Blockchain Empowers Social Resistance and Terrorism Through Decentralized Autonomous Organizations." Journal of Strategic Security, vol. 13, no. 1, 2020, pp. 41–58. JSTOR, (URL: <https://www.jstor.org/stable/26907412>) (Дата обращения: 15.03.2023).

EXPLORING THE POSSIBILITIES OF APPLYING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF RUSSIAN COMPANIES PARTICIPATION IN HIGH-TECH INTERNATIONAL PROJECTS

Ivanov P.I.

RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. The purpose of this paper is to explore the application of blockchain technology in the context of managing a high-tech international project. By analyzing the existing literature on this topic and considering the functionality of blockchain technology. The relevance of this study is due to the increasing spread of blockchain technology, smart contracts and various cryptocurrencies. In this paper,

the analysis of the current situation regarding the regulation of blockchain-technology in the Russian Federation, the relevance and possibility of implementing the system at various levels of private and public companies.

Key words: blockchain, project management, distributed registry, smart contract, innovation management

АНАЛИЗ ОТКРЫТЫХ БАЗ ДАННЫХ ЭЭГ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕНТАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ СОТРУДНИКОВ ИННОВАЦИОННЫХ КОРПОРАЦИЙ

Толманова В.В.

1042210065@pfur.ru

Андриков Д.А., к.т.н.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Andrikov-da@rudn.ru

Аннотация. Ментальная нагрузка, также известная как когнитивная нагрузка, относится к усилию, которое необходимо для выполнения задачи или обработки информации. Она может быть измерена с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ), которая записывает электрическую активность мозга. База данных ЭЭГ содержит записи сигналов мозга, которые могут быть использованы для анализа ментальной нагрузки и других показателей когнитивной функции. Этот метод может быть использован для исследования психического здоровья, когнитивных нарушений, поведения и принятия решений.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, база данных, частотные диапазоны, диагностика эпилепсии, программное обеспечение

Введение

Одним из существующих механизмов оценки ментальной нагрузки являются методы физиологического мониторинга. Они базируются на измерении параметров физиологических функций, таких как частота сердечных сокращений, изменения электроэнцефалограммы, изменения размера зрачков и другие. Эти методы используются для определения уровня напряжения и утомления.

Основная часть

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) – это метод исследования мозговой активности, основанный на регистрации электрических потенциалов, генерируемых головным мозгом. Для получения ЭЭГ используется электродная система, которая размещается на голове

пациента. Электроды регистрируют электрические сигналы, генерируемые мозгом в процессе его функционирования.

Исследование проводится в покое, при закрытых и открытых глазах, во время выполнения заданий или при стимуляции пациента звуком, светом или другими средствами. Результаты ЭЭГ позволяют оценить функциональное состояние головного мозга, обнаружить наличие патологических изменений в его работе и выбрать оптимальную тактику лечения.

ЭЭГ является безопасной, неинвазивной и безболезненной процедурой, которая может быть проведена как у взрослых, так и у детей.

Для диагностики эпилепсии с помощью ЭЭГ проводят электроэнцефалографическое исследование. Во время этой процедуры на голову пациента надевается набор электродов, которые регистрируют электрическую активность мозга.

Затем пациенту предлагают выполнить задания, которые могут вызвать эпилептические приступы, такие как фотосветовая стимуляция или гипервентиляция. Во время этих событий мозг может проявлять нерегулярную активность, отражающую эпилептические приступы.

Перед проведением ЭЭГ необходимо дать пациенту инструкции о том, что ему следует чувствовать себя комфортно, не двигаться и не говорить во время исследования, чтобы получить наиболее точные результаты.

Если в результате исследования выявляется эпилепсия, то это помогает определить форму и характер заболевания и назначить наиболее эффективное лечение.

Как правило, показатели ЭЭГ головного мозга описываются в виде частотных диапазонов:

- Дельта-ритм (0,5-4 Гц) – низкочастотный ритм, который преобладает в глубоком сне;
- Тета-ритм (4-8 Гц) – ритм, характерный для глубокого медитативного состояния, реверберации сна и психопатологических состояний;
- Альфа-ритм (8-13 Гц) – ритм, характерный для состояния покоя и расслабления;
- Бета-ритм (14-30 Гц) – ритм, характерный для активного мышления, концентрации внимания, а также стрессовых и тревожных состояний;

- Гамма-ритм (более 30 Гц) – ритм, характерный для высокой концентрации внимания и сознательного контроля.

Помимо этого, оцениваются и другие параметры: амплитуда (величина колебаний тока), длительность волн, латентность (время между стимулом и появлением реакции в мозге), асимметрия (отличия в активности мозговых полушарий) и т. д. Комбинация разных параметров и ритмов может указывать на определенные состояния мозга, например, наличие эпилептической активности, органических нарушений, интеллектуальных способностей и т. д.

Для диагностики эпилепсии по ЭЭГ проводятся следующие шаги:

- Регистрация ЭЭГ. Электроды устанавливаются на голове пациента, чтобы зарегистрировать электрическую активность мозга.

- Идентификация эпилептиформных разрядов. Во время регистрации могут появиться эпилептиформные разряды, которые выглядят как периодические изменения электрической активности мозга. Эти разряды могут присутствовать во время приступов эпилепсии или появляться вне приступов.

- Классификация эпилептиформных разрядов. Эпилептиформные разряды классифицируются подробнее на основе их формы, частоты и расположения на голове. Некоторые типы разрядов связаны с определенными типами эпилепсии.

- Определение электроклинической корреляции. Если эпилептиформный разряд совпадает во времени с клиническим приступом, то это называется электроклинической корреляцией. Это подтверждает диагноз эпилепсии.

- Оценка результатов. Результаты ЭЭГ анализируются врачом, который может определить наличие эпилепсии и ее тип, а также рекомендовать лечение.

Базы данных ЭЭГ – это коллекции данных ЭЭГ, содержащие информацию о регистрировании электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Базы данных ЭЭГ используются для различных задач, таких как диагностика эпилепсии, исследование мозговой активности и разработка когнитивных интерфейсов [1, 2].

Существует множество баз данных ЭЭГ, некоторые из которых являются открытыми и доступны для свободного использования и скачивания, например:

- PhysioNet – коллекция баз данных физиологических сигналов, включая ЭЭГ.

- EEGBase – база данных ЭЭГ, содержащая электроэнцефалограммы здоровых людей и пациентов с различными заболеваниями.
- BCI Competition – коллекция данных, используемая для разработки когнитивных интерфейсов.
- OpenMIPR – база данных, содержащая многочисленные датасеты ЭЭГ, полученные в результате исследований музыкального восприятия и импровизации.
- eegrepository – открытая база данных ЭЭГ, содержащая данные об электроэнцефалограмме и других физиологических показателях.

Использование таких баз данных позволяет улучшить качество исследований, снизить время и затраты на сбор данных и повысить точность диагностики.

В базах данных ЭЭГ содержатся записи электрической активности мозга в виде графиков, которые были получены с помощью электроэнцефалографии. Кроме того, базы данных могут содержать информацию о клинических характеристиках пациентов (возраст, пол, диагноз), а также о способах обработки и анализа данных. Некоторые базы данных могут также содержать информацию о событиях (например, эпилептические припадки), которые могут быть связаны с изменениями в электрической активности мозга. Эти данные могут быть использованы для исследования не только нормальной, но и патологической активности мозга, а также для разработки новых методов диагностики и лечения различных заболеваний [3, 4].

Для открытия файлов из базы данных ЭЭГ необходимо использовать специализированное программное обеспечение для обработки и анализа ЭЭГ-данных. Некоторые из таких программ включают в себя:

- EEGLAB
- BrainVision Analyzer
- EDFbrowser
- FieldTrip

EEGLAB – это бесплатное программное обеспечение для анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ), которое позволяет рассчитывать и анализировать временные, частотные и пространственные

характеристики ЭЭГ для выявления специфических состояний мозга и построения мозговых карт.

Чтобы использовать EEGLAB, необходимо выполнить следующие шаги:

- Установить MATLAB. EEGLAB предназначен для использования с пакетом MATLAB.
- Установить EEGLAB. Программу можно загрузить с официального сайта EEGLAB.
- Загрузить данные. Данные можно загрузить в формате .dat, .edf, .bdf и других форматах.
- Предварительная обработка данных. EEGLAB предоставляет функции для фильтрации данных, вычисления компонент индивидуальных и средних мозговых паттернов.
- Анализ данных. EEGLAB предоставляет функции для анализа данных, такие как IFEEG, показывающие различия в активности мозга в зависимости от времени и общих частот.
- Визуализация данных. EEGLAB предоставляет множество инструментов для визуализации данных, таких как кольцевая карта, головная карта и многие другие.

В целом, EEGLAB – это мощный и удобный инструмент для анализа данных ЭЭГ и понимания состояний мозга.

BrainVision Analyzer – это программное обеспечение для анализа данных электроэнцефалографии (ЭЭГ) и других типов нейрофизиологических данных.

Преимущества:

- Широкий набор функций для анализа, включая обработку сигналов, эпохи, спектральный анализ и топографический маппинг.
- Поддержка различных форматов данных.
- Имеется возможность автоматической обработки данных и статистического анализа.
- Пользовательский интерфейс прост в использовании.

Недостатки:

- Высокая стоимость программного обеспечения.
- Не все функции доступны для некоторых типов данных.
- Требуется навык работы с программой и понимание методологии анализа нейрофизиологических данных.

EDFbrowser – это бесплатная программа для просмотра и анализа физиологических данных, таких как ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ и других записей биологических сигналов.

Основные особенности EDFbrowser:

- Просмотр нескольких каналов данных одновременно, что позволяет быстро оценить соотношение между различными сигналами.
- Возможность масштабирования данных, улучшения качества сигнала или фильтрации шумов.
- Автоматическое распознавание артефактов и помех на записях сигналов.
- Возможность экспортировать данные в форматы CSV, ASCII, EDF и EDF+.
- Встроенные инструменты для измерения временных интервалов, анализа статистики и создания графиков.
- Простой интерфейс и интуитивно понятные настройки, что делает программу доступной для использования как начинающим, так и опытным исследователям.

FieldTrip – это открытый инструментальный MATLAB для анализа данных электрофизиологических и магнитоэнцефалографических (EEG / MEG) исследований мозга.

Особенность FieldTrip заключается в его гибкой архитектуре, которая позволяет пользователям легко адаптировать анализ к своему конкретному исследованию. Библиотека содержит множество функций для предварительной обработки данных, статистического анализа и визуализации результатов. Кроме того, FieldTrip имеет большое сообщество пользователей и разработчиков, которые обмениваются наработками и советами для улучшения инструмента [5, 6].

Выводы

Базы данных ЭЭГ (электроэнцефалограмм) становятся всё более популярными в научном мире. Этот тип баз данных собирает информацию об электрической активности мозга и используется для исследования активности мозга в определенных контекстах, таких как когнитивные задачи, любые формы поведения и настроения.

Они используются во многих областях науки и медицины: в нейронауке и психологии для изучения мозговой активности

и способности мозга обрабатывать информацию, в медицине для диагностики неврологических заболеваний, таких как эпилепсия и депрессия, а также в промышленности и технологии для дизайна интерфейсов человек-машин.

Одна из самых популярных баз данных ЭЭГ – это база данных EEG Motor Movement/Imagery Dataset, которая содержит записи мозговой активности во время выполнения движений и представления движений. Она используется в таких областях, как биомедицинское инженерное дело и реабилитация пациентов с нарушением двигательных функций.

В настоящее время исследования баз данных ЭЭГ становятся все более доступными благодаря росту технологий и снижению стоимости оборудования. Это открывает новые возможности для исследовательских групп по всему миру.

Заключение

Инновационное развитие в области нейротехнологий и ЭЭГ-технологий, таких как анализ данных мозговой активности, может привести к созданию новых инструментов и методов в области медицины, психологии, спортивной тренировки и обучения. Одним из таких инструментов является база данных ЭЭГ, которая может быть использована для хранения и анализа данных мозговой активности.

Ментальная загрузка, или когнитивная нагрузка, относится к усилиям, которые человек прилагает для выполнения задачи, требующей понимания, решения проблем или принятия решений. Использование ЭЭГ в сочетании с мерами ментальной загрузки может помочь исследователям понять, как мозг функционирует при выполнении сложных задач и как это связано с эффективностью и результатами.

Использование баз данных ЭЭГ в сочетании с мерами ментальной загрузки может помочь в определении оптимальных условий для выполнения задач, улучшения обучения и тренировки, а также разработки новых технологий, основанных на мозговой активности. Например, разработка технологий, которые могут автоматически анализировать мозговую активность и определять уровень ментальной загрузки человека, может помочь в оптимизации производительности и предотвращении негативных последствий, связанных с перегрузкой мозга.

Список литературы

1. *Meenakshi D., Singh A., Singh A.* (2014). Frequency analysis of healthy & epileptic seizure in eeg using fast fourier transform. *Int J Eng Res Gen Sci*.
2. *Usman S.M., Khalid S., Bashir Z.* (2021). Epileptic seizure prediction using scalp electroencephalogram signals. *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 41.
3. *Mohsenvand M.N., Izadi M.R., Maes P.* (2020). Constrastive Representation Learning for Electroencephalogram Classification. *Proceedings of the Machine Learning for Health NeurlPS Workshop*.
4. *Chu H., Chung CK., Jeong W., Cho KH.* (2017). Predicting epileptic seizures from scalp eeg based on attractor state analysis. *Comput Methods Programs Biomed*.
5. *Wei X., Zhou L., Zhang Z., Chen Z., Zhou Y.* (2019). Early prediction of epileptic seizures using a long-term recurrent convolutional network. *J Neurosci Methods*.
6. *Alotaiby TN., Alshebeili SA., Alotaibi FM., Alrshoud SR.* (2017). Epileptic seizure prediction using csp and lda for scalp eeg signals. *Comput Intell Neurosci*.

ANALYSIS OF OPEN EEG DATABASES FOR ASSESSING THE MENTAL LOAD OF EMPLOYEES OF INNOVATIVE CORPORATIONS

Tolmanova V.V.

Andrikov D.A.

RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. Mental load, also known as cognitive load, refers to the effort required to complete a task or process information. It can be measured using electroencephalography (EEG), which records the electrical activity of the brain. The EEG database contains records of brain signals that can be used to analyze mental loading and other indicators of cognitive function. This method can be used to investigate mental health, cognitive impairment, behavior and decision making.

Key words: electroencephalogram, database, frequency ranges, diagnosis of epilepsy, software

Секция 3

МЕТАЛЛУРГИЯ, ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ

АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ

Андриков Дм.А.

*Департамент механики и процессов управления,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
andrikov-dman@rudn.ru*

Аннотация. Статья посвящена управлению транспортным средством, основным показателем является переход от «равновесия» к циклу», так называемому потере устойчивости. Рядом изменяющихся параметров движения, будут поверхность торможения, оператор и управляющий момент. Стандартные подходы управления уязвимы к ключевому свойству параллельных вычислений – естественная поддержка конструктивных процессов.

Ключевые слова: транспортное средство, устойчивость, равновесие

Актуальность работы

В устойчивом состоянии система «Транспортное средство – Внешняя среда – Оператор» (далее – «ТС-ВС-О») может подстраиваться к опасным дорожным ситуациям, в результате оператор принимает решение по заранее просчитанным, хорошо оптимизированным алгоритмам. В таких ситуациях риск происшествий минимален.

На практике использование интеллектуальных систем управления необходимо, когда система «ТС-ВС-О» оказывается в неустойчивом состоянии. Как правило, опасные состояния просматриваются хаотическими процессами, которые сложно прогнозируются и сложно поддаются анализу. Динамика таких процессов запутана и приближена к стохастическим процессам.

Планомерный и равномерный рост сменяют большие скачки амплитуды и периода колебаний параметров системы. В связи с этим, у системы будет «коридор» возможных алгоритмов принятия решения, которые решены с помощью состояния внешней среды (покрытие, неблагоприятные метеорологические условия и т. п.). Для описания таких «трудных» систем применим эффективный математический аппарат, а также практика катастроф и хаотической динамики [1].

С позиции общей теории систем термин «катастрофа» означает скачкообразное изменение состояние исследуемой системы при незначительном изменении параметров, её описывающих.

По практике анализ прогнозирования широко применим предложенный Хакеном – синергетический систематический анализ, определяющий переход от хаотических параметров к порядку. Однако применительно к текущей задаче обратный переход «от порядка к хаосу». Хаос в нашем случае будет при условии:

- 1) значительном повышении торможения (при любых начальных условиях траектории движения транспортного средства);
- 2) мгновенном переходе с одной поверхности, с большим коэффициентом сцепления, к поверхности с худшим коэффициентом сцепления;
- 3) мгновенный набор скорости, что позволяет оценить и внести корректировки в алгоритм принятия решения;
- 4) мгновенном снижении угловых скоростей и ключевых параметров движения;
- 5) возможные отклонения от продольного движения.

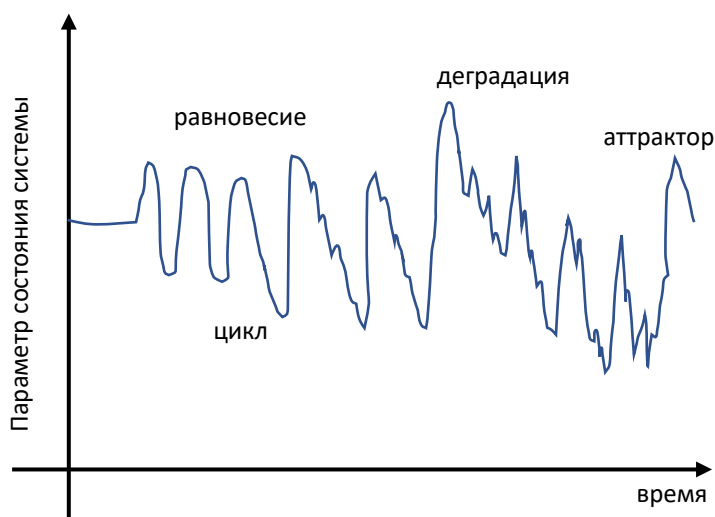


Рис. 1. Сценарий хаотизации

В текущей задаче при контроле движения над транспортным средством очень важным является переход от «равновесия к циклу», так называемая утеря контроля движения. В теории хаотической динамики (катастроф) выделяют потери устойчивости состояния равновесия – рис. 2. Выбраны основные равновесия – «мягкое». Это связано с параметризацией задачи.

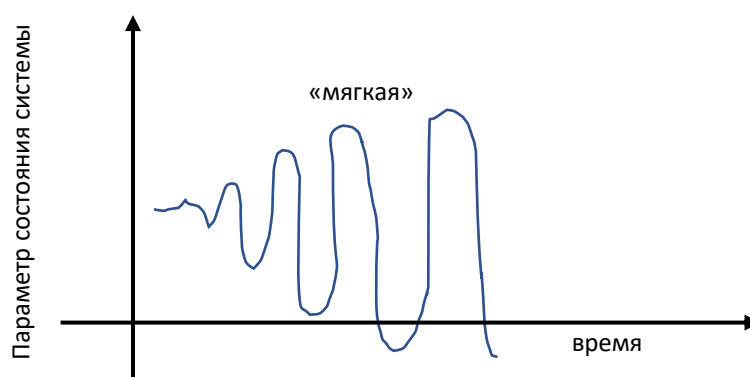


Рис. 2. Мягкая потеря устойчивости

При мягкой потере устойчивости определяется некоторый колебательный режим с возрастающей амплитудой. Применительно к управлению транспортным средством более интересным является второй вид потери устойчивости – грубая. При этом система уходит с устойчивого режима скачка (рис. 2) и перескакивает на другой режим движения – переход от одного покрытия к другому.

Алгоритм управления ТС

Векторный показатель в рассматриваемом варианте конфликтной ситуации задан в виде основных показателей для следующих объектов:

$$J_A = (J_{A1}, J_{A2}, J_{A3}), \quad J_{\Pi} = (J_{\Pi1}, J_{\Pi2}, J_{\Pi3}), \quad (1)$$

Классическая постановка задачи оценки устойчивости транспортного средства отражена в формулах 1-4: показатели ТС и критерии оптимизации имеют следующий вид:

$$J_{A1} = \int_{t_0}^T (\dot{\Omega}_z - \dot{\Omega}_{z\partial\partial o})^2 dt \rightarrow \min_{q_A} \quad (2)$$

курсовая стабилизация ТС (точнее допустимая курсовая неустойчивость на интервале времени (t_0, T)), где $\dot{\Omega}_{z\partial\partial o}$ - разрешенная величина углового ускорения, и где типичные значения начала и окончания робастного интервала управления АБС $t_0=0$, $T=0.15$ соответственно;

$$J_{A2} = V_x(T_1) \rightarrow \min_{q_A} - \text{продольное замедление} \quad (3)$$

$$J_{A3} = \int_{t_0}^T V_y^2 dt \rightarrow \min_{q_A} - \text{минимальный занос} \quad (4)$$

Упущение текущего подхода в необходимости расчета целого набора показателей (угол поворота, поперечное ускорение, поперечный снос и так далее).

Именно из-за чувствительности к первоначальным показателям трудным является оценка поведения системы «ТС-ВС-О» в условиях нестабильной внешней среды [2]. В тоже время в системе можно выделить состояния, к которым близки траектории движения системы (под движением системы понимается не только движение транспортного средства, но и изменение параметров среды и оператора).

Так как система определена в устойчивом состоянии, то аттрактор является некоторая точка фазового пространства, описывающего динамику движения системы «ТС-ВС-О».

Если же параметры находится в неуправляемом состоянии, то её траектория может притягиваться к так называемому «странному аттрактору». Описанный подвид аттрактора очень чувствителен начальным данным.

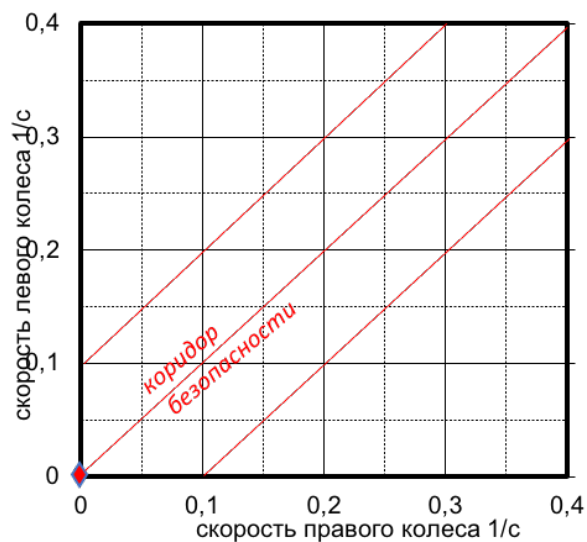


Рис. 3. Графическое изображение критерия оптимизации задачи

Коридор безопасности формируются за счет 10-15% допустимого отклонения движения колеса с проскальзыванием.

Аттрактор будет поверхность компенсации возмущения – точка (во многомерном случае набор координат, следовательно поверхность) устойчивого движения требуемого поставленной задачи.

По итогам моделирования видно, что переходы ТС из состояния в положение характеризуются мгновенными изменениями значений угла поворота и ключевого параметра – давления в тормозной системе [3, 4]. В то же время в исследуемой системе можно оценить состояния – аттрактора, к которым стягивается траектория движения системы (под движением системы будем считать движение не только транспортного средства, но и изменения параметров внешней среды и оператора).

Оценка параметров алгоритма

По итогам моделирования показаны переходы ТС из одного устойчивого состояния в другое устойчивое состояние (они описываются моноучастками временных рядов), также они характеризуют резкими сменами значений угла поворота и давления в тор-

мозной системе. ТС ведет себя в этот момент как неустойчивая система, совершающая «фазовый» переход к новой области допустимых значений (скорость, сила давления в тормозных цилиндрах, угол поворота руля, значение датчиков продольного и поперечного ускорений и др.).

Текущее положение будет являться вершинами описанного ранее графа. Переходы системы из одного состояния в другое описаны ребрами графа.

Транспортное средство может в текущем положении вести себя как неустойчивая система, делающая «фазовый» скачок в новой области разрешенных значений (скорость разгона). Такое описание позволяет специальным математическим инструментом оценить вектор состояния.

Переход метасистемы «ТС-ВС-О» в режим «странного аттрактора» означает возникновение сложных непериодических колебаний, которые очень чувствительны к незначительным изменениям начальных условий – угол поворота руля, давление в тормозной системе, угловые скорости колёс и др. [5]. Если система находится в неустойчивом состоянии, то её траектории могут притягиваться к так называемому «странному аттрактору».

В этой связи две практически идентичные траектории со временем перестают быть схожими (система находится на фазе двух состояний). Это предусмотрено невозможность точного оценивания состояния системы («эффект бабочки» – бесконечно незначительно возмущения показателей внешней среды).

Для количественной оценки определяем скорости левого и правого колеса. Формализуем критерии оптимизации текущей задачи.

$$|V_{\text{п}} - V_{\text{л}}| < b, \quad (5)$$

где $V_{\text{п}}$ – скорость правого первого колес, $V_{\text{л}}$ – скорость левого первого колес, b – коэффициент погрешности стабилизации.

В данных показателях T – заданный интервал робастного регулирования (меньший, чем время реакции водителя), T_1 – заданная величина времени прогноза замедления.

Заключение

Для прогнозируемой оценки стабилизации системы «Водитель – Транспортное средство – Среда» предложен алгоритм, позволяющий оценивать рекомендательные управление стабилизации.

Спроектирована схема, позволяющая оценить степень риска и странный аттрактор. Это модель зависима от внешней среды и учитывает показатели оператора.

Список литературы

1. Неусытин К.А., Андриков Дм.А. Прогнозирование состояния поверхности дороги для оценки устойчивости движения и управления транспортным средством Приборы и Системы № 6, 2022, с. 1–9.
2. Матюхин В.И. Управление колесной системой в условиях неопределенности // Автоматика и телемеханика, № 5, 2009. – С. 76–94.
3. Морозов М.В. Условия робастной устойчивости линейных нестационарных систем управления с ограничениями / Проблемы управления. – 2009. – № 3. – С. 23–26.
4. Журабок А.Н., Кучер Д.Н., Филаретов В.Ф. Обеспечение робастности нелинейных систем / Автомат. и телемех. – 2010. – Вып. 1. – С. 159–173.
5. Лохвицкий В.А., Рыжиков Ю.И., Фоминов И.В. Многокритериальное оценивание скоростей космических аппаратов / Вестник Российского нового университета // Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2018. – № 2. – С. 11–23.

ALGORITHM AND METHODOLOGY OF VEHICLE MANAGEMENT IN A CONFLICT SITUATION

Andrikov D.

*Department Mechanical and control process,
RUDN University, Moscow, Russia
andrikov-dman@rudn.ru*

Abstract. The article is devoted to driving a vehicle, the main indicator is the transition from "equilibrium" to a cycle, the so-called loss of stability. A number of changing motion parameters will be the braking surface, the operator and the control moment. Standard management approaches are vulnerable to the key property of parallel computing – the natural support of constructive processes.

Keywords: vehicle, stability, equilibrium

TECHNICAL AND ECONOMIC STUDY AND PRESENTATION OF TEST RESULTS OF MEDIA COOLING SYSTEM IN YAZD COMBINED CYCLE POWER PLANT

*Abdollahossein Gharehsheikh Bayat, PhD student
RUDN University, Moscow, Russia
abdollahosein.65@gmail.com*

Abstract. Increasing electricity consumption in Iran and the need to increase the production of power plants is inevitable. Due to the increase in the number of gas power generation units in Iran, their optimal operation is important and it is necessary to localize the systems to increase capacity. The production capacity of the gas turbine is inversely related to the inlet temperature to the compressor and with increasing the inlet temperature, the power of the units decreases.

Due to the hot and dry climate of Iran, this issue is of special importance. Therefore, systems have been developed to reduce the inlet air temperature of gas turbines that are used. In this evaluation, the cooling turbine inlet air cooling systems and the cooling system implemented in Yazd power plant are evaluated in a specialized method. The cooling system used in Yazd power plant, according to technical and economic evaluations, is the evaporative type of wet media, which has increased the power by at least 14% in gas turbines.

Key words: Gas turbines, inlet air cooling, output power increase, media cooling system, efficiency

Introduction

The electricity industry is an infrastructure industry whose survival depends on the optimal production of electricity by power plants. The operation of gas turbines that are used to generate electricity in power plants is affected by ambient temperature and with increasing temperature, their production capacity decreases. Therefore, in the warm months of the year, which are mainly in summer, the necessity of using compressor inlet air cooling methods is determined. One of the simplest methods in this regard is the evaporative cooling system (media), which increases the humidity by passing air through a humid environment (media), which ultimately leads to an increase in gas turbine power from 10 to 20%.

Introduction of gas turbine cycle cooling system and requirements

Gas turbine includes a compressor to compress air direct to the combustion chamber, which finally after combustion, the resulting gas flow is directed to the turbine with high pressure and temperature [1].

Turbines have a constant capacity and their output power is proportional to the mass flow rate of the inlet gases to the turbine. Because the compressor has a constant capacity due to the rotational speed and volume flow to it, its volume capacity also remains constant and it is not possible to increase it. Therefore, the mass flow of air entering the gas turbine varies according to the specific mass of the air, which means that it depends on the temperature and relative humidity of the ambient air [2]. The efficiency of the gas turbine is critically limited due to the importance of the temperature factor. Especially in hot and dry areas, this will happen due to the inverse ratio of output power with ambient air temperature [3]. Decreasing the temperature increases the density of the air and accordingly increases the mass flow rate of the air. This air behavior increases the output power and efficiency of the gas turbine by 0.7% for each degree of reduction of the inlet air temperature [4, 5]. In general, the cooling methods of the air entering the gas turbines can be divided into six groups [6]:

- Fogging
- Evaporator or humid environment
- Cold wet compression cooling
- Warm wet compression cooling
- Compression cooling with cold storage
- Absorption cooling system

How to choose the evaporative cooling system (media) for Yazd power plant is based on the Evaporative Cooling Degree Hour (ECDH). According to Equation (1), ECDH is the amount of temperature decrease that occurs over a period of time by the intake air cooling system. Therefore, it can be calculated as follows during the year [7]:

$$ECDH = \sum \Delta H_i \times \Delta T_i \text{ (Degree.Hours)} \quad (1)$$

ΔT_i is the amount of temperature decrease in time interval i and ΔH_i is the amount of hours in time interval i . Using this index, the amount of ECDH can be determined during a year.

In calculating the ECDH value, it is important to determine the minimum allowable bubble output from the cooling system. Since in

modern gas turbines the inlet air speed reaches gas turbines up to Mach 0.8, so it is possible to reduce the static air temperature to 5°C at the compressor inlet and the risk of ice formation in the inlet air and on non-rotating surfaces intensifies. In this project, the minimum inlet temperature to the compressor is assumed to be 12°C . The higher the ECDH index, the higher the efficiency at the peak temperature point. As shown in Figure 1, the cooling index in the six hot months of the year is in a suitable range for the southwestern region of the country. And the shorter the time (higher temperature increase), the higher this indicator goes and the suitability of the media system for the power plant. Finally, due to the acceptability of the ECDH index and according to Figure 2, the percentage of increase in efficiency at the peak temperature point by media method has the highest possible rate in the country map [7].

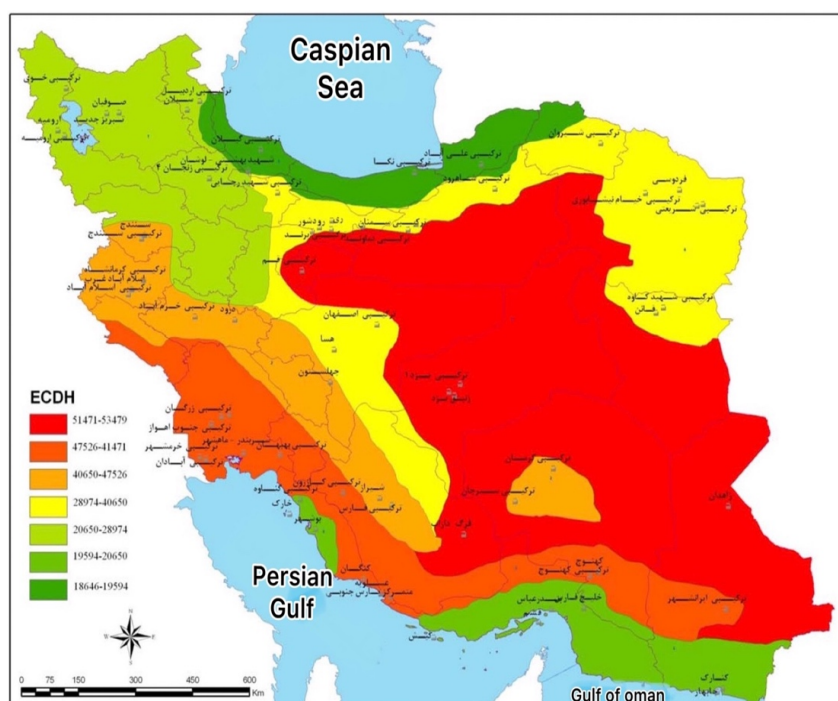


Fig. 1. The amount of cooling potential of six hot months of the year by media method

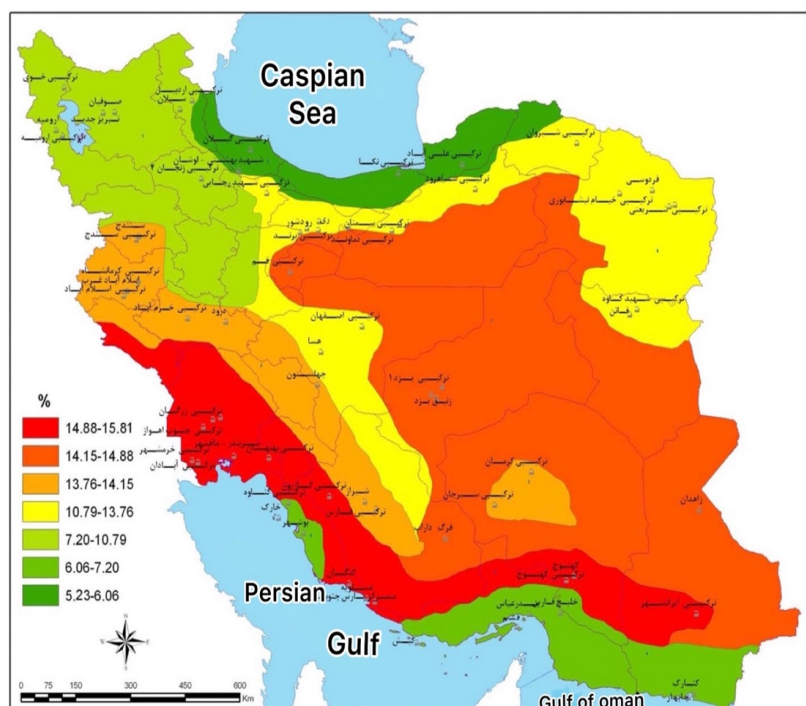


Fig. 2. Percentage of efficiency increase at the peak temperature point of the media method

Fundamentals of media system and its mechanism of operation

This system has been implemented for the first time in our country for Mitsubishi -MW 701D model units. Cooling operation in evaporative systems, including media, is based on water evaporation and air heat absorption. The heat will be transferred from the ambient air to the water. Figure 3 shows how the media system works.

The system includes a frame cooler (location for the entire cooling system), media plates (media pads), water distribution piping, circulating pump, control valves, water storage tank and blower system. The mechanism of action is that the water is pumped by the circulating pump from outside the cooler frame from the bottom tank of the cooler to the water-distributor collector on top of the cooler and then distributed by gravity between the media plates.

After passing and wetting the media surfaces, water collects at the bottom of the cooler and drains into the storage tank. The air entering the compressor also passes through the media plates and evaporates the existing water to the point of saturation. The velocity of the air passing through these plates should not be higher than a certain limit because at high speeds, water droplets may separate from the surfaces and cause damage to the compressor blades by entering the compressor and causing crushing. In order to prevent droplets from escaping after the evaporator system, the cooled air passes through the drip tray plates to absorb possible water droplets.

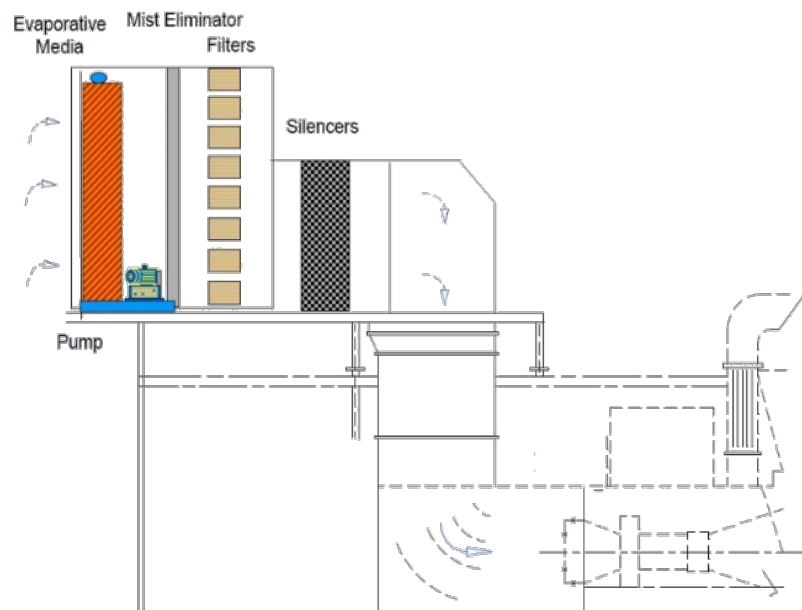


Fig. 3. Overview of media cooling system

The main components of the media system can be categorized as follows:

- Frame cooler

Mitsubishi MW-701D units have air inlet to the compressor from four sides, two of which provide the maximum amount of inlet air to the filter area. Therefore, the evaporative cooling system is located on

its two main sides and the other two sides to install the valve as bypass opening valves in winter. The frame cooler of the mentioned units has two separate levels (floors), each floor has a separate water distribution system and media plates. In the previous designs, the coolers have a larger surface for air to enter, but in this design, the design has been done by optimizing the dimensions in order to prevent the phenomenon of freezing.

- Water distribution system

At the top of each floor of the cooler is a water distribution system where water is pumped to that point and then gravitationally flows onto the system pads that act as intermediaries for heat exchange with the inlet air. The location of the water distribution system is shown in Figure 4.

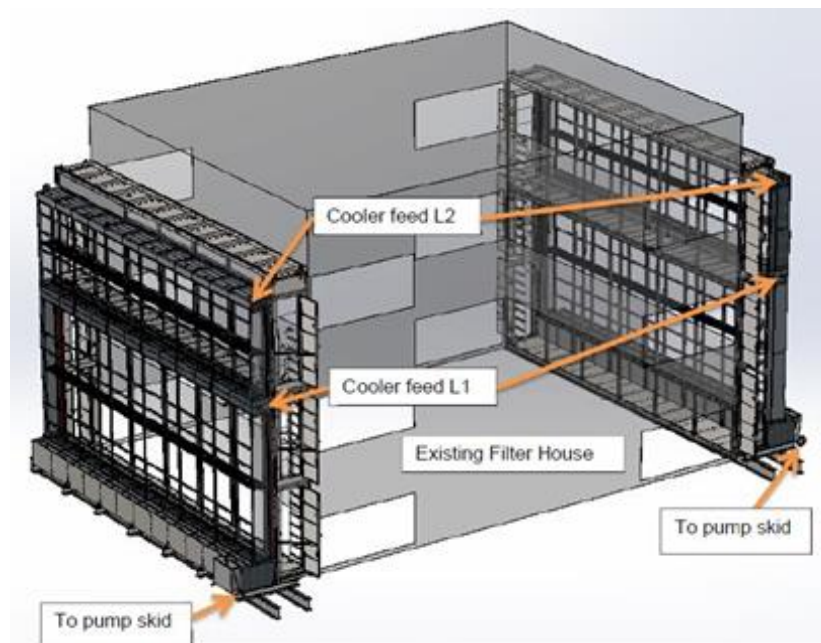


Fig. 4. Frame coolers installed in the air inlet path

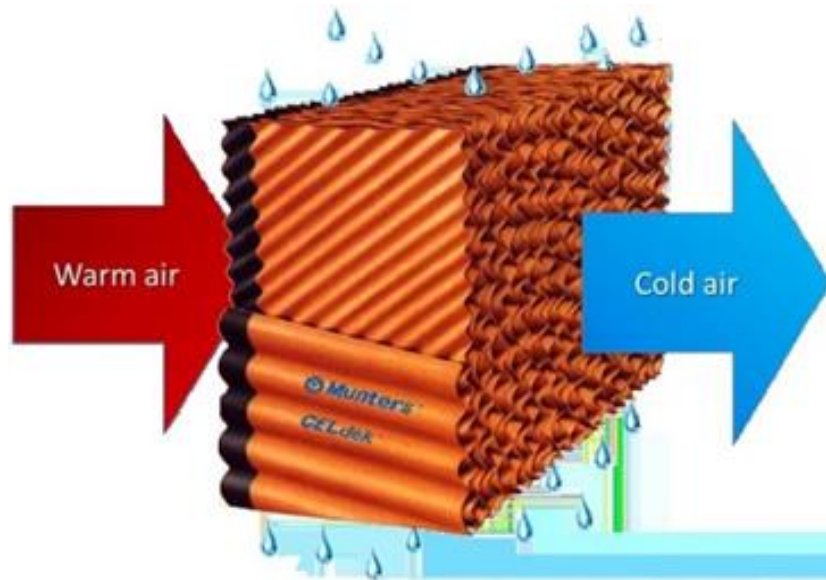


Fig. 5. Media screens and airflow path

- Media pages (media pads)

Media sheets are made of fiber (refractory glass fibers) and are made of corrugated, which is shown in Figure 5. A set of these plates together form a media evaporative cooler that is in the form of a honeycomb. These surfaces have properties similar to those of wicks in fluid suction, and water is dispersed on the media surface. These types of plates, in addition to the important characteristic of non-flammability, are more efficient cellulose type.

- Mist eliminator

For the cooling system, a mechanism is provided to prevent drops and any other fluid from escaping into the filter compartment. The drip system is made of polypropylene, which will not allow droplets with a diameter of more than 30 microns to pass. The droplets will hit the drip wall and will be transferred to the drain system due to the force of gravity, which is shown in Figure 6.

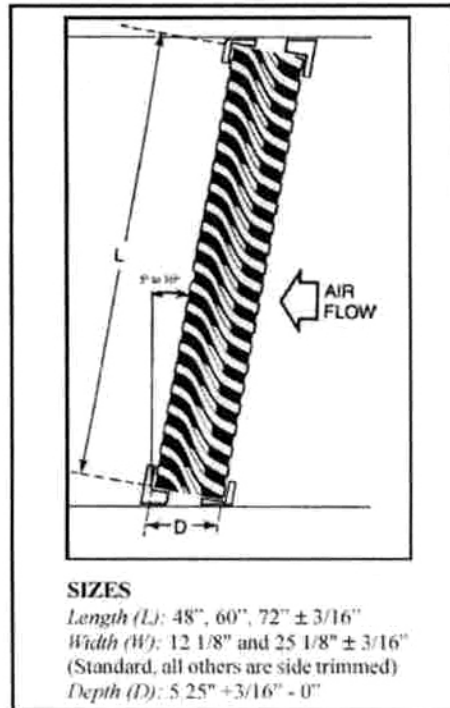


Fig. 6. View of a Mist eliminator with its dimensions and installation angle

The evaporative cooling point is adjustable based on the ambient temperature on the air conditioner controller. The cooler will be active at temperatures above this point. The working point should not be set at low temperatures because if the system reduces the temperature too much, as mentioned, there will be a possibility of freezing. If the ambient temperature drops below zero, the entire evaporator system is drained to prevent the effects of freezing. Freezing causes cracks in the surfaces of media pages. The most important advantages of the media system are the following [8]:

- Increase power and improve turbine efficiency so that it can be optimized with the same amount of fuel consumption.
- Fast return on investment in a way that makes it more economical than installing new gas units.

- Low investment, maintenance costs
- Simplicity of system and equipment
- Damping of fluid flow turbulences
- Reduce the emission of nitrogen and carbon oxides.

This system also has the following disadvantages:

- Air velocity should be low when passing media surfaces
- In areas with high humidity, there is a limit to the increase in power.
- In conventional evaporative systems, due to the low efficiency and high reduction of air pressure drop, maximum cooling is never done.

Technical and economic evaluation of using Media inlet air cooling system

The operation that takes place on air in evaporative cooling systems is to cool the air only with humidification, which is an adiabatic change. During this process, the humid temperature of the air remains constant. Figure 7 shows this process schematically in a psychrometric diagram.

1. The initial condition: $T_{DB2} < T_{DB1}$
2. Final conditions: $w_2 > w_1$, $R_{m2} > R_{m1}$
3. Adiabatic saturation conditions: $h_2 = h_1$

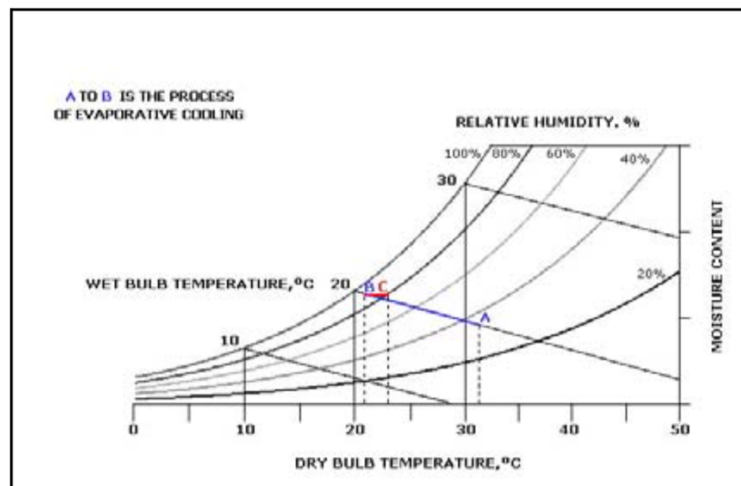


Fig. 7. Cooling of the air in the media system on a psychrometric diagram

The humidification efficiency of the system is defined by the following equation [9]:

$$\eta_{humidifying} = \frac{T_{DB1} - T_{DB2}}{T_{DB1} - T_{WB}} = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1}$$

Where T_{DB} is the dry air temperature and T_{WB} is the humid air temperature and W is the specific humidity. The amount of water required by the system is also obtained from the following equation:

$$\dot{m}_{water} = \dot{m}_{air} \times (w_2 - w_1)$$

In the recent relation, the mass flow of dry air is in the input conditions. Taking into account the design conditions, the maximum power recovery in the conditions of the Yazd power plant site is obtained as follows:

At temperature T_{DB1} and the relative humidity $\phi_1 = 20\%$, the amount of specific humidity will be equal $w_1 = 0.008464 \frac{kg}{kg \text{ dry air}}$.

In the best conditions and assuming the maximum efficiency for the evaporative cooling system, the lowest achievable temperature is the wet bubble ambient temperature, therefore $T_{DB2} = T_{WB1} = 17.86^\circ C$ and the relative humidity $\phi_2 = 100\%$, the amount of specific humidity will be equal $w_2 = 0.015568 \frac{kg}{kg \text{ dry air}}$.

$$\text{Therefore } \Delta w = 0.007104 \frac{kg}{kg \text{ dry air}}.$$

Considering that the mass flow rate of the air entering the compressor in the design conditions is $406 \frac{Kg}{s}$, [10] the required water flow rate:

$$\dot{m}_{water} = 0.007104 \times 406 = 2.88 \frac{Kg}{s}$$

Due to the fact that the site of power plant is located at an altitude of 1530 meters above sea level and by including altitude correction tables and output power diagrams according to the input temperature for GE-F9 units of Yazd power plant, the amount of recovered power will be as follows:

The output power of the gas turbine at the design point is $P_1 = 79.13$ MW and after the media system is put into operation, it will be $P_2 = 90.18$ MW, so the maximum recyclable power is equal to $90.18 - 79.13 = 11.05$ MW and in terms of equal percentage becomes:

$$(11.05 / 79.13) * 100 = 13.96\%.$$

Performance testing and analysis of results

According to the system performance test in an 18- day period in the warm season and the highest temperature in the study area, the results of Table 1 were obtained. As can be seen, as a result of using the media system, the air inlet temperature to the compressor decreased, the relative humidity of the inlet air increased and the amount of production capacity also increased significantly. Also, the effects of temperature on the production capacity are shown in Figures 8 and 9.

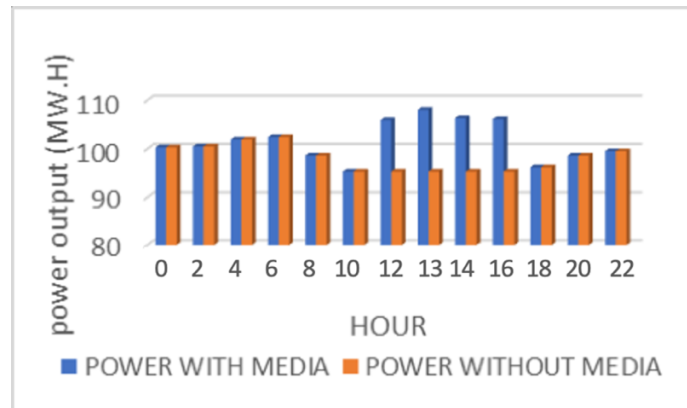


Fig. 8. Increase in media output power capacity

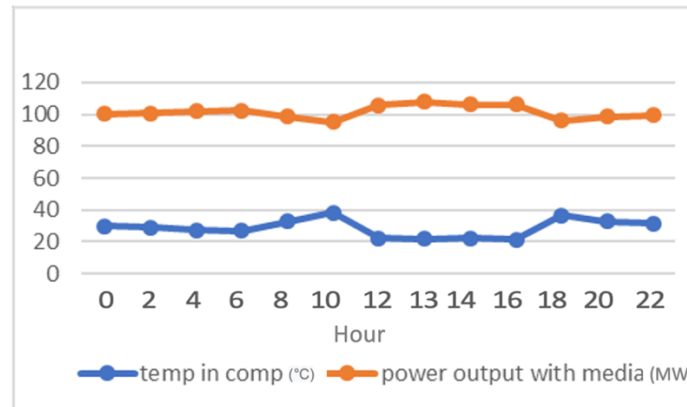


Fig. 9. The amount of temperature and power changes due to the media system

Table 1

Media system performance results

| Ambient temp. (°C) | Compressor temp. before (°C) | Compressor temp. after (°C) | RH before (%) | RH after (%) | P before (MW) | P after (MW) | Increased power (MW) | Percentage of ΔP |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 41.6 | 38.2 | 22 | 8 | 96 | 95.6 | 108 | 12.4 | 13.0% |
| 42 | 35.9 | 20.8 | 7 | 94 | 97 | 109.5 | 12.5 | 12.9% |
| 42.4 | 36.35 | 21.3 | 10 | 95 | 97 | 108.7 | 11.7 | 12.1% |
| 43.9 | 40.3 | 24 | 12 | 98 | 94 | 107 | 13 | 13.8% |
| 42.5 | 39.3 | 22.9 | 11 | 94 | 95 | 107.6 | 12.6 | 13.3% |
| 41.9 | 40 | 24.4 | 12 | 96 | 94.2 | 107 | 12.8 | 13.6% |
| 43.4 | 40.3 | 23.4 | 10 | 95 | 93.7 | 107.3 | 13.6 | 14.5% |
| 40 | 36 | 21.7 | 11.5 | 96 | 97.5 | 108.8 | 11.3 | 11.6% |
| 42.8 | 40.1 | 22 | 10 | 95 | 93.7 | 108 | 14.3 | 15.3% |
| 44.3 | 41.3 | 22.1 | 9 | 94 | 91.2 | 108 | 16.8 | 18.4% |
| 43.9 | 43.2 | 21.4 | 16 | 94 | 90.5 | 107.3 | 16.8 | 18.6% |
| 41.9 | 41 | 21 | 16 | 96 | 94 | 108 | 14 | 14.9% |
| 40.5 | 37 | 23 | 16 | 98 | 97 | 107.8 | 10.8 | 11.1% |
| 38.5 | 35 | 23 | 32 | 94 | 97.5 | 108 | 10.5 | 10.8% |
| 39.5 | 36.2 | 21 | 22 | 98 | 96.2 | 108.6 | 12.4 | 12.9% |

According to Figure 8, which is taken from the data related to one of the hot season days from the operation unit, the amount of output power from 00:00 to 22:00 is listed. While the media system is in orbit, the amount of power increase is significant that the total power increase during the hot hours of the day is more than the output power in the rest of the day and night. As can be seen in Figure 9, the gas turbine equations mentioned in the introduction are true, and with any decrease in the inlet air temperature to the compressor, the turbine output capacity increases.

Conclusion

According to the research, it is observed that changes in inlet air temperature have a great impact on the performance and output power capacity of the gas cycle. In order to increase the production capacity of gas units, the cooling system of evaporative media can be used. Due to the performance of this system and the reduction of the compressor inlet air temperature, the production capacity of the gas turbine cycle increases. Also, the cost of using the media system is much lower compared to the

costs required for the construction of a new gasturbine cycle unit and makes it profitable.

References

1. *Punwani D.*, 2003. "An introduction to turbine inlet cooling", tech mag, pp. 20-23.
2. AMERICAN SOCIETY OF heating, refrigerating and air conditioning engineers, 2008, ashrae handbook-HVAC systems and equipment.
3. *Najjar, Y.S.H.*, 1996. Enhancement of performance of gas turbine engines by inlet air cooling and cogeneration system, applied thermal engineering, vol. 16, no. 2.
4. *Zuniga, M.O.V.*, 2005. "Intake systems for industria gas turbine", cranfield University, United Kingdom
5. *Nasser A.E.M. and El-Kalay M.A.*, 1991. A heat recovery cooling system to conserve energy in gas turbine power station, applied Energy, vol. 38, no. 2.
6. *Ana Paula Santos, Cláudia R. Andrade.* Analysis of Gas Turbine Performance with Inlet Air Cooling Techniques Applied to Brazilian Sites.
7. *Chuck Jones, John A. Jacobs III.* "Economic and Technical Considerations for Combined- Cycle Performance- Enhancement Options" GE Power Systems, Schenectady.
8. Cooling Inlet Air Improves Turbine Output, Donaldson Company, Inc. Printed in USA. 2001. <http://www.donaldson.com>.
9. *Grace D., Boncimino G. & Stenzel W.* "Combined cycle power plant optimization studies", proceeding of JPGC01, International Joint Power Generation Conference, New Orleans, Louisiana, The Netherlands, June 4-7 2001, Paper NO: JPGc2001/pwr-1903., 2001.
10. Technical documents of Yazd Combined Cycle Power Plant.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МЕДИА НА МОЩНОСТЬ ПАРОГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Гхарех Шейхбаят Абдолхоссейн, аспирант
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
abdollahosein.65@gmail.com

Аннотация. Рост потребления электроэнергии в Иране и необходимость увеличения производства электростанций неизбежны. В связи с увеличением количества газовых электростанций в Иране важна их оптимальная эксплуатация и необходимо локализовать системы для увеличения мощности. Производительность ГТУ обратно пропорциональна температуре на входе в компрессор и с увеличением температуры на входе мощность агрегатов снижается. Из-за жаркого и сухого климата Ирана этот вопрос имеет особое значение. Поэтому были разработаны системы для снижения температуры воздуха на входе в используемые газовые турбины. В этой оценке системы охлаждения воздуха на входе в охлаждающую турбину и система охлаждения, реализованная на электростанции в Йезде, оцениваются по специализированному методу. Система охлаждения, используемая на электростанции Йезд, по технико-экономическим расчетам, является испарительным типом влажных Медиа, что позволило повысить мощность газовых турбин не менее чем на 14%.

Ключевые слова: Газовые турбины, охлаждение входного воздуха, повышение выходной мощности, система охлаждения Медиа, КПД

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ФЕРРАТА НАТРИЯ

*Петкова А.П., д.т.н., профессор,
Шарафутдинова Г.Р., аспирант 2-го года обучения.
Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Россия.
grsharafutdinova@yandex.ru*

Аннотация. Изучение использования феррата (VI) для очистки воды и сточных вод в последнее время было хорошо изучено. Однако существуют еще разногласия и белые пятна по выбору материалов для осуществления процесса. В работе представлен краткий обзор литературы, касающейся параметров электрохимического процесса получения феррата натрия. Представлена модель электролизной ячейки, которая отвечает запросам процесса и выбран материал для её изготовления.

Ключевые слова: феррат натрия, электрохимический процесс, электролизная установка, анод

Введение

Очистка воды и сточных вод – необходимые процессы для жизнедеятельности человека, производства, сельского хозяйства. Коагуляция, химическое окисление и дезинфекция считаются наиболее важными процессами очистки воды. Коагуляция заключается в слипании взвешенных частиц с образованием более крупных частиц. Эти крупные частицы должны быть удалены с помощью процессов осаждения или фильтрации. Дезинфекция необходима для уничтожения вредных микроорганизмов, иногда для удаления или уменьшения пахучих соединений [1]. Ввиду высоких объемов загрязнения воды и высоких стандартов очистки воды необходимо использование химических соединений, обладающих способностью обеззараживать воду, разлагать в воде органические и неорганические загрязнения и способностью удалять из воды взвешенные частицы и тяжелые металлы. Таким веществом является феррат (VI), являющийся сильным окислителем, в кислых условиях превосходящий в очистке воды озон. Использование феррата (VI) в качестве многофункционального соединения дает несколько преимуществ,

т. е. снижение стоимости обработки за счет того, что он действует как окислитель и коагулянт в одном устройстве и не производит побочных продуктов.

Еще одним преимуществом использования феррата (VI) является возможность производства вещества в малом количестве по необходимости и возможность проведения процесса получения феррата непосредственно в месте последующего использования. Это поможет решить проблемы с транспортировкой и хранением химических веществ для очистки воды для небольших и отдаленных населенных пунктов.

Для таких целей наиболее привлекательным способом является электрохимическое получение феррата натрия [2]. Для осуществления процесса необходимо наличие катода и расходоуемого анода, мембраны, щелочного электролита, источника тока и электролизной ячейки.

Основной принцип электрохимического производства показан в уравнениях 1-4 [3].

Анодная реакция: $\text{Fe} + 8\text{OH}^- \rightarrow \text{FeO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}$ (1)

Катодная реакция: $3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + 6\text{OH}^- - 6\text{e}$ (2)

Общие реакции: $\text{Fe} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{FeO}_4^{2-} + 3\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (3)

$\text{FeO}_4^{2-} + 2\text{Na}^+ \rightarrow \text{Na}_2\text{FeO}_4$ (4)

Целью работы является выбор материалов для электрохимического получения феррата и разработка модели электролизной ячейки.

Материал катода и анода. Катод и анод – обязательные элементы в электрохимическом процессе. Анод является источником железа при получении феррата (VI), поэтому его форма и состав вызывают большой интерес. Форма анода должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить наибольшую площадь поверхности. В качестве анода как правило выбирают стальную пластину. Легирующие элементы стали оказывают влияние на выход по току феррата. Также важным показателем является содержание углерода. В работах [4, 5] показано, что содержание углерода и выход по току имеет прямую зависимость. Также стальные пластины являются распространённым материалом в промышленности, что упрощает и удешевляет процесс.

В условиях синтеза ферратов поверхность железосодержащего анода покрыта оксидным слоем, который с увеличением длительности электролиза перекрывает пути потока электронов и останавливает электролитический процесс, вызывая пассивацию анода. Частичная деградация оксидной пленки повышает производительность процесса синтеза ферратов.

Катод не является расходуемым материалом, но он тоже чрезвычайно важен в электрохимическом процессе. Известны опыты с использованием в качестве катода нержавеющей стали, белого и серого чугуна титана, меди, никеля. Существуют работы с использованием платины в качестве катода, однако такой вариант не является экономичным. Катод, как и анод, должен быть выполнен из легкодоступного материала и иметь низкую стоимость.

Размер и форма катода в большей степени обусловлены конструкцией электролизной установки. В нашем случае катод представляет собой квадратную пластину с ушком для крепления провода.

Мембрана. Феррат натрия образуется в прианодной области, и необходимо отделить ее от катодной области и побочных продуктов, образующихся в прикатодной области. Для этих целей используется мембрана, которая помещается в рамку, вставляемую в паз в корпусе электролизера между катодом и анодом. Мембрана обычно состоит из слоистой полимерной структуры, она пропускает ионы натрия, но не пропускает феррат-ионы.

Тип электролита. Одним из основных факторов, которые влияют на электрохимический синтез феррата (VI), является состав электролита и его концентрация. Тип электролита влияет на растворение железа в оксигидроксидном слое, покрывающем поверхность анода, и растворимость продуктов распада. Наиболее привлекательными электролитами считаются гидроксид натрия (NaOH) и гидроксид калия (KOH) [3, 6]. Предыдущие исследования показали, что идеальные концентрации электролита для электрогенерации феррата составляют от 10 до 16 М NaOH или KOH. Авторы [6] сделали выводы, что использование KOH повышает выход по феррату на 18,2% по сравнению выходом феррата при использовании NaOH. Однако в обзорной работе [3] говорится о том, что электролит NaOH является наиболее популярным.

Электролизная ячейка. Ячейка для электрохимического процесса может выглядеть различно в зависимости от особенностей процесса и цели применения. Однако определяющим фактором для всех процессов является умеренная цена компонентов и корпуса ячейки, удобство и надежность эксплуатации, а также простота и лаконичный дизайн.

Нами разработана модель электролизной ячейки, которая отражает удобную конструкцию, которую легко использовать на месте последующего применения феррата натрия. Модель ячейки разработана в программе КОМПАС-3D и представлена на рисунке 1. Процесс подразумевает протекание в закрытой установке с разведением газов из анодной и катодной областей, для этого предусмотрена крышка (рис. 2). В ячейке предусмотрены пазы для двух анодов, двух катодов и двух мембран (рис. 3), в результате получается две катодные области и одна анодная между катодными. Суммарный объем катодных областей равен объему анодной области. Межэлектродные зазоры выбраны минимально необходимые для протекания рециркуляции и снижения рабочего напряжения в межэлектродном промежутке. Также предусмотрены входные и выходные отверстия для проведения рециркуляции электролита и боковая панель для крепления насосов, которые будут осуществлять перемешивание электролита. Выведен канал из анодной области для забора получившегося феррата натрия. В крышке предусмотрены отверстия для смены расходного электрода. Планируется печать ячейки на 3D принтере пластиком ABS. Данный пластик химически стоек в щелочной среде и имеет низкую усадку при печати.

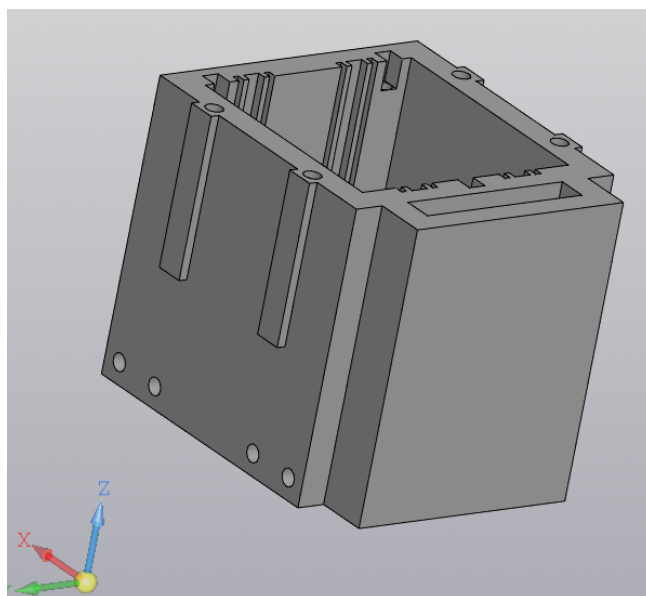


Рис. 1. Модель ячейки для электрохимического получения феррата натрия

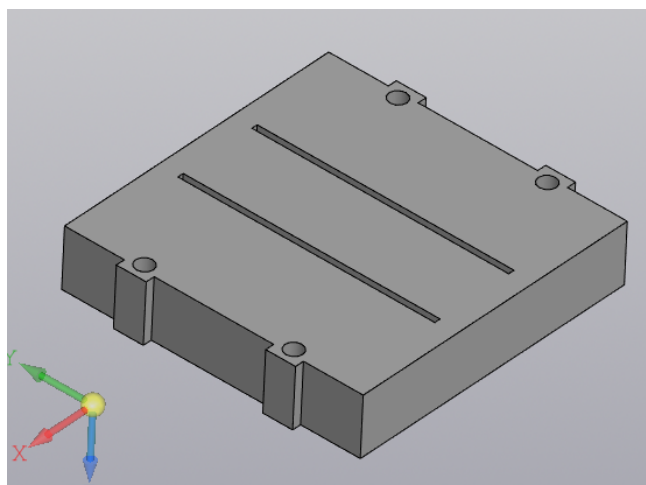


Рис. 2. Модель крышки ячейки для электрохимического получения феррата натрия

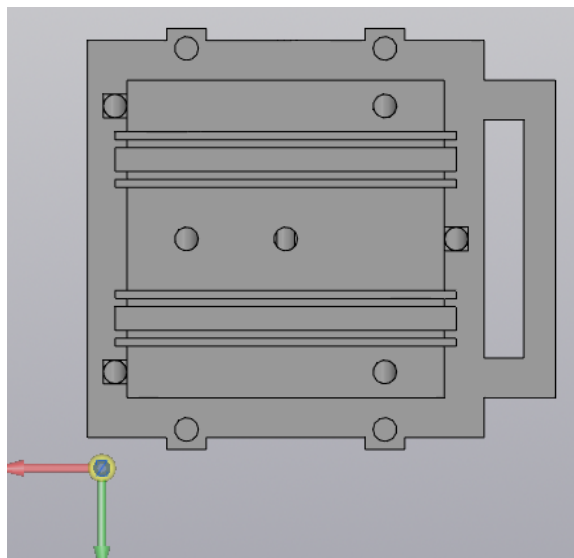


Рис. 3. Вид сверху на электролизную ячейку

Планы на дальнейшую работу

В дальнейшем планируется проведение экспериментов с применением разных видов анодов для изучения состава и формы анода на выход феррата, а также анализ экономической эффективности использования данных видов анодов, оценить влияние концентрации электролита и скорости рециркуляции на производительность и стабильность процесса. Необходимо оценить эксплуатационные расходы на производство и применение феррата на месте для очистки сточных вод. Необходимо также учитывать стоимость электролита, стоимость электроэнергии, комплектующих для установки. В зависимости от каждого элемента должна быть проведена оценка условий работы.

Список использованных источников:

1. *Talaiekhosani A., Talaei M.R., Rezania S.* An overview on production and application of ferrate (VI) for chemical oxidation, coagulation and disinfection of water and wastewater // *Journal of environmental chemical engineering*. – 2017. – Т. 5. – № 2. – С. 1828-1842.

2. Петкова А.П. и др. Технология производства реагентов для обеззараживания питьевой воды и стоков // Экология и промышленность России. – 2016. – Т. 20. – № 5. – С. 10–15.

3. Alsheyab M., Jiang J.Q., Stanford C. On-line production of ferrate with an electrochemical method and its potential application for wastewater treatment—A review // Journal of Environmental Management. – 2009. – Т. 90. – № 3. – С. 1350–1356.

4. Diaz M. et al. Towards in situ electro-generation of ferrate for drinking water treatment: A comparison of three low-cost sacrificial iron electrodes // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2021. – Т. 880. – С. 114897.

5. He W. et al. The rapid electrochemical preparation of dissolved ferrate (VI): Effects of various operating parameters // Electrochimica Acta. – 2006. – Т. 51. – № 10. – С. 1967–1973.

6. He W. et al. Novel KOH electrolyte for one-step electrochemical synthesis of high purity solid K_2FeO_4 : Comparison with NaOH // Electrochemistry communications. – 2005. – Т. 7. – № 6. – С. 607–611.

REVIEW OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF SODIUM FERRATE

Petkova A.P., Sharafutdinova G.R.

*St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia
grsharafutdinova@yandex.ru*

Abstract. The study of the use of ferrate (VI) for water and wastewater treatment has been well studied recently. However, there are still disagreements and gaps in the choice of materials for the process. The paper presents a brief review of the literature on the parameters of the electrochemical process for obtaining sodium ferrate. A model of an electrolysis cell is presented that meets the requirements of the process and the material for its manufacture is selected.

Key words: sodium ferrate, electrochemical process, electrolysis plant, anode

УДК 669.85

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПАРЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ПРИ РАФИНИРОВАНИИ РАСПЛАВОВ МЕДНЫХ ЛОМОВ

Задиранов А.Н.¹, д.т.н., профессор,

Контрерас Т.², аспирант

¹ Академия государственной противопожарной службы

МЧС России, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

zadiranov@mail.ru

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования процесса рафинирования расплава медного лома путем обдува паровоздушной смесью. Проведена оценка интенсивности перехода в газовую фазу цинка, свинца и олова в процессе окислительной рафинирующей плавки меди. Обработкой экспериментальных данных получены формулы для расчета скорости изменения концентраций цинка, олова и свинца в объеме медного расплава. Найдены расчетные значения констант скоростей окисления расплавов меди и их рафинирования от примесей цинка, олова и свинца при обдувке паровоздушной смесью. Показана высокая эффективность обдувки расплава парогазовыми смесями при рафинирующей индукционной плавке медных ломов, содержащих примеси цинка, свинца и олова, разработана физико-химическая модель данного процесса.

Ключевые слова: медный лом, примеси, окислительное рафинирование, паровоздушная смесь

Введение

Одним из основных видов шихты, используемой при выплавке сплавов на основе меди, является медный лом [1-2]. Применение ломов при производстве медных сплавов обусловлено стремлением снижения себестоимости готовой продукции за счет низкой стоимости ломов [1]. Однако медный лом содержит примеси железа, серы, цинка, свинца, олова, сурьмы и др., концентрации которых изменяются в широких пределах в зависимости от сортности сырья [3-4]. Последнее предопределяет необходимость применения технологической операции окислительного рафинирования медного

расплава [5-6] обдувом паровоздушной смесью. Поэтому выявление механизма удаления примесей из расплава имеет принципиальное значение для наиболее рациональной организации рафинирующей плавки.

В этой связи представляется важным разработка физико-химической модели испарения примесей при окислительном рафинировании расплавов медных ломов паровоздушными смесями (обдув) с оценкой вклада процесса испарения в общий рафинировочный процесс.

Материалы и методы

Для достижения цели исследования в работе были поставлены следующие задачи:

- получение экспериментальных данных о поведении примесей в процессе окислительного рафинирования (обдува) расплавов медных ломов;

- на основании полученных данных разработка физико-химической модели испарения примесей из расплавов медных ломов.

Эксперименты проводили на индукционной печи ИЛК-0,8 с массой садки меди 1200 кг и площадью поверхности ванны 0,785 м². Плавку шихты вели под древесным углем. После проплава шихты с поверхности ванны печи удаляли шлак и производили рафинирование расплава обдувом паровоздушной смесью в течение 6 часов. Для исключения неравновесного переокисления меди и образования на поверхности медного расплава пленки оксидной фазы в качестве дутья использовали паровоздушную смесь с отношением пар:воздух = 3:1. Расход дутья составлял 60-70 м³/час. За изменением состава медного расплава следили путем периодического отбора проб с последующим их анализом. Перед разливкой металла в слитки производили его раскисление лигатурой Cu-P и Cu-Si.

В качестве объектов исследования выбрали примеси цинка, олова и свинца, упругость паров которых в металлической или оксидной форме при температурах рафинирования относительно велика, а константы равновесия реакции окисления $[Me] + [O] = [MeO]$ существенно отличаются.

Полученные результаты и дискуссия

На основании имеющихся физико-химических данных [7-9] с классических позиций теории газов провели оценку интенсив-

ности и форм перехода в газовую фазу цинка, свинца и олова в процессе окислительной рафинирующей плавки меди. Скорость перехода примесей металлов в газовую фазу оценивали в соответствии с аналитической зависимостью вида:

$$dC_i/dt = -(S/m_{Cu}) \cdot [k_i - k_{Cu}] \cdot C_i, \quad (1)$$

где C_i – концентрация примеси в черновой меди, %;

S – свободная поверхность расплава, $см^2$;

$k_i = P_i^0 \cdot \gamma_i \cdot \sqrt{(M_i/T)/17,4}$ – константа скорости испарения в уравнении Лангмюра;

m_{Cu} – масса черновой меди, г;

$k_{Cu} = P_{Cu}^0 \cdot \sqrt{(M_{Cu}/T)/17,4}$ – константа скорости испарения меди в уравнении Лангмюра;

P_i^0 – давление пара над расплавом чистой примеси в наиболее легко испаряющейся форме (металл или оксид металла примеси), Па;

γ_i – коэффициент, характеризующий долю примеси в форме, которая в наибольшей мере отвечает за испарение, отн. ед.

Оценка процесса испарения цинка

Обработкой экспериментальных данных установлено, что скорость изменения концентрации цинка в объеме медного расплава за счет его испарения описывается выражением:

$$dC_{Zn}/dt = -(S/m_{Cu}) \cdot [k_{Zn} - k_{Cu}] \cdot C_{Zn}, \quad (2)$$

где $k_{Zn} = k_{Zn}^e / (C_{[O]}/C_{[O]}^e)$ является коэффициентом, отражающим изменение скорости испарения цинка в зависимости от насыщения медного расплава кислородом, а k_{Zn}^e – предельным значением коэффициента k_{Zn} , отвечающим условиям равновесия металлического расплава с его оксидом.

Интегрирование (2) дает уравнение, отражающее изменение относительной концентрации цинка в медном расплаве в процессе окислительного рафинирования и его прямой возгонки:

$$\ln(C_{Zn}/C_{Zn}^0) = -S/m_{Cu} \{ (k_{Zn}^e - k_{Cu})t + (k_{Zn}^e/k_O) \ln[1 - \alpha \exp(-k_O t)] / (1 - \alpha) \}, \quad (3)$$

где $\alpha = (1 - C_{[O]}^0/C_{[O]}^e)$;

C_{Zn}^0 и C_{Zn} – текущая и исходная концентрация цинка в расплаве меди;

$C_{[O]}^0$ и $C_{[O]}^e$ – начальная и предельно достигаемая при данной температуре концентрации кислорода в медном расплаве,

S/m_{Cu} – удельная поверхность расплава;

k_O – константа скорости насыщения медного расплава кислородом.

На рис. 1 (а) представлено сравнение расчетных значений, полученных при использовании уравнения (3) и экспериментальных макрокинетических зависимостей поведения цинка в процессе окислительного рафинирования расплава меди.

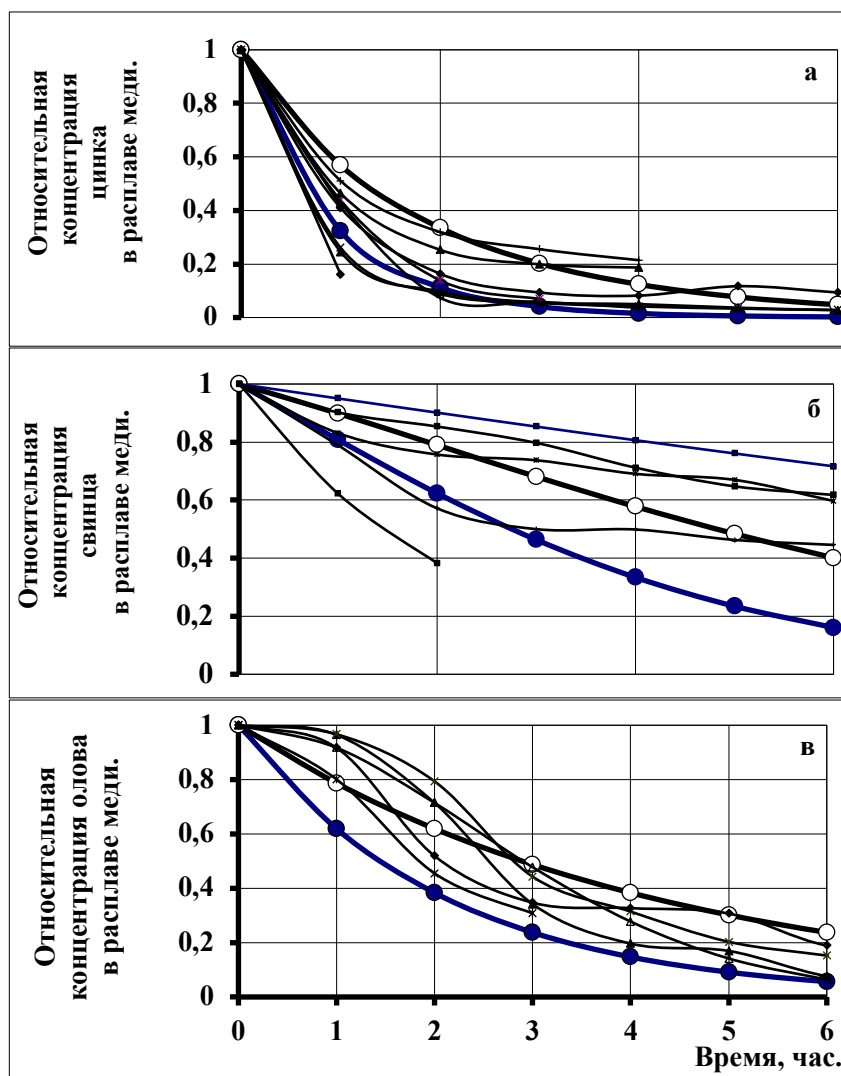


Рис. 1. Сравнение расчетных макрокинетических данных испарения цинка (а), свинца (б) и олова (в) из медного расплава в процессе рафинирования с экспериментальными данными: расчет проведен при поверхности расплава, открытой полностью (●) и наполовину (○); остальные линии – экспериментальные данные
Оценка процесса испарения свинца.

Обработкой экспериментальных данных установлено, что изменение относительной концентрации свинца за счет его испарения из расплава меди в процессе рафинирования последнего описывается выражением:

$$\ln(C_{Pb}/C_{Pb}^0) = -(S/m_{Cu})(M_{PbO}/M_{Cu})\{(-k_{Cu})t + P_{PbO}^0(\sqrt{(M_{PbO}/T)/17,14}) \times \\ \times \beta/[1+\beta \cdot (\gamma)]\{t - [1/k_O \beta \gamma] \ln\{(1+\beta \gamma) - \alpha \beta \gamma \exp(-k_O t)/[(1+\beta \gamma) - \alpha \beta \gamma]\}, \quad (4)$$

где P_{PbO}^0 – давление пара оксида свинца, Па;

$$\alpha = (1 - C_{[O]}^0/C_{[O]}^e),$$

$$\beta = K_p \cdot (P_{[O_2]}^e)^{1/2},$$

$$\gamma = M_{Pb}/(M_{Pb} + M_O) = 0,928.$$

Результат сравнительного анализа (рис. 1 (б)) экспериментальных и расчетных данных показывает, что в основном рафинирование медного расплава от свинца осуществляется путем его испарения в форме металла и оксида.

Оценка процесса испарения олова

Установлено, что процесс удаления олова из медного расплава (рис. 1 (в)) определяется возгонкой его оксида, описываемого выражением вида:

$$\ln C_{Sn}/C_{Sn}^0 = -(S/m_{Cu})[k_{SnO} - k_{Cu}]t, \quad (5)$$

Выражение (5) отражает изменение относительной концентрации олова в объеме медного расплава в процессе его окислительного рафинирования, в котором C_{Sn} и C_{Sn}^0 – отвечают текущей и начальной концентрации олова в расплаве меди, а k_{SnO} и k_{Cu} – константы скорости испарения оксида олова и меди.

В табл. 1 представлены расчетные значения констант скоростей окисления расплавов меди (k_O) и их рафинирования от примесей цинка, олова и свинца при обдувке паровоздушной смесью.

Как видно из табл. 1, значения величин констант, характеризующих прямой переход примесей в газовую фазу, уменьшаются в ряду $k_{Zn} > k_{Sn} > k_{Pb}$. При этом перевод в газовую фазу цинка происходит в виде металла, свинца – в виде металла и оксида, олова – в виде оксида.

Таблица 1

Константы скорости окисления и рафинирования расплавов меди паровоздушной смесью

| k_i , г/см ² ·час | k_o | k_{Zn} | k_{Sn} | k_{Pb} |
|--------------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Значения | 0,077 | 1202,8 | 155,31 | 34,01 |

В результате обдувки расплавов меди паровоздушной смесью в процессе индукционной плавки и насыщения металла кислородом (~0,5-0,6 %, рис. 2) извлечение примесей в газовую фазу составило: 90 % Zn, 50 % Pb и 75 % Sn. Сокращение длительности обдувки до 1 часа снижает эффект рафинирования расплава от тех же примесей до 35-40%.

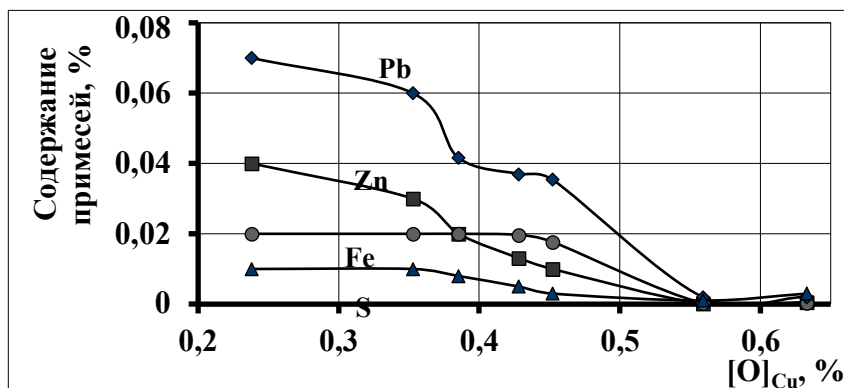


Рис. 2. Изменение содержания примесей в медном расплаве в зависимости от степени его окисленности при 1513 К и $P_{O_2}=15$ кПа

Оценку эффективности обдувки расплава меди при рафинирующем переплаве медных концентратов проводили на основе результатов балансового распределения металлической фазы (меди) по основным продуктам опытно-промышленной плавки сырья (табл. 2). Технология рафинирующей плавки концентратов включала две основные стадии: переплав сырья под слоем древесного угля и обдув поверхности расплава парогазовой смесью. При этом каждой из стадий предшествовала операция снятия шлака.

Как видно из табл. 2, извлечению меди в слиток (28380 кг – 94,6 %) при рафинирующей плавке концентратов сопутствуют возвратные (оборотный шлак, «болото», выломки) и безвозвратные (невязка – «угар») потери металла. Доля возвратных потерь металла по технологии составляет 1073 кг (3,57 %), доля безвозвратных потерь металла – 549 кг (1,83 %). Общая масса оборотного шлака составляет 1801 кг, в ней содержится 1,97 % металла шихты.

Таблица 2

Распределение меди по продуктам плавки концентратов

| Концентрат, кг (%) | Слитки, кг (%) | «Болото», выломки, кг (%) | Оборотный шлак, кг (%) | | Не- вязка, кг (%) |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | Плавильный | После рафинир-я | |
| 30000 (100 %) | 28380 (94,6 %) | 320+162 (1,6 %) | 863 | 938 | 549 (1,83 %) |
| ИТОГО | 28862 | 96, 2 %) | 591 (1,97 %) | | |

Выводы

В результате экспериментальных исследований процесса окислительной рафинирующей плавки медного лома проведена оценка интенсивности перехода в газовую фазу цинка, свинца и олова.

Получены формулы для расчета скорости изменения концентраций цинка, олова и свинца в расплаве, разработана физико-химическая модель данного процесса. Найдены расчетные значения констант скоростей окисления расплавов меди и их рафинирования от примесей цинка, олова и свинца при обдувке паровоздушной смесью.

В целом, с учетом потерь металла с оборотными шлаками и угаром, степень извлечения металлической фазы концентратов в расплав при рафинирующем переплаве составляет 96,2 %; при этом извлечение металлической фазы концентратов в слиток составляет 94,6 %.

Показана высокая эффективность обдувки расплава парогазовыми смесями при рафинирующей индукционной плавке медных ломов, содержащих примеси цинка, свинца и олова.

Список литературы

1. Промышленное производство в России 2021. – Статистический сборник / Росстат. – М.: 2021. – 305 с.

2. Sun Z.H.I., Xiao Y., Sietsma J., Agterhuis H., Visser G., Yang Y., 2015b. Selective copper recovery from complex mixtures of end-of-life electronic products with ammonia-based solution. *Hydrometallurgy* 152, 91-99.
3. Lambert F., Gaydardzhiev S., Léonard G., Lewis G., Bareel P.F., Bastin D., 2015. Copper leaching from waste electric cables by biohydrometallurgy. *Miner. Eng.* 76, 38-46.
4. Koyanaka S., Ohya H., Endoh S., Iwata H., Dittl P., 1997. Recovering copper from electric cable wastes using a particle shape separation technique. *Adv. Powder Technol.* 8, 103-111.
5. Леушин И.О., Коровин В.А., Ульянов В.А., Токарникова О.В., Шугин В.Е. Влияние внепечных методов воздействия на медные сплавы для повышения их качества // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2(15). – С. 80–83.
6. Малькова М.Ю., Потылицын В.А., Тарасов А.В. Методы переработки металлосодержащих отходов // Цветная металлургия. 2013. № 3. – С. 13–24.
7. Сорокин В.А., Касиков А.Г., Нерадовский Ю.Н. Изучение закономерностей пирометаллургического рафинирования сульфидного медно-никелевого сырья // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 5 (31). – С. 204–207.
8. Казенас Е.К., Цветков Ю.В., Астахова Г.К., Волченкова В.А. Равновесные давления паров химических элементов // Физика и химия обработки материалов. 2014. № 6. – С. 80–83.
9. Брюквин В.А., Задиранов А.Н., Леонтьев В.Г., Цыбин О.И. Взаимодействие расплавов металлической меди с паровоздушными газовыми смесями применительно к задачам технологии их рафинирования от примесей // Цветные металлы. 2003. № 5. – С. 34–36.

PHYSICO-CHEMICAL MODEL OF EVAPORATION OF IMPURITIES DURING REFINING OF COPPER SCRAP MELTS

Zadiranov¹ A.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Contreras² T., postgraduate student

¹ State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

zadiranov@mail.ru

Abstract. Experimental studies of the process of refining the copper scrap melt by blowing with a steam-air mixture have been carried out. The intensity of the transition to the gas phase of zinc, lead and tin in the process of oxidative refining smelting of copper is estimated. By processing experimental data, formulas were obtained for calculating the rate of change in the concentrations of zinc, tin and lead in the volume of the copper melt. Calculated values of the rate constants of oxidation of copper melts and their refining from zinc, tin and lead impurities during blowing with a steam-air mixture are found. The high efficiency of blowing the melt with steam-gas mixtures during refining induction melting of copper scrap containing zinc, lead and tin impurities is shown, a physicochemical model of this process is developed.

Keywords: copper scrap, impurities, oxidative refining, steam-air mixture

Секция 4

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ОЦЕНКА БРАКА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ВСЛЕДСТВИЕ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ковалев А.А., канд. техн. наук, доцент,

kovalevarta@gmail.com

Кирпичев М.В., студент кафедры технологии

машиностроения (МТ-3)

kirpichev.maks@yandex.ru

Кафедра технологии машиностроения (МТ-3),

Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В настоящей статье рассматривается оценка и способ уменьшения доли брака, связанного с износом режущего инструмента, при изготовлении ответственных деталей из титановых сплавов на участке механической обработки. На основании расчетов стойкости инструмента и построения имитационной модели участка механической обработки деталей предложен алгоритм уменьшения количества брака, вызванный отказом режущего инструмента.

Ключевые слова: имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, определение стойкости инструмента, AnyLogic

Введение

При механической обработке заготовок неизбежно появление брака, величину которого целесообразно оценивать на этапе технологической подготовки производства, что является комплексной задачей, ввиду большого количества факторов, влияющих на появление брака. Однако, выделив один из видов брака, в частности вследствие износа инструмента, возможно предварительно оценить его величину посредством средств имитационного моделирования, основываясь на данных о стойкости инструмента, режимах обработки и операциях технологического процесса.

Целью работы является снижение доли брака от износа инструмента на этапе технологической подготовки производства за

счет оценки стойкости инструмента с помощью средств имитационного моделирования.

Расчет стойкости инструмента

С целью непосредственного уменьшения доли брака вследствие износа инструмента необходимо применение инструментов с большей стойкостью, что, однако, требует дополнительного обоснования: помимо оценки стойкости необходимо учесть время обработки заготовок на различных станках рассматриваемого участка, а также стоимость самого инструмента. Моделирование процесса обработки на участке позволяет изменять переменные и использовать одну модель для получения необходимых данных, применяя различные инструменты.

Под браком понимается продукция, не соответствующая предъявленным требованиям и/или имеющая производственные дефекты. Существует множество причин, вызывающих появление брака, однако в данной работе рассмотрена только одна из них – брак от износа инструмента, вызванный его переходом по истечении определенного времени в негодное состояние, то есть превышением значения его стойкости. Таким образом, чем выше стойкость инструмента, тем дольше инструмент способен обрабатывать заготовки без появления брака.

Существует несколько методов расчета стойкости инструмента [2].

Табличный метод, основанный на нормативах режимах резания, рекомендуется использовать в производственных условиях при отсутствии вычислительной техники, а также в проектных организациях при проектировании новых технологических процессов изготовления изделий без высоких эксплуатационных требований.

С помощью **аналитического** метода расчет стойкости инструмента проводится по мощности, затрачиваемой на процесс резания, с последующей проверкой прочности режущего инструмента и заготовки. Метод может быть использован, если нет ограничений в выборе модели станка и его характеристик, а аналитические зависимости по определению подачи и скорости резания имеют достаточную точность расчета.

Графоаналитический метод заключается в построении графика «линия станка – линия резца» и требует довольно трудо-

емких вычислений для построения, поэтому его использование в производственных условиях затруднено.

Сущность **машинного метода с использованием компьютеров и специальных программных сред** заключается в использовании теоретических зависимостей по определению параметров процесса резания, режима обработки, параметров качества поверхностного слоя и точности обработки, а также в вычислении экономически обоснованного режима обработки в программной среде.

Проблематика рассматриваемой темы в данной работе решалась на примере участка по обработке детали «Обойма». Маршрутный технологический процесс изготовления детали приведен в таблице 1.

Таблица 1

Маршрутный технологический процесс

| № | Наименование операции |
|-----|-------------------------------|
| 005 | Токарная с ЧПУ |
| 010 | Токарная с ЧПУ |
| 015 | Координатно-расточная |
| 020 | Сверлильно-фрезерно-расточная |
| 030 | Токарно-винторезная |
| 035 | Токарно-винторезная |
| 040 | Контроль |
| 045 | Никелирование |
| 050 | Термическая обработка |
| 055 | Контроль |
| 060 | Токарная с ЧПУ |
| 065 | Сборка |
| 070 | Координатно-расточная |
| 075 | Координатно-шлифовальная |
| 080 | Координатно-шлифовальная |
| 085 | Маркирование |
| 090 | Контроль |

Размер партии заготовок, единовременно запускаемой в производство – 100 шт. Штучное время обработки детали по группам оборудования представлено в таблице 2.

Таблица 2

Штучное время обработки по группам оборудования

| Группа оборудования | Штучное время, мин |
|-------------------------------|--------------------|
| Токарная с ЧПУ | 75,19 |
| Токарно-винторезная | 11,15 |
| Координатно-расточная | 16,99 |
| Сверлильно-фрезерно-расточная | 70,12 |
| Координатно-шлифовальная | 22,23 |

На основании данных таблицы 2 следует, что на участке преобладает лезвийная обработка детали. В совокупности с трудно-обрабатываемым материалом детали – титановым сплавом BT20, продолжительность обработки обуславливает быстрый износ режущего инструмента.

В данной работе объектом исследования выбрана токарная обработка на операциях 030-035, являющейся последней чистовой лезвийной обработкой детали перед нанесением покрытия.

Стойкость резцов рассчитана по машинному методу В.Ф. Безъязычного. Данную методику возможно применять в условиях современного производства, используя специальные программные среды для оперирования большим количеством параметров, позволяющим получать более достоверные результаты по сравнению с другими методами расчета.

Методика расчета режимов резания и стойкости инструмента В.Ф. Безъязычного подробно описана в источнике [2]. На рисунке 1 представлена схема расчета описываемого метода.

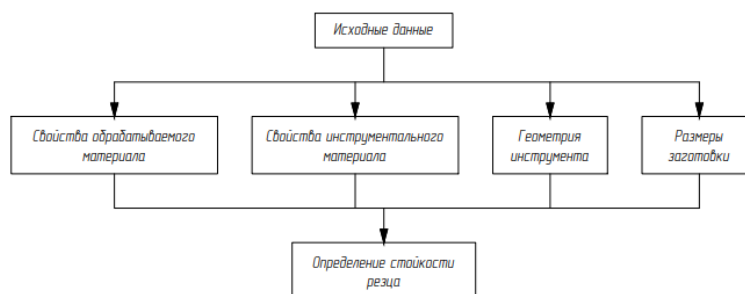


Рис. 1. Схема расчета стойкости инструмента

С помощью баз данных и специальных справочников определены необходимые значения свойств обрабатываемого материала (BT20) [3; 2, табл. 1.2]: предел текучести; теплопроводность; удельная объемная теплоемкость; модуль упругости; сопротивление пластическому сдвигу; температуропроводность; предел прочности и коэффициент температурного линейного расширения.

Кроме того, для расчета стойкости необходимы значения свойств инструментального материала: теплопроводность, предел прочности на сжатие, допустимая фаска износа по задней поверхности инструмента.

В качестве материала инструмента в [2, табл. 1.3] для обработки титанового сплава BT20 предложены к рассмотрению твердый сплав BK8 и быстрорежущая сталь P18. Значения перечисленных характеристик для материалов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики инструментальных материалов

| Характеристика | BK8 | P18 |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| λ_p , Дж/м ³ · °С | 54,47 [2, табл. 1.4] | 38,55 [2, табл. 1.4] |
| σ_u , МПа | 1666 [4] | 1421 [6] |
| $\Delta_{изн}$, мм | 0,1 [5, табл. 2.6] | 0,1 [5, табл. 2.6] |

С помощью программы CoroPlus® ToolGuide от Sandvik для обработки детали выбраны следующие инструменты: державка DCLNR 2525M 12 [7] и режущая пластина CNGM120408F-HGR 7125 [8] со следующими значениями необходимых для расчета углов и параметров режущей кромки: $\alpha - 0^\circ$ (0 рад) ; $\gamma - -6^\circ$ (-0,1 рад) ; $\varphi - 95^\circ$ (1,65 рад) ; $\varphi_1 - 5^\circ$ (0,087 рад) ; $\lambda - -6^\circ$ (-0,1 рад); $r - 0,8$ мм; $\rho_1 - 30^\circ$ (0,523 рад). Размеры заготовки: Ø56x21 мм.

Стойкость инструмента определяется по ее зависимости от скорости резания по формуле (2) с учетом формулы (3):

$$\vartheta = \left(\frac{K \cdot (1 - \sin \gamma)^{0,73 y_1}}{Z \cdot a^{(1+x+z)y_1 - z_1} \rho_1^{z_1}} \right)^{\frac{1}{1+(1+x)y_1}} \quad (2)$$

$$\frac{\pi \cdot d \cdot l}{S} = \vartheta \cdot t \quad (3)$$

где

$$K = \Delta_{\text{изн}} \cdot a_1^{(1+x)y_1} \cdot b_1^{zy_1} \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_g} \cdot \beta \cdot \varepsilon\right)^{yy_1} \quad (4)$$

$$Z = c_1 \cdot c^{y_1} \cdot T \cdot \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u}\right)^{x_1} \quad (5)$$

a_1 – толщина среза; b_1 – ширина среза; β – угол заострения резца;

ε – угол при вершине резца; $c_1, c, x, x_1, y, y_1, z, z_1$ – величины, зависящие от свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Вычисления и подбор коэффициентов по формулам (2)–(5) проведены в инженерной математической программе-обеспечении MathCAD v.14. Значения выбранных коэффициентов для материала резцов представлены в таблице 4:

Таблица 4

Значения подобранных коэффициентов

| Коэффициент | c | c_1 | x | x_1 | y | y_1 | z | z_1 |
|-------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| ВК8 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,8 |
| P18 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,8 |

При обработке заготовок с выбранной скоростью резания (30 м/мин) для материала ВК8 стойкость составляет $T = 38$ мин, а для материала Р18 – 29 мин. По формуле (3) рассчитано время резания для одной заготовки:

$$t = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{S \cdot g} \quad (6)$$

$$t = \frac{3,14 \cdot 56 \cdot 21}{0,2 \cdot 30000} = 0,615 \text{ мин} \quad (7)$$

Для расчета количества заготовок, обрабатываемых без смены инструмента, для материала ВК8 применялась формула (8):

$$N = \frac{T}{t} = \frac{38}{0,615} = 61,789 \quad (8)$$

Полученное значение означает выполнение требований по необходимой точности и шероховатости поверхности при обработке 61 заготовки, при этом следующая будет бракованной. Аналогичные расчеты проведены для материала P18:

$$N = \frac{T}{t} = \frac{29}{0,615} = 47,154 \quad (9)$$

В совокупности с информацией о технологическом процессе обработки заготовок на участке (последовательность операций и их длительность) рассчитанные значения N являются исходными данными для разработки имитационной модели участка.

Моделирование обработки заготовок

Имитационная модель создаваемого участка основана на работе агентов и наборов ресурсов, отвечающих за заготовки, обрабатываемые на участке, и оборудование (обрабатывающее и транспортное) соответственно, поэтому в качестве исходных данных для разработки необходима планировка участка и технологические процессы изготовления деталей на этом участке. Сама имитационная модель является схемой, представляющей из себя набор соединенных между собой блоков, определяющих поведение агентов и ресурсов [9].

Для моделирования брака вследствие износа инструмента требуется количество заготовок N , обрабатываемых за период стойкости, и ввод в схему участка блоков, представленных на рис. 2.

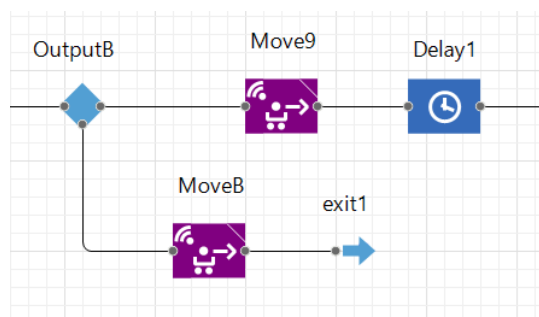


Рис. 2. Моделирование брака от износа инструмента

Блок «OutputB» разделяет поток заготовок на 2 пути: по верхнему пути проходят заготовки, прошедшие контроль, по нижнему – отбракованные из-за износа инструмента. Разделение заготовок задано при помощи переменной – счетчика прошедших заготовок «Count».

Данная переменная отсчитывает количество заготовок, прошедших через блок «OutputB», и при накоплении достаточного количества заготовок N (для ВК8 – 61 шт., для Р18 – 47 шт.), следующую направляет вниз по разветвлению.

Резец, используемый при обработке, может быть не новым, поэтому начальное значение переменной должно быть задано случайным образом и находиться в интервале от 0 до N . Начальное значение переменной задается в разделе «Начальное значение» введением Java-кода:

$$\text{Math.random()} * (N + 1) + 1. \quad (10)$$

Сам процесс отсеивания брака смоделирован условием в виде Java-кода, прописанным в блоке «OutputB»:

$$\text{count} \% N \neq 0. \quad (12)$$

Данный код проверяет остаток до деления текущего значения переменной «Count» на число N и сравнивает его с 0. Если переменная кратна N , резец затупился и требует замены, а следующая заготовка получится бракованной.

По результатам моделирования обработки резцом из материала ВК8, с учетом случайного значения переменной «Count», количество бракованных деталей будет варьироваться от 1 до 2. Аналогичное количество деталей при обработке резцом из Р18 – 2-3. Учитывая стоимость резцов, применяемых на финишной операции обработки ответственной детали из титанового сплава (Р18 – от 150 до 300 рублей, ВК8 – от 250 до 400 [10]), а также стоимость материала заготовки (1750 рублей/кг), предпочтительнее использовать резец из твердого сплава ВК8.

Заключение

Пошаговую последовательность данной работы можно свести к методике по оценке и снижению уровня брака, связанного с отказом режущего инструмента (рис. 3).

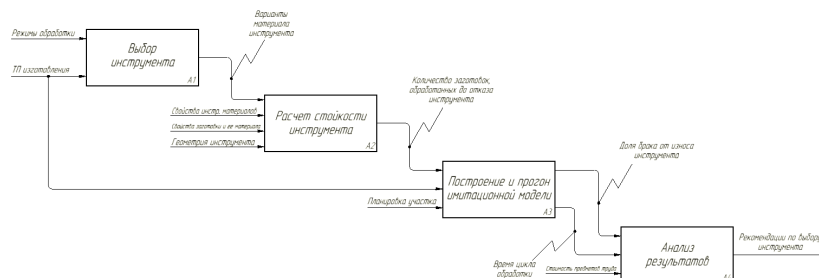


Рис. 3. Методика оценки и снижения брака от износа инструмента

Полученный алгоритм пригоден для прогнозирования уровня брака и выбора необходимого инструментального материала на этапе технологической подготовки производства, что позволит повысить качество принимаемых технологических решений.

Список литературы

1. Модель роста производительности труда персонала на промышленном предприятии [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/model-rosta-proizvoditelnosti-truda-personala-na-promyshlennom-predpriyatii/viewer> (дата обращения: 28.02.2023).
2. Безъязычный В.Ф., Аверьянов И.Н., Кордюков А.В. Расчет режимов резания. Учебное пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
3. Мир промышленного оборудования. BT20 [Электронный ресурс] <http://npctitan.ru/tisplav/BT20.pdf> (дата обращения: 28.02.2023).
4. Все построим сами. Твердый сплав ВК8 [Электронный ресурс] http://vse-postroim-sami.ru/materials/metal/10213_tverdyjsplav-vk8/ (дата обращения: 28.02.2023).
5. Васильев В.И. Резание материалов: в 2 ч. Часть 1: учебное пособие. – Томск: Изд.-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 236 с.
6. Марочник стали и сплавов. Характеристика материала P18 [Электронный ресурс] http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3023 (дата обращения: 28.02.2023).
7. Sandvik Coromant. CNGM120408F-HGR 7125 [Электронный ресурс] <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/pages/productdetails.aspx?c=dclnr%202525m%2012&f=1> (дата обращения: 28.02.2023).

8. *Sandvik Coromant*. DCLNR 2525M 12 [Электронный ресурс] <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/productdetails.aspx?c=cngm120408fhgr%20%20%20%20%207125&Country=ru> (дата обращения: 28.02.2023).

9. *Ковалев А.А. и др.* Оптимизация грузопотоков в технологических комплексах механосборочных производств посредством имитационного моделирования компоновочно-планировочных решений в программной среде AnyLogic. Учебное пособие. – М.: Издательство «Спутник +», 2021. – 146 с.

10. Все инструменты ру. Резцы токарные [Электронный ресурс] https://www.vseinstrumenti.ru/rashodnie_materialy/k_stankam/tokarnym/stameski_i_reztsy/ (дата обращения: 28.02.2023).

REDUCTION OF MACHINING DEFECTS FROM TOOL WEAR BY MEANS OF SIMULATION MODELING

*Kovalev A.A., Phd, associate Professor, Associate Professor
kovalevarta@gmail.com;*

Kirpichev M.V., student

*Department of Machine-Building Technology (MT-3),
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
kirpichev.maks@yandex.ru*

Abstract. This article discusses the assessment and method of reducing the proportion of defects associated with the wear of the cutting tool in the manufacture of critical parts made of titanium alloys at the machining site. Based on the calculations of tool durability and the construction of a simulation model of the machining area of parts, an algorithm is proposed to reduce the number of defects caused by the failure of the cutting tool.

Keywords: simulation modeling, discrete-event modeling, determination of tool durability, AnyLogic

References

1. The model of staff productivity growth at an industrial enterprise [Electronic resource] <https://cyberleninka.ru/article/n/model-rosta->

proizvoditelnosti-truda-personala-na-promyshlennom-predpriyatii/viewer (accessed: 28.02.2023).

2. *Bezylazny V.F., Averyanov I.N., Kordyukov A.V.* Calculation of cutting modes. Study guide. – Rybinsk: RGATA, 2009. – 185 p.

3. The world of industrial equipment. VT20 [Electronic resource] <http://npctitan.ru/tisplav/BT20.pdf> (accessed: 28.02.2023).

4. We will build everything ourselves. Hard alloy VK8 [Electronic resource] http://vse-postroim-sami.ru/materials/metal/10213_tverdyj-splav-vk8/ (accessed: 28.02.2023).

5. *Vasiliev V.I.* Cutting materials: in 2h. Part 1: textbook. – Tomsk: Publishing House of the State Archit.- builds. un-ta, 2016. – 236 p.

6. Vintage of steel and alloys. Characteristics of the material P18 [Electronic resource] http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3023 (accessed: 28.02.2023).

7. *Sandvik Coromant.* CNGM120408F-HGR 7125 [Electronic resource] <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/pages/productdetails.aspx?c=dclnr%202525m%2012&f=1> (accessed: 02/28/2023).

8. *Sandvik Coromant.* DCLNR 2525M 12 [Electronic resource] <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/productdetails.aspx?c=cngm120408f-hgr%20%20%20%20%207125&Country=ru> (accessed: 28.02.2023).

9. *Kovalev A.A. et al.* Optimization of cargo flows in technological complexes of mechanical assembly plants by means of simulation modeling of composite planning solutions in the AnyLogic software environment. Textbook. – M.: Publishing house "Sputnik +", 2021. – 146 p.

10. All ru tools. Turning cutters [Electronic resource] https://www.vseinstrumenti.ru/rashodnie_materialy/k_stankam/tokarnym/stameski_i_reztsy/ (accessed: 28.02.2023).

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ КАК ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА

Подрез Н.В.

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск, Россия*

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка новой методики оценки технологичности конструкции изделия машиностроения на основе экспертной системы. В ходе выполнения исследования данного вопроса был выполнен анализ оценки ТКИ на современном производстве, выявлена проблема оценки, предложена концепция методики. В результате была формализована информация оценки качественной и количественной оценки ТКИ, была разработана концепция экспертной системы, а также показана концепция вывода результатов в виде «Технологических рекомендаций» технологу по подготовке производства при запуске нового изделия.

Ключевые слова: технологичность конструкции изделия, база данных, база знаний, экспертная система, количественная оценка ТКИ, качественная оценка ТКИ, теория множеств

Введение

На современном производстве уже данным давно царствует цифровая эпоха изготовления продукции. Используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), всевозможные цифровые позиционеры, роботы, автоматизированные станции и т.д. Конструкторская документация выступает в роли электронной модели изделия, в которой заложена вся необходимая информация об изделии. Также для запуска нового изделия на этапе подготовки производства выполняется такая процедура как оценка технологичности конструкции изделия (ТКИ), то есть способность изделия изготавливаться на данном виде производства с наименьшими затратами [1]. Учитывая, что современное производство имеет в своей основе цифровые данные, логично, что и оценку ТКИ следует выполнять с помощью автоматизированных систем, что, к сожалению, до сих пор не выполняется.

Проанализировав, как выполняется оценка ТКИ на современном авиационном предприятии, было выявлено, что анализ количественной оценки ТКИ выполняется различными отделами производства, что сказывается на времени оценки и запуска производства. Также для оценки качественной ТКИ привлекаются технологи с большим опытом и квалификацией, что тоже сказывается на времени и себестоимости изготовления изделия [2].

В связи со всем сказанным выше выдвигается **цель исследования**: *с помощью электронной модели изделия следует выполнить формализацию необходимой информации для оценки количественной и качественной ТКИ, а также спроектировать новую методику оценки ТКИ в виде экспертной системы, где результат будет отображаться в виде технологических рекомендаций технологу подготовки производства.*

Формирование концепции методики оценки ТКИ

Чтобы анализ ТКИ выполнялся одним работником, причем таким, которому не надо иметь огромный опыт анализа ТКИ следует уйти от принципа оценки качественной ТКИ на основе атласов цехов, формализовать их в цифровую информацию. Также необходимо систематизировать, формализовать в цифровую информацию все необходимые показатели, коэффициенты и расчетные формулы, которые необходимы для расчета *количественной оценки ТКИ*. Чтобы исключить человеческий фактор, следует автоматизировать данный вычислительный процесс методики в виде баз данных и баз знаний. То есть в *базу данных* необходимо внести все необходимые данные для расчета количественной оценки ТКИ, а также атласы технологичности типовых конструктивных элементов изделия, а все формулы, взаимосвязи формализовать в *базу знаний*. Для данной задачи оптимально подходят *экспертные системы*, которые могут автоматизировано (на основе исходных данных изделия в виде геометрической информации о конструктивных элементах изделия) выполнять анализ ТКИ и выдавать результат технологу в виде технологических рекомендаций. Упрощенно блок-схема методики показана на рисунке 1.

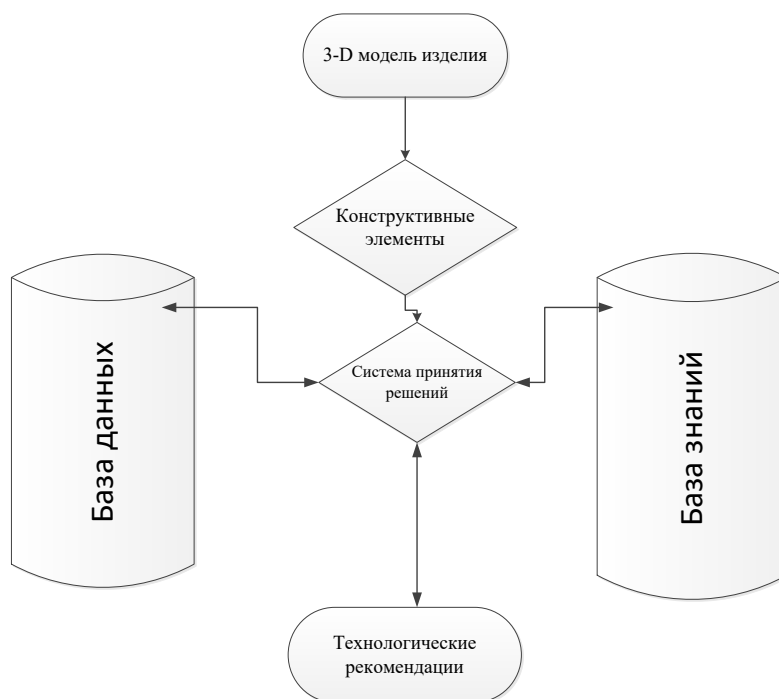


Рис. 1. Упрощенная блок-схема методики

Формирование фреймов баз данных

Для работы экспертной системы наиболее рациональный способ хранения знаний является продукционной фреймовая модель знаний, так как в данной модели данные хранятся в виде таблиц, что очень удобно и структурировано, также в данных таблицах можно задать взаимосвязи между таблицами, то есть фреймами. Так как у нас оценка ТКИ делится на два типа, то следует формализовать информацию для качественной и количественной оценки ТКИ [3].

Для оценки качественной ТКИ возьмем типовой конструктивный элемент фрезерованной детали – это технологические карманы, которые служат для облегчения детали, либо для определенных задач, заданных конструктором (см. рисунок 2).

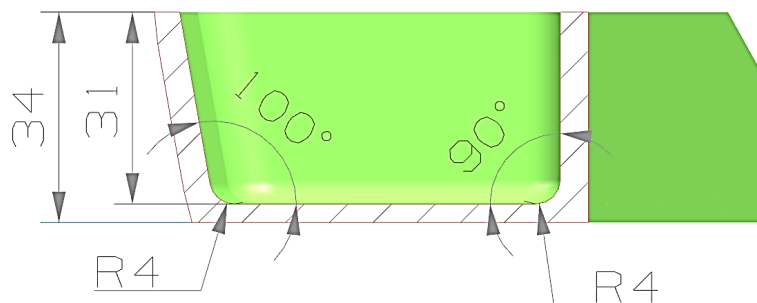
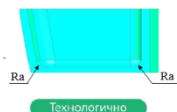
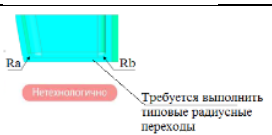


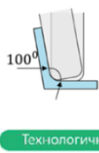


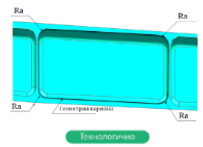

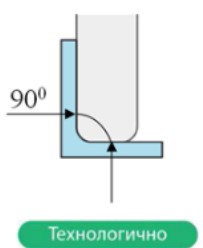
Рис. 2. Сечение кармана с его геометрическими характеристиками

Проанализировав атласы, которыми пользуются технологи подготовки производства для оценки, выяснилось, что данный конструктивный элемент детали является технологичным, при условии, что все радиусные переходы являются типовыми, то есть имеют один размер, а также, что малка угла равна $\geq 90^\circ$. Также закрытая малка угла ($\leq 90^\circ$) может быть технологичной, если на радиусном переходе будет технологический выступ, который образуется при фрезеровании фрезой острого угла борта кармана [4, 5, 6]. Данную информацию следует формализовать в виде фрейма (см. таблицу 1).

Таблица 1

Фрейм качественной оценки ТКИ конструктивного элемента изделия

| Слот видов конструктивных элементов | Значение слота |
|-------------------------------------|--|
| Типовые радиусы кармана |  |
| Нетиповые радиусы кармана |  |

| | |
|------------------------------|--|
| Открытая малка |  |
| Закрытая малка |  |
| Закрытая малка с уступом |  |
| Типовые внешние радиусы |  |
| Нетиповые внутренние радиусы |  |
| Малка 90° |  |

При подготовке производства для первого приближения используют следующие расчетные количественные показатели [7]:

1. трудоемкость изготовления изделия $T_{и}$, н/час;

2. материалоемкость M_6 , кг;
3. технологическая себестоимость изготовления C_t , руб.;
4. коэффициент использования материала (КИМ).

Проанализировав литературу авторов, изучив формулы расчета трудоемкости, материалоемкости, технологической себестоимости и коэффициента использования материала (КИМ) [7], приходим к выводу, что все вспомогательные таблицы поиска, $\frac{M_{и}}{M_a}$, $K_{ш}$; K_t ; таблица качества точности следует формализовать в базу данных поиска данных коэффициентов, а формулы расчета данных количественных параметров в базу знаний.

В конечном итоге получаем законченную базу данных оценки качественной и количественной ТКИ с входящими в него фреймами поиска коэффициентов $\frac{M_{и}}{M_a}$; $K_{ш}$; K_t , качества точности и фреймом качественной оценки ТКИ конструктивного элемента изделия (см. рисунок 3).

| Фрейм Км | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| $\frac{M_{и}}{M_a}$ | $K_{ш}$ | $\frac{M_{и}}{M_a}$ | $K_{ш}$ | $\frac{M_{и}}{M_a}$ | $K_{ш}$ | $\frac{M_{и}}{M_a}$ | $K_{ш}$ | $\frac{M_{и}}{M_a}$ | $K_{ш}$ |
| 0,2 | 0,34 | 1,2 | 1,13 | 2,2 | 1,69 | 3,2 | 2,13 | | |
| 0,3 | 0,45 | 1,3 | 1,19 | 2,3 | 1,74 | 3,3 | 2,22 | | |
| 0,4 | 0,54 | 1,4 | 1,25 | 2,4 | 1,82 | 3,4 | 2,26 | | |
| 0,5 | 0,63 | 1,5 | 1,31 | 2,5 | 1,86 | 3,5 | 2,31 | | |
| 0,6 | 0,71 | 1,6 | 1,37 | 2,6 | 1,91 | 3,6 | 2,35 | | |
| 0,7 | 0,78 | 1,7 | 1,42 | 2,7 | 1,96 | 3,7 | 2,39 | | |
| 0,8 | 0,85 | 1,8 | 1,48 | 2,8 | 2,01 | 3,8 | 2,43 | | |
| 0,9 | 0,91 | 1,9 | 1,53 | 2,9 | 2,06 | 3,9 | 2,46 | | |
| 1,0 | 1,0 | 2,0 | 1,58 | 3,0 | 2,08 | 4,0 | 2,52 | | |

| Фрейм показателей качественной ТКИ | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--|
| Сорт | Типовые размеры кармана | Исходные размеры кармана | Открытая шлица | Закрытая шлица | Закрытая шлица с резцами | Типовые внутренние размеры | Исходные внутренние размеры | Масса 90 гр. | |
| Защитная | | | | | | | | | |

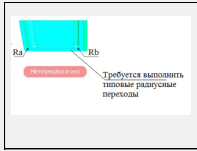
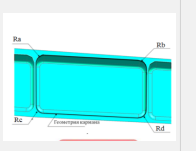


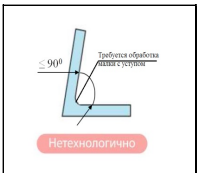
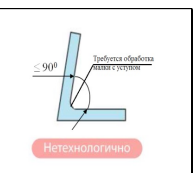
| Фрейм качества точности | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Качество точности | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Фрейм K_t и $K_{ш}$ | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Качество точности | 6 | 7 | 8 | 11 | 12 | 13 | | | |
| Значение корректирующего коэффициента $K_{ш}$ | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | | | |
| Характеристики шероховатости поверхности | R_z | R_z | R_z | R_z | R_z | R_z | | | |
| | 80 | 40 | 20 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | | | |
| Значение корректирующего коэффициента $K_{ш}$ | 0,95 | 0,95 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | | | |

Рис. 3. База данных методики анализа ТКИ

Формирование базы знаний

База знаний будет состоять из графической информации взаимосвязей, которые нужны для расчета методики анализа ТКИ в автоматизированном режиме на основе формул литературы [7] поиска $T_{и}$; M_6 ; C_t Схема базы знаний представлена на рисунке 4.

| Технологические рекомендации | | | |
|---|---|---------------------------|----------|
| Качественная оценка ТКИ | | Количественная оценка ТКИ | |
| Внутренние радиусы кармана | Внешние радиусы | наименование параметра | Параметр |
|  |  | Тн, час | 11,58 |
| | | Ст, руб | 6500 |
| | | КИМ | 0,4 |
| | | МБ, кг | 21,0 |
| Угол № 1 | Угол № 2 | | |
|  |  | | |
| Угол №3 | Угол №4 | | |
|  |  | | |

**Рис. 5. Модуль результатов расчета
«Технологические рекомендации»**

Математическое представление поиска нужных параметров в базе данных

Согласно рисунку 1 черными стрелками показаны взаимосвязи между фреймами базы данных, который должны быть найдены методом поиска в зависимости от исходных модели изделия. Данный поиск можно выполнить с помощью следующих преобразований. Представим себе, что элементы значений $\frac{M_i}{M_a}$ будем обозначать буквой «а», а элементы K_m будем обозначать буквой b. Первый индекс после букв будет означать номер строки, а второй – номер столбца. Индекс n обозначает номер строки в фрейме в зависимости от количества информации (см. таблицу 2).

Таблица 2

Преобразованный фрейм

| $\frac{M_i}{M_a}$ | K_m |
|-------------------|-----------|
| $a_{1,1}$ | $b_{1,2}$ |
| $a_{2,1}$ | $b_{2,2}$ |
| $a_{3,1}$ | $b_{3,2}$ |
| \dots | \dots |
| $a_{n,1}$ | $b_{n,2}$ |

Представим, что все элементы столбца $\frac{M_i}{M_a}$ это множество А (1):

$$A = \{a_{1,1}; a_{2,1}; a_{3,1}; \dots a_{n,1}\} \quad (1)$$

где n – номер строки в фрейме

Следовательно, столбец K_m можно представить множеством В (2):

$$B = \{b_{1,2}; b_{2,2}; b_{3,2}; \dots b_{n,2}\} \quad (2)$$

Фрейм коэффициента K_m , четко показывает отношение между $\frac{M_i}{M_a}$ и коэффициентом K_m , элемент первой строки первого столбца строго имеет отношение к элементу первой строки второго столбца и так далее, то есть имеется пересечение между множеством А и В. При пересечении двух множеств образуется множество Q, состоящее из подмножеств C_n для которого справедливо следующее выражение (3):

$$A \cup B = Q\{C_1; C_2; C_3; \dots C_n\} \quad (3)$$

где n – номер строки в фрейме

Подмножества C_n состоят из элементов первого и второго столбца фрейма, но для конкретной строки, то есть индекс n в обозначении множества С показывает конкретную строку во фрейме, то есть $C_1 = \{a_{1,1}; b_{1,2}\}$; $C_2 = \{a_{2,1}; b_{2,2}\}$; $C_3 = \{a_{3,1}; b_{3,2}\}$, то есть справедливо следующее выражение (4)

$$C_n = \{a_{n,1}; b_{n,2}\} \quad (4)$$

где n – номер строки фрейма

Данное выражение показывает, что первый элемент множества $a_{n,1}$ является исходным объектом, а элемент $b_{n,2}$ является поисковым объектом. То есть мат. аппарат методики выполняет поиск элемента $a_{n,1}$ и, находя его в определенной строке фрейма, сопоставляет со столбиком коэффициента K_m в этой же строке фрейма и выдает результат нужного коэффициента K_m .

Заключение

В результате проделанной работы была формализована и сформирована новая методика оценки технологичности конструкции машиностроения на основе 3D модели изделия. Данная методика является экспертной системой оценки и выдает результат технологу подготовки производства в виде технологических рекомендаций. Данные технологические рекомендации выполнены в виде анализа количественной и качественной оценки ТКИ в автоматизированном режиме. Данная методика позволит существенно сократить цикл подготовки и отработки нового изделия на запуск. Также с помощью данной методики больше не требуется привлекать специалиста с большим опытом оценки качественной ТКИ. Вся необходимая информация с атласов, нормативных документов, стандартов предприятий, ГОСТов будет формализована в базу данных оценки качественной ТКИ и выдавать технологу информацию о технологичности либо не технологичности данного конструктивного элемента конструкции изделия. Было продемонстрировано математическое представление поиска нужного параметра в базы данных методики на основе теории множеств. Следует спроектировать математический аппарат расчета всей экспертной системы на следующем этапе исследования.

Список литературы

1. *Амиров Ю.Д.* Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др.; под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – 2-е изд.; перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

2. *Подрез Н.В., Говорков А.С.* Проблема и решение формализованного анализа технологичности конструкции изделий машиностроения // Наука. Технологии. Инновации. 2020. – С. 420–428.
3. *Говорков А.С.* Методика количественной оценки технологичности конструкции изделий авиационной техники // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 1. – С. 31–37.
4. *Fokin I.V., Podrez N.V., Smirnov A.N., Govorkov A.S.* Recognition of structural elements of mechanical engineering as a solution to data formalization problem// International conference on mechanical engineering, automation and control systems 2020, MEACS 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012047.
5. *Podrez N.V., Labuz Y.A., Govorkov A.S.* Development of a formalized system for analyzing the technological design of products in mechanical engineering// 2020 international conference on information technology in business and industry, ITBI 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012107.
6. *Sokolnikov R.A., Bozheeva T.V., Govorkov A.S.* Development of methodology for formalized selection of technological operations when designing technological process manufacturing of machinery // International conference on high-tech and innovations in research and manufacturing, HIRM 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1582/1/012080.
7. *Гурьев И.А., Бочкарев С.В.* Показатели технологичности конструкций при проектировании и постановке на производство новых изделий // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 6 (54). – С. 62–68.

ANALYSIS OF MANUFACTURABILITY OF THE DESIGN OF ENGINEERING PRODUCTS AS AN EXPERT SYSTEM

Podrez N.V.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. This article discusses the development of a new method for assessing the manufacturability of the design of a mechanical engineering product based on a digital model of the product. In the course of the study of this issue, an analysis of the evaluation of TCI in modern production was carried out, the problem of evaluation was identified, and the concept of the methodology was proposed. As a result, the

information for assessing the qualitative and quantitative assessment of TCI was formalized, the concept of an expert system was developed, and the concept of outputting the results in the form of "Technological recommendations" to the technologist for preparing production when launching a new product was shown.

Keywords: manufacturability of product design, database, knowledge base, expert system, quantitative assessment of MPD, qualitative assessment of MPD, set theory

INDUSTRIAL TECHNIQUES OF CORROSION PREVENTION IN ALUMINUM ALLOYS

*Averyanov Andrey Sergeevich, Ph.D. Student,
Ghorbani Siamak, Associate Professor, Ph.D.,
Reza Kashyzadeh Kazem*, Ph.D., Professor,
RUDN University, Moscow, Russia
reza-kashi-zade-ka@rudn.ru

Abstract. The primary purpose of this research is to determine the acceptable way of corrosion control of aluminum and its alloys. To this end, the authors have attempted to make a critical review on the techniques of corrosion control in different industries. The mechanism of aluminum corrosion was also described. Moreover, the effect of different corrosive environments on aluminum alloys was also studied and finally the appearance signs related to the defects of this destructive phenomenon were reported. This report can be useful for students of material and mechanical engineering, as well as industrialists in various fields.

Keywords: Aluminum alloys; Corrosion; Corrosion resistance; Prevention techniques; Practical solution

Introduction

Corrosion is a phenomenon of metal destruction under chemical, electrochemical, or physicochemical influence of the environment. The main cause of this phenomenon is the thermodynamic instability of metals against the materials they are in contact with. In principle, the standard electrode potential of aluminum is less than that of most alloys used in industry. Therefore, an oxide protective film is formed on the surface of aluminum (or aluminum-based alloys) samples in air at room temperature within 0.0001 seconds. The corrosion resistance of aluminum alloys is often determined by the mass loss of a sample interacting with an aggressive medium. However, this only makes sense when the aluminum is dissolved in the medium and reacted with it. Figure 1 shows the surface of a sample of aluminum alloy 6061, which was interacted with an aggressive medium for 12 hours [1].

Direct control methods allow the observation of corrosion on slits cut from the examined samples or products and quantitative measurements of the damage degree by optical devices with high resolution.

These include methods of microsurveys, among which the metallographic method is the most widely used in construction and mechanical engineering. In brief, this method is based on determining the type of corrosion, the form of corrosion damage, the distribution of corrosion damage in metals, alloys, and protective metal coatings by comparison with the corresponding typical forms, as well as measuring the depth of corrosion damage on a metallographic slate [2].



Fig. 1. Damaged surface of aluminum 6061 by corrosive environment [1]

Indirect methods of control are based on the correlation between the degree of intercrystallite metal samples damage and one of their physical parameters measured in the process of control. They include: the sounding height method; method of determining mechanical properties; weight method; electrical resistance method; method of resonant vibrations; ultrasonic method; electromagnetic method; capillary method; radiography method, and others. These methods are described in detail in [3]. Insufficient attention to the risk of corrosion can be very dangerous. Especially road construction machines that are actively used in dusty, humid, and high-elevation conditions, etc., are subject to severe corrosion damage. For example, the power of an internal combustion engine, the inner surface of the cylinders of which is affected by corrosion, is reduced by 20-25%, and oil consumption increases by 50-80% [4]. In this regard, in the production phase, it is necessary to be able to detect the likelihood of this destructive factor and prevent it or reduce the scale

of the consequences. This article gives a brief overview of corrosion prevention methods in aluminum alloys.

Classification of aluminum alloys

Aluminum alloys are alloys which have mass fraction is aluminum as the main. As a rule, the alloying elements in them are Mg, Mn, Zn, Cu, and Si; also less common are Ti, Zr, Be, and Li. Aluminum alloys are classified and identified along various lines:

- by categories (depending on the method of processing) – wrought (structural) and cast;
- by classes – hardenable by tungsten (cold plastic deformation) or heat treatment;
- by chemical composition – by quantity and content of alloying elements and impurities;
- by alloying systems – by combinations of major and minor alloying elements;
- by series – by the main alloying elements (Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Sn, and Fe, etc.).

Wrought alloys are used for die machining more often in the hot state. This can be such types of metal processing as rolling, stamping, pressing, forging, and drawing [5]. The international system of notation of wrought alloys took as a basis the American system, was developed in the middle of the 20th century. According to it, each alloy has its own number consisting of four digits. In this regard, the classification is given in Table 1.

Table 1

Classification of wrought aluminum alloys

| Series | Main alloying element | Heat treatment hardening | $\sigma_{0.2}, \sigma_{UTS}$ (MPa) |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 1xxx | - | - | 70, 175 |
| 2xxx | Cu | + | 170, 250 |
| 3xxx | Mn | - | 140, 280 |
| 4xxx | Si | depends on alloys | 140, 340 |
| 5xxx | Mg | - | 140, 380 |
| 6xxx | Mg+Si | + | 150, 380 |
| 7xxx | Zn | + | 180, 620 |

| | | | |
|------|----------------|-------------------|----------|
| 8xxx | another | depends on alloys | 280, 560 |
| 9xxx | reserve series | | |

Different mechanisms of corrosion phenomenon are demonstrated in Figure 2. Depending on the material structure, corrosion can develop along grain boundaries (Intergranular Corrosion: IGC, Figure 2 and item No. 7) or on heavily deformed areas. Examples of IGC are well described in Ref No. 6 and 7. Pitting corrosion (Figure 2 and item No. 6) only occurs in the presence of electrolyte (water or moisture). Aluminum is prone to pitting in environments with a pH value of around 8. This includes almost all natural environments such as fresh water, seawater, and moist air. Also, the pitting pattern in aluminum alloys is depicted in simplified form in Figure 3.

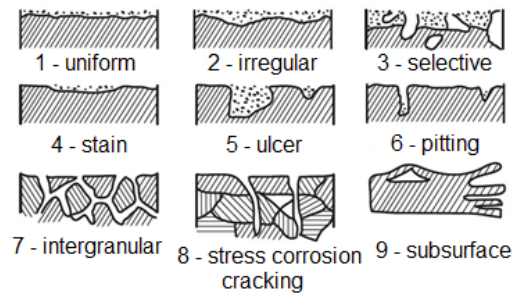


Fig. 2. Schematic of corrosion mechanisms in aluminum alloys [5]

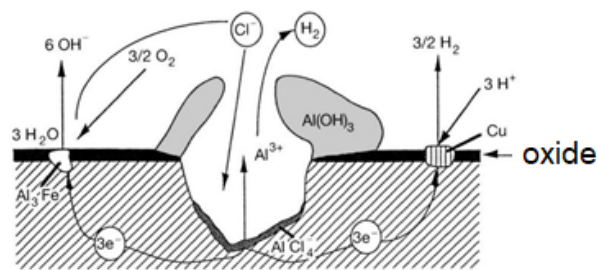


Fig. 3. Pitting pattern in aluminum alloys [6]

It is a fact that different aluminum alloys have different resistance to general corrosion. The most common aluminum alloys, 6060 and 6063, containing no more than 0.1% copper, are highly resistant to general corrosion and can be used without protective coatings in most operating conditions. In addition, aluminum alloys containing >0.5% copper show significantly less corrosion resistance. Therefore, they should not be used without protective coatings in environments with a high chloride content (e.g., near roads where salt is used or near sea-coasts) [7]. Powder-coated window and door elements made of alloys 6060 and 6063 can suffer thread corrosion. In order to prevent this type of corrosion, the copper content of the aluminum alloy should not exceed 0.1% [8]. It is found that chemical stripping of the aluminum surface layer in an amount of at least 2 g/m² before chromate surface preparation gives the painted aluminum a high resistance to thread corrosion. Figure 4 illustrates an industrial example for thread corrosion of painted aluminum alloy.



Fig. 4. Thread corrosion of painted aluminum [9]

Stress corrosion cracking is a rare type of corrosion. It occurs mainly in high-strength alloys such as 2000 (AlCu), 7000 (AlZn), and 5000 (AlMg) series when the magnesium content is greater than 4%. This occurs when the metal is subjected to prolonged tensile stresses in the presence of a corrosive environment [10]. Intergranular corrosion affects the grain boundaries of the metal, but not the grains themselves. The 6000 series alloys (e.g., 6060 and 6063) are resistant to intergranular corrosion. The formation of a recrystallized structure (with large grain size) in the profiles and the high silicon and copper content can contribute to this type of corrosion. Manganese and chromium are added to aluminum

alloys to prevent or minimize recrystallization. IGC is particularly characteristic of the 7000 series alloys. Here, it is associated with MgZn precipitates, which are very anodic compared to aluminum and therefore subject to corrosion [7,11]. Figure 5 presents IGC in Al-Mg-Si alloy.

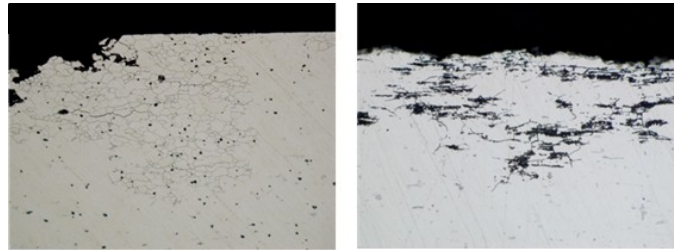


Fig. 5. Intergranular corrosion in Al-Mg-Si alloy [7]

Subsurface corrosion is a type of corrosion that extends under the surface of the metal along one or more planes (see Figure 6). This type of corrosion occurs mainly in rolled products made of high-strength alloys of the 2000, 5000, and 7000 series.

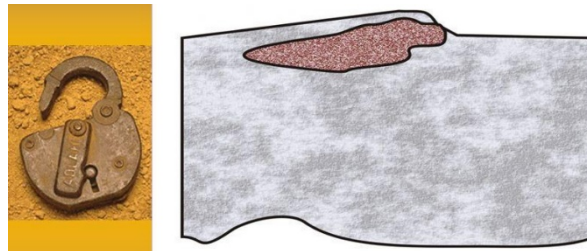


Fig. 6. Subsurface corrosion

Cast alloys are used to make aluminum castings using technological methods such as sand casting, and die casting, etc. Cast alloys have a much higher alloying element content (e.g., silicon up to 17%). A three-digit notation system is used for cast alloys, followed by a "decimal fraction". The decimal .0 in all cases refers to the limits of cast alloys. Moreover, decimals .1 and .2 refer to the chemical composition of the finished ingots [12]. In this regard, Table 2 presents classification of cast aluminum alloys.

Heat-strengthened alloys include cast alloys of the 2xx, 3xx and 7xx series. Alloys of 5000 series (AlMg) with magnesium content over 2.5% and, to a lesser extent, alloys of 6000 are used for the manufacture of welded (riveted) hulls of sea and river transport vessels, especially rolled and pressed semi-finished products operating at temperatures up to 150°C [13].

Table 2

Classification of cast aluminum alloys

| Series | Main alloying element |
|--------|-----------------------|
| 1xx.x | - |
| 2xx.x | Cu |
| 3xx.x | Si/Cu+Mg |
| 4xx.x | Si |
| 5xx.x | Mg |
| 6xx.x | reserve series |
| 7xx.x | Zn |
| 8xx.x | Sn |
| 9xx.x | reserve series |

Effects of various aggressive environments on aluminum alloys

Corrosion of metals in water depends on the chemical composition of the water. The corrosion resistance of aluminum in water is most affected by the presence of chlorides and heavy metals in the water. In natural fresh water and drinking water, aluminum may be subject to pitting. However, with regular drying and cleaning, the risk of corrosion damage under these conditions is minimal. Aluminum alloys with a high copper content (known as "duralyes") are not normally used for conditions in water. When these alloys are unavoidable under such conditions, they must be provided with reliable corrosion protection, such as solid coloring. However, low or high pH values (less than 4 and greater than 9) cause dissolution of the oxide film and rapid corrosion of the aluminum.

Influence of halogens as an aggressive environment on aluminum behavior

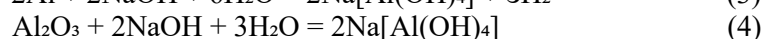
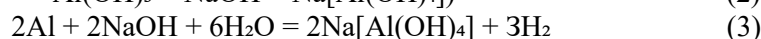
Aluminum reacts well with simple substances. For example, with halogens (except fluorine), aluminum can form iodide, chloride, or aluminum bromide [6]:



With other nonmetals, such as fluorine, sulfur, nitrogen, and carbon, etc., aluminum can only react when heated.

Interaction of aluminum with alkalis

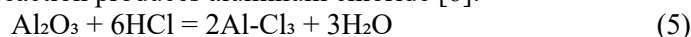
Aluminum reacts with alkalis to form aluminates (complex compounds extensively used in the paper and textile industries). Both hydroxide and aluminum oxide react [6]:



Aluminum reacts calmly with aggressive acids, without ignition [14].

Effect of hydrochloric acid as an aggressive medium on aluminum behavior

If the aluminum sample is placed in hydrochloric acid, a slow reaction will begin – firstly the oxide film will dissolve, but then it will accelerate. Aluminum dissolves in hydrochloric acid and releasing hydrogen. The reaction produces aluminum chloride [6]:



Prevention methods

In this section, several methods of improving the anti-corrosion properties of aluminum alloys, which have scientific evidence, were discussed.

Anodizing electrolyte for aluminum and its alloys

Sulfuric acid is known as aluminum anodizing electrolyte (containing 300-380 g/l sulfuric acid). However, to obtain quality films in this electrolyte it is necessary to cool it (to -5 °C) and maintain high voltage (up to 65 V) [15, 16]. Two organic additives, namely 10-methyl-9-(p-aminophenyl)-acridinium iodide (or chloride) and N,N1-bis(o-bromobenzoyl)-phenylsulfonamide, are introduced into the sulfuric acid electrolyte of anodizing at the following component ratios: 180-240 g/L sulfuric acid, 10-methyl-9-(p-aminophenyl)-acridinium iodide(chloride), 0.5-1.5, and N,N1-bis(o-bromobenzoyl)-phenylsulfonamide, 0.3-1.0.

During anodizing, additives are adsorbed by the growing anodic oxide layer and inhibit the corrosion cracking of the film and metal both during anodizing and during operation of the anodized parts. The increase of the protective effect is especially noticeable in the presence of chloride ions in the corrosive environment. A decrease in the concentration of additives in the electrolyte leads to weakening of the protective effect of oxide coatings. Moreover, the upper concentration limit is due to the solubility of additives [17]. Tests carried out on samples of alloy 5006 showed that in all cases oxide layers obtained in the proposed electrolyte had a higher protective effect than when anodizing in standard electrolyte [18]. In addition, the drip proof time increased significantly and the protective effect of the oxide film on samples tested in the salt fog chamber increased.

Composition for protection of aluminum alloys against atmospheric corrosion

A Russian patent has been described a specific composition of the substance applied to samples of aluminum alloys for protection against corrosive effects [19]. The composition contains aliphatic sarcosic acid salt, trialkoxysilane, and alkylphosphate based on the following ratio, wt. %: aliphatic sarcosic acid salt 4.0 - 6.0, trialkoxysilane 2.0 - 4.0, alkylphosphate 1.0 - 3.0, and the rest is water.

Corrosion inhibition of aluminum alloys by low-soluble vanadates

The method of using bismuth orthovanadate (less than 0.01 mol/L) in the composition of AD 0 and AMC alloys is very common [20], which provides resistance to pitting and atmospheric corrosion. Moreover, BiVO₄ can also be used as a pigment for paintwork materials [21].

Conclusion

In this paper, several practical and well-known ways to improve the corrosion resistance properties of aluminum alloys was studied. There are many more methods. However, from scientific viewpoint, only those that have proven themselves in industry, and/or have received national/international scientific recognition (i.e., issued patents, and developed methods, etc.) were the focus of this critical report. Among the proposed techniques, the BiVO₄ compound is the simplest method to

prevent corrosion in aluminum alloys. This statement is based on economic and availability considerations. In particular, it can be purchased in the form of paint or varnish.

References

1. Katz N., Lesukhin S.P. Behavior of an aluminum alloy in an aggressive environment. *Machinery and Equipment of Oil and Gas Production* 2019; 1(11), 346–347.
2. Chaugarova L.Z. Metallographic method for assessing corrosion damage. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Researchers D.I. Mendeleev, dedicated to the 10th anniversary of the Institute of Industrial Technologies and Engineering, Tyumen, October 22–26, 2019. Ed. Khalin, A.N. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2019; 3, 157–159.
3. Kozar N.K. Method of free oscillations for detection of intergranular corrosion of metals: monograph. – Moscow: Rusajns, 2016; 204.
4. Mukhametshina R.M. Failures of road-building machines according to corrosion parameters. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering 2013; 4(26), 403–408.
5. Laptev A.B., Kravtsov V.V. Corrosion of aluminum alloys: a tutorial. Moscow: All-Russian Research Institute of Aviation Materials 2021; 320.
6. Vargel C. Corrosion of Aluminium. Paris: Elsevier. 2004; 648.
7. Kononenko Ya.I., Gnedenkov A.S., Sinebryukhov S.L., Filonina V.S., Vyalii I.E., Gnedenkov S.V. Composite triazole-containing PEO-coatings for effective corrosion protection of AlMg₃ aluminium alloy. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics 2022; 15(3.1). 173–178.
8. Sinyavsky V.S., Valkov V.D., Kalinin V.D. Corrosion and protection of aluminum alloys. 3rd ed. Moscow: Metallurgy 2016; 368.
9. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airmen Testing Standards Branch, AFS-630, P.O. Box 25082, Oklahoma City, OK 73125. Aviation Maintenance Technician Handbook–General. 2008; p. 476.
10. Design Manual. Success with Aluminium Profiles, SAPA, 2014.
11. EN 2019-1-1 – Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-1: General structural rules – Annex D.

12. *Davis J.R.* Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International, 2001. 351–416.
13. *Beletsky V.M., Krivov G.A.* Aluminum alloys (composition, properties, technology, application). Reference book: Under the general editorship of Academician of the Russian Academy of Sciences Fridlyander, I.N. – K.: "KOMINTECH" 2015; 365.
14. *Kazimov A.M., Mirzoeva R.R., Negreev V.F.* RF patent No. 163695, IPC C23F 11/06. Method for protecting aluminum alloys from corrosion: No. 829773/23-4: Appl. 04/08/2013: publ. 07/22/2014.
15. *Kadaner L.I.* Handbook of electroplating. Kyiv, Technique, 2013; 193.
16. RF patent No. 466298, class. C 25 D 11/06, 2019.
17. *Kravtsov E.E., Prikhodko S.A., Soldatova L.B., Ambartsu-mov Yu.N., Kaliev S.G., Kondratenko T.S., Koval I.V.* Anodizing electrolyte for aluminum and its alloys - Patent for invention RU2287027C1, 11/10/2016. Application No. 2005103440/02 dated February 10, 2015.
18. GOST 9.031-74. Interstate standard. Unified system of protection against corrosion and aging. Anode-oxide coatings of semi-finished products from aluminum and its alloys. General requirements and control methods.
19. *Kuznetsov Yu.I., Semiletov A.M.* Composition for protecting steel and aluminum alloys from atmospheric corrosion – Patent for invention 2780327 C1, 09/21/2022. Application No. 2022115319 dated 06/07/2022.
20. *Varlamova A.S., Kharitonov D.S., Ivanova N.P., Kurilo I.I.* Corrosion inhibition of aluminum alloys by sparingly soluble vanadates. Scientific aspirations - 2015: collection of materials of the VI International Scientific and Practical Youth Conference, Minsk, March 25–27, 2015 / Center for Youth Innovations, LLC Laboratory of Intelligence. Minsk: Encyclopedics, 2015; 2, 127–130.
21. *Hurley B.L., Ralston K.D., Buchheit R.G.* Corrosion Inhibition of Zinc by Aqueous Vanadate Species. Journal of The Electrochemical Society 2014; 161(10), 471–475.

EFFECTIVE PARAMETERS OF SHOT PEENING TREATMENT ON IMPROVING THE DURABILITY OF INDUSTRIAL PRODUCTS MADE OF METALLIC MATERIALS

*Polunin Valery Viktorovich, Ph.D. Student,
Ghorbani Siamak, Associate professor, Ph.D.,
Reza Kashyzadeh Kazem*, Professor, Ph.D.
RUDN University, Moscow, Russia
reza-kashi-zade-ka@rudn.ru

Abstract. This article discusses the destructive phenomenon of fatigue in metals and its factors, such as surface roughness and cracks. The article highlights the importance of inducing Compressive Residual Stress (CRS) on the surface to prevent or delay fatigue failure. The most used technique for creating CRS is Shot Peening (SP) treatment involving throwing spherical balls on the surface of the material to induce plastic deformation. The article explains the process parameters of SP treatment and their influence on the resulting residual stress layer. Furthermore, the article presents SP impact on the mechanical, material, metallurgical, and fatigue properties of low-alloy steel.

Keywords: Shot peening treatment, Plastic deformation, Compressive residual stresses, Grain size, Fatigue

Introduction

Fatigue phenomenon means that material fails earlier than expected due to repeated loading and unloading cycles. Several factors can contribute to fatigue, including surface roughness, cracks, stress concentration, and other destructive phenomena like corrosion. Surface irregularities, i.e., roughness, can act as a stress concentrator and significantly reduce the fatigue life of a component [1]. However, there are various methods to control surface roughness such as optimization of manufacturing process parameters [2]. Also, there are various treatments that can help prevent or delay fatigue failure. In this regard, one of the well-known techniques is to induce surface CRS through SP treatment [3]. Although, this treatment leads to arise surface roughness (recently, some scientists have attempted to overcome this problem by removing a thin layer from the top surface of the component [4]). On the other hand, CRS

is a type of stress that opposes the tensile stresses generated during cyclic loading, thus reducing the likelihood of crack initiation and propagation [5]. In addition to the above-mentioned factors, which can affect fatigue life, we can mention material properties, loading conditions, and environment. To create compressive residual stress, there are several techniques available, such as shot peening, rolling, laser shock peening, and ultrasonic impact treatment. In real, some of these techniques are presented to overcome the harmful effect of SP on the surface, i.e., roughness. Nevertheless, SP is the most popular technique for various reasons. Firstly, it can be applied to a wide range of materials, including metals, ceramics, and polymers. Secondly, it is a relatively simple and fast process, allowing for large-scale production. Thirdly, it can improve not only the fatigue life but also the corrosion resistance and wear resistance of the material. And most importantly, the low price of its implementation. Therefore, in addition to a brief introduction of SP treatment, the authors have attempted to discuss the effective parameters of this process on improving the mechanical and material properties of metals. Finally, based on the literature review and relative knowledge of the process, the future research direction is described.

Shot peening treatment

SP is a process of imparting a CRS layer on a metal surface by bombarding it with small spherical particles, called shots (see Figure 1). The SP process parameters include coverage and intensity, which are controlled by various variables such as shot diameter, shot velocity, and pressure etc.

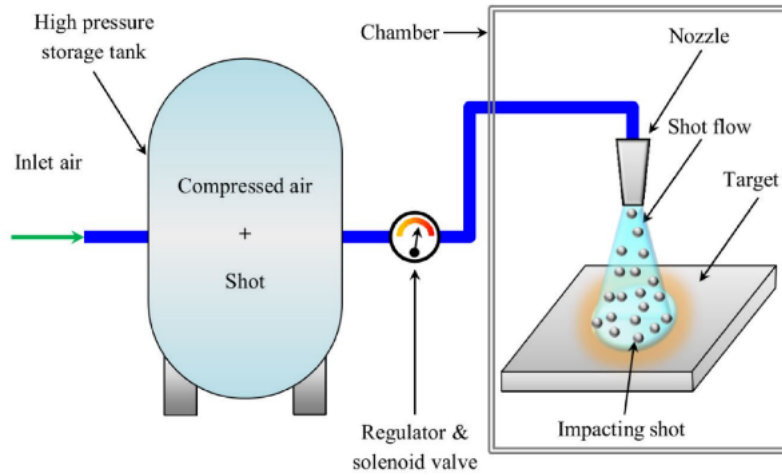


Fig. 1. Schematic illustration of air blast SP equipment [6]

In this regard, coverage refers to the percentage of the surface area that is impacted by the shots (e.g., 200% coverage means that the surface is shotted twice). This parameter is directly related to the distance between the shots, the angle of incidence, and the shot size. Moreover, intensity refers to the energy imparted by the shots to the surface, which determines the depth and magnitude of the residual stress layer. Intensity is influenced by various factors, including shot diameter, shot velocity, pressure, and shot material. The relationship between different variables and process parameters (i.e., coverage and intensity) is complex. However, the following are some general trends:

- *Shot diameter*: Increasing the shot diameter increases the coverage but decreases the intensity. This is because larger shots have more mass and momentum, resulting in a wider coverage area but lower intensity.
- *Shot velocity*: Increasing the shot velocity increases both the coverage and intensity. This is because higher velocity shots have more kinetic energy, resulting in a larger coverage area and greater intensity.
- *Pressure*: Increasing the pressure increases both the coverage and intensity. Higher pressure results in a greater force being applied to the surface, resulting in a larger coverage area and higher intensity.

– *Shot material*: The material of the shot also affects the coverage and intensity. Harder shots, such as steel, result in higher intensity but lower coverage, while softer shots, such as glass beads, result in higher coverage but lower intensity.

In summary, SP treatment and the relationship between its parameters are very complex, and many scientists have tried to optimize the SP process parameters considering different conditions [7, 8]. It should be noted that the optimal process parameters depend on the application and the desired outcome, such as fatigue properties.

Influence of SP treatment on the material characteristics of metallic materials

The results obtained in different studies show that SP process leads to enhance corrosion resistance [9, 10]. But some recent research indicate that this effect may not be significant and the test results on a specific material and under specific conditions cannot be generalized to other cases. Lee et al. have stated that shot-peened specimens exhibited the lowest corrosion resistance compared to other specimens studied, while ultrasonically peened specimens showed equal or better corrosion resistance [11]. These differences were mainly attributed to the surface roughness produced by each peening treatment. On the other hand, SP can improve the efficiency of treated layers through induced CRS fields and modified microstructures, which enhance corrosion properties (i.e., corrosion resistance and rate) and microhardness. Moreover, Xu et al. have reported that by using steel shots, the surface roughness increases with Almen intensity [12]. Nevertheless, ceramic shots produced a significantly lower roughness value than steel shots, despite having the same intensity and coverage (100%). Increasing the coverage from 100 to 200% with ceramic shots resulted in an improvement in the roughness parameter, but roughness alone is not a reliable indicator of surface flaws such as folds and minor fractures that may be present in shot peening treatment [13].

Influence of SP treatment on the metallurgical features of metallic materials

The alteration of microstructures of peened specimens during the SP process is influenced by various parameters such as shot intensity, air pressure, and exposure time. To increase the exposure time, treating the

surface with multiple passes is a viable method. Figure 2 demonstrates the impact of single and double shot peening on microstructures. The untreated specimen shows uniform grain size across the cross-section (Figure 2.a). However, after both single and double shot peening treatments, the grain size near the surface and at the surface becomes slightly finer, as indicated in Figure 2.b and Figure 2.c, respectively, within a depth range of 180 μm . In addition, the depth of the grain refinement zone is almost the same for both single and double SP processes. This refinement of the grain near the surface increases the material's surface hardness, which, in turn, enhances the fatigue resistance of the material [14]. The shot intensity also influences the microstructures of metallic surfaces. Lower peening intensity results in a smoother surface, leading to less surface roughness, which is crucial in the fatigue cycle of components [15].

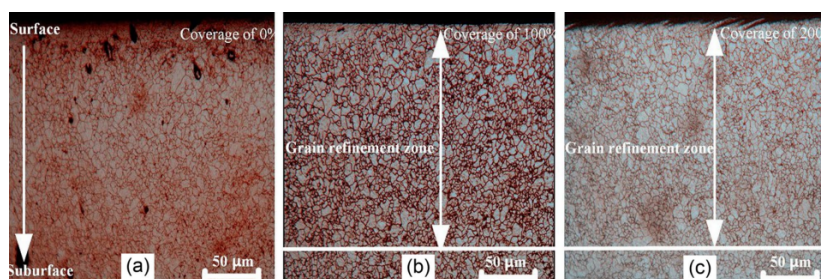


Fig. 2. Comparison of grain size for carburized 18CrNiMo specimens subjected to different SP treatment, including a) no treatment, b) single treatment (100% coverage), and c) double treatment (200% coverage) [14]

Maleki et al. have investigated the impact of SP process parameters on the surface grain size of carbon steels [16]. They considered three groups of steels, including AISI 1045, 1050, and 1060 under different SP treatment like Conventional Shot Peening (CSP) and Severe Shot Peening (SSP). Finally, they showed their achievements by using ANN technique based on the laboratory results as a contour in Figure 3. In addition to surface properties, they also paid special attention to grain size in depth. From Figure 3(a), considering the Almen intensity more than 18, the nano structure is created on the surface. In addition, all the

cases investigated in this article showed that the nanostructure will continue up to a depth of 50 microns, and in some cases this depth has been reported up to 200 microns.

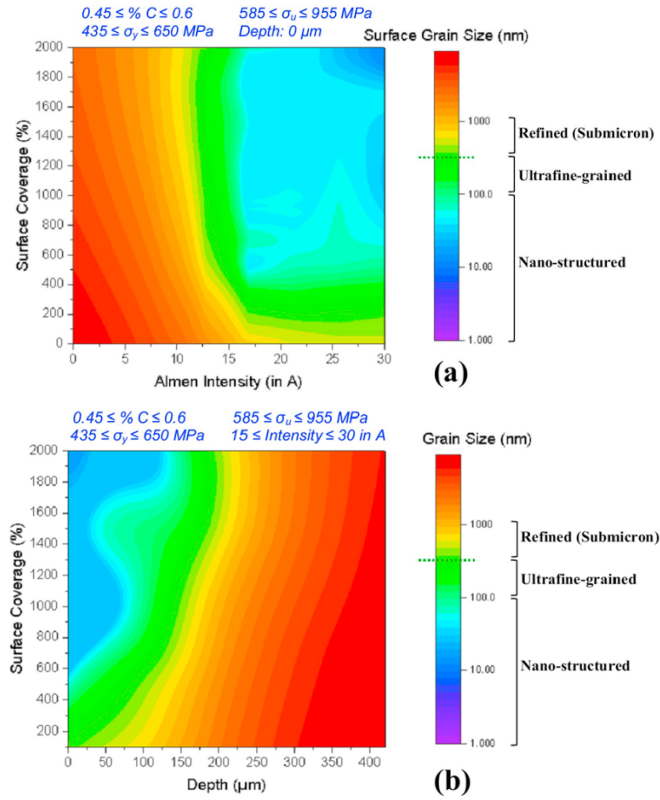


Fig. 3. Influence of SP process parameters on grain size in various carbon steels: a) surface grain size and b) depth grain size [16]

Influence of SP treatment on the mechanical properties of metallic materials

As the SP treatment affects the material and metallurgical properties of metals (sections 3 & 4), it is expected to directly affect the mechanical properties. On the other hand, one of the advantages of this treatment is creating CRS on the surface and subsurface of the metal parts.

Therefore, comparing the tensile test results with the samples without shot peening treatment, it is expected that more force is needed to break the specimen, in addition to overcoming the compressive stress in the part, it can bring it to the stage of yielding and ultimately failure. Lu et al. have studied this issue [17]. They reported that this type of treatment has little effect on the behavior of metallic materials in the elastic region (i.e., linear relationship between stress and strain) and ultimately the elastic modulus, which can be ignored. However, the laboratory results showed that the yield stress increases slightly. But static strength (i.e., ultimate tensile strength: UTS) and plastic deformation (i.e., displacement to failure) are significantly improved.

Influence of SP treatment on the fatigue behavior of metallic materials

A lot of research has been done in the field of shot peening with the aim of increasing the service life of mechanical parts exposed to cyclic loads, in other words, improving fatigue properties [18-21]. In this regard, the report of some researchers indicates that the fatigue strength of metal materials has increased several times. Although this value depends on many factors, however, up to 8 times improvement in fatigue endurance limit has been observed. Some researchers have claimed that always by increasing Almen intensity and coverage in SP treatment, despite the increase of CRS on the surface and fine nano-scale grain size, the fatigue life does not increase linearly or continuously. In other words, micro/nano cracks may be formed on subsurface, which leads to a reduction in the fatigue life of the part compared to the previous state [3]. They called this process as Over Shot Peening (OSP) treatment. Figure 4 presents stress-life (S-N) diagrams related to parts made of CK50 and subjected to CSP, SSP, and OSP treatments. In this figure, the black data represents results of fatigue tests for non-treated specimens. The blue data represents the fatigue test results on shot peened samples with 100% coverage (i.e., CSP). Other colors correspond to the severe shot peened samples, and the difference is in Almen intensity or coverage. However, it is clearly evident that the fatigue properties of severe shot peened specimens are far better than those of conventionally shot peened and even non-treated specimens. In addition, data for over shot peened samples are illustrated in orange color. As can be seen in this figure, the fatigue properties of over shot peened samples are much weaker than the fatigue

properties of severe shot peened samples. Also, its fatigue properties are close to the fatigue properties of conventional shot peened samples. The main reason for this issue is the creation of micro/nano cracks in the sub-surface, which does not need to germinate and create an initial crack under cyclic loading, but only the crack growth stage is required for failure.

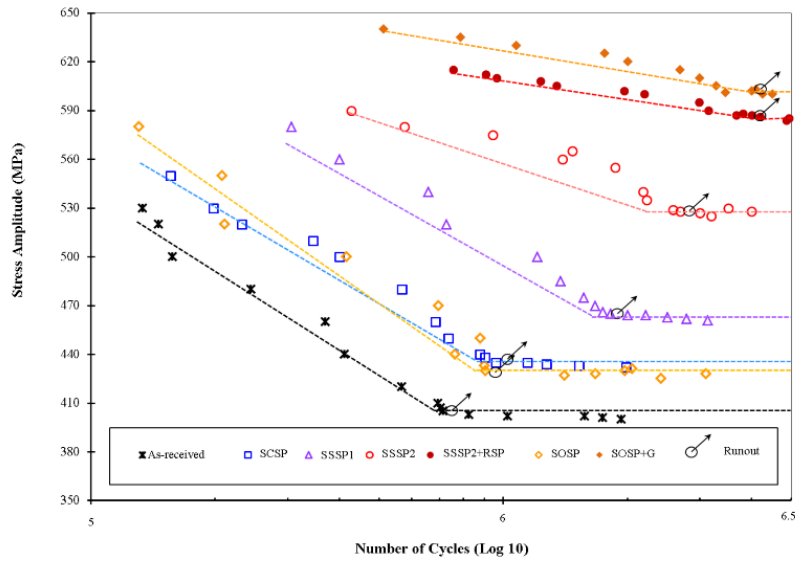


Fig. 4. S-N curves as fatigue properties of shot peened CK50 specimens [3]

In addition to fatigue tests, crack growth rate in notched and non-notched samples has also been investigated under the influence of different types of shot peening treatments [22]. In addition to academic research, the effect of this treatment on industrial parts has also attracted the attention of scientists [23]. Ma et al. have reported that the residual stress caused by shot peening in the root of the gear tooth made of martensitic 20Cr2Ni4 can significantly increase the fatigue strength of the component [24]. In studies for other steels, particularly for AISI 4340 low alloy steel [25-26], it is claimed that SP treatment can significantly, about double, improve the fatigue characteristics. Recently, scholars announced that additional surface treatments to decrease the surface roughness of the shot peened samples like reshot peening or removing the

surface layer including the primary crack on the nano scale, such as abrasive grinding and electropolishing are also recommended [21].

Conclusion

Shot peening is one of the well-known cold working, which in addition to creating compressive residual stress on the surface, also leads to refine the grain size. As a result, this treatment leads to the improvement of the material, metallurgical, mechanical, and fatigue properties of metallic materials. SP process also increases surface roughness. However, the effects of surface roughness compared to compressive residual stress and surface nanostructure on fatigue life are far less. Therefore, despite the negative effect of surface roughness, shot peening results in improved fatigue properties. On the other, the researchers showed that in the first cycles of fatigue loading, the compressive residual stress is released and this delay in fatigue failure is mostly due to the change of structure and transformation of grain size from micron to nano scale on the surface and subsurface. Hence, in order to further improve the fatigue properties, the importance of the nanostructure is greater than the compressive residual stress. Accordingly, the authors are trying to focus their future research plan on combining different treatments and shot peening with the aim of making the grain size of the surface smaller than ago and then improving the fatigue strength. Also, they plan to consider shot parameters, including material, hardness, size, etc. in their research.

References

1. *Allenov D.G., Borisovna K.D. Ghorbani S., Kashyzadeh K.R.* Simultaneous effects of cutting depth and tool overhang on the vibration behavior of cutting tool and high-cycle fatigue behavior of product: experimental research on the turning machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2022; 122, 2361–2378.
2. *Kashyzadeh K.R., Ghorbani S.* New neural network-based algorithm for predicting fatigue life of aluminum alloys in terms of machining parameters. *Engineering Failure Analysis* 2023; 146, 107128.
3. *Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R.* Effects of conventional, severe, over, and re-shot peening processes on the fatigue behavior of mild carbon steel. *Surface and Coatings Technology* 2018; 344, 62–74.
4. *Ruiz P.L., Blanco M.B.G., Vara G., Pariente I.F., Guagliano M., Bagherifard S.* Obtaining tailored surface characteristics by combining

shot peening and electropolishing on 316L stainless steel. *Applied Surface Science* 2019; 492, 1–7.

5. Maleki E., Farrahi G.H., Kashyzadeh K.R., Unal O., Guagliano M., Bagherifard S. Effects of conventional and severe shot peening on residual stress and fatigue strength of steel AISI 1060 and residual stress relaxation due to fatigue loading: experimental and numerical simulation. *Metals and Materials International* 2021; 27, 2575–2591.

6. Maleki E., Bagherifard S., Unal O., Bandini M., Farrahi G.H., Guagliano M. Introducing gradient severe shot peening as a novel mechanical surface treatment. *Scientific Reports* 2021; 11, 22035.

7. Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R. Efficiency analysis of shot peening parameters on variations of hardness, grain size and residual stress via taguchi approach. *Metals and Materials International* 2019; 25, 1436–1447.

8. Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R. Influences of shot peening parameters on mechanical properties and fatigue behavior of 316 L Steel: experimental, Taguchi method and response surface methodology. *Metals and Materials International* 2021; 27, 4418–4440.

9. Kovacı H., Bozkurt Y.B., Yetim A.F., Aslan M., Çelik A. The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel. *Surface and Coatings Technology* 2019; 360, 78–86.

10. Azar V., Hashemi B., Yazdi M.R. The effect of shot peening on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution. *Surface and Coatings Technology* 2010; 204(21–22), 3546–3551.

11. Lee H., Kim D., Jung J., Pyoun Y., Shin K. Influence of peening on the corrosion properties of AISI 304 stainless steel. *Corrosion Science* 2009; 51(12), 2826–2830.

12. Xu L.D., Sun X.Y., Wan P., Sun X.D., Wang Z.Q. Surface treatment of interfacial properties of shape memory alloy composites. *Materials Research Innovations* 2015; 19, S5–734–S5–738.

13. Thielen S., Breuninger P., Hotz H., Burkhart C., Schollmayer T., Sauer B., Antonyuk S., Kirsch B., Aurich J.C. Improving the tribological properties of radial shaft seal counter surfaces using experimental micro peening and classical shot peening processes. *Tribology International* 2021; 155, 106764.

14. Wu J., Liu H., Wei P., Zhu C., Lin Q. Effect of shot peening coverage on hardness, residual stress and surface morphology of carburized rollers. *Surface and Coatings Technology* 2020; 384, 125273.

15. *Qutaba S., Asmelash M., Saptaji K., Azhari A.* A review on peening processes and its effect on surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2022; 120, 4233–4270.
16. *Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R.* Surface layer nanocrystallization of carbon steels subjected to severe shot peening: Analysis and optimization. *Materials Characterization* 2019; 157, 109877.
17. *Lu J.Z., Duan H.F., Luo K.Y., Wu L.J., Deng W.W., Cai J.* Tensile properties and surface nanocrystallization analyses of H62 brass subjected to room-temperature and warm laser shock peening. *Journal of Alloys and Compounds* 2017; 698, 633–642.
18. *Forouzanmehr M., Zamani M., Khosravian E., Reza K.K., Ivanov A.* Experimental study on the fatigue behavior of conventional and severe shot peened molybdenum alloy steel. *The Biennial International Conference on Experimental Solid Mechanics (X-Mech 2020)*, 18–19 Feb. 2020, Tehran, Iran.
19. *Bagherifard S., Pariente I.F., Ghelichi R., Guagliano M.* Effect of severe shot peening on microstructure and fatigue strength of cast iron. *International Journal of Fatigue* 2014; 65, 64–70.
20. *Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R.* Fatigue behavior prediction and analysis of shot peened mild carbon steels. *International Journal of Fatigue* 2018; 116, 48–67.
21. *Bagherifard S., Guagliano M.* Fatigue behavior of a low-alloy steel with nanostructured surface obtained by severe shot peening. *Engineering Fracture Mechanics* 2012; 81, 56–68.
22. *Maleki E., Unal O., Kashyzadeh K.R., Bagherifard S., Guagliano M.* A systematic study on the effects of shot peening on a mild carbon steel: Microstructure, mechanical properties, and axial fatigue strength of smooth and notched specimens. *Applied Surface Science Advances* 2021; 4, 100071.
23. *Farrahi G.H., Lebrijn J.L., Couratin D.* Effect of shot peening on residual stress and fatigue life of a spring steel. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 1995; 18(2), 211–220.
24. *Ma Z., Chen T., Wang Z., Xing X., Hou X., Chan C.* Analysis of residual stress of gear tooth after shot peening process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2023; 125, 2147–2160.

25. *Trung P.Q., Khun N.W., Butler D.L.* Effect of shot peening process on the fatigue life of shot peened low alloy steel. *Journal of Engineering Materials and Technology* 2017; 140(1), 011013.

26. *Segurado E.F., Belzunce J., Pariente I.F.* Mechanical surface treatments to optimize the fatigue behavior of quenched and tempered high strength steels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2018; 96, 1225–1235.

INDUSTRIAL VIBRATION DETECTION TECHNIQUES FOR ENHANCED MONITORING AND MAINTENANCE OF COMBINED CYCLE POWER PLANTS

*Al-Tekreeti Watban Khalid Fahmi, Ph.D. Student,
Reza Kashyzadeh Kazem*, Professor, Ph.D.,
Ghorbani Siamak, Associate professor, Ph.D.
RUDN University, Moscow, Russia
reza-kashi-zade-ka@rudn.ru

Abstract. This paper emphasizes the significance of Industrial Vibration Detection (IVD) techniques in improving the monitoring and maintenance of Combined Cycle Power Plants (CCPPs). Vibration has a significant impact on the performance of turbines and generators, resulting in increased maintenance, decreased efficiency, and catastrophic failure. The paper investigates the use of various IVD technologies such as accelerometers, eddy current proximity transducers, blade tip timing, and laser doppler vibrometers in CCPPs, as well as their benefits and drawbacks. Finally, it showed that using IVD techniques in conjunction with advanced maintenance methods can improve the overall performance and profitability of CCPPs.

Keywords: Combined cycle power plant; Gas turbine; Failure; Vibration detection; Sensors

Introduction

CCPP is a type of power generation system that generates electricity by combining two different thermodynamic cycles. It is an efficient and environmentally friendly technology that is powered by natural gas but can also use coal or biomass as fuel [1]. In fact, the gas turbine cycle and the Rankine cycle are the two thermodynamic cycles that are combined in a CCPP. In this way, the gas turbine cycle generates electricity by burning fuel in a gas turbine, which drives a generator to produce electricity. Furthermore, the gas turbine exhaust gases are used to generate steam in a Heat Recovery Steam Generator (HRSG), as part of the Rankine cycle [2]. The main components of a CCPP are a gas turbine, a heat recovery steam generator, a steam turbine, a condenser, a cooling tower, and an electrical generator. Fuel combustion powers the gas turbine to produce hot gases, which are captured by a heat exchanger to

generate steam for the steam turbine, producing more electricity. The condensed water is returned to the HRSG to repeat the process, while the cooling tower cools the water. The electrical generator converts mechanical energy into electrical energy. This power plant is efficient, flexible, and environmentally friendly [3]. The gas turbine is an essential component of a CCPP because it generates the initial electricity that powers the entire system. Regular maintenance and inspection are crucial parts of ensuring a gas turbine's proper performance. This entails inspecting various components of the turbine, such as blades, combustion chamber, and compressor, to ensure that they are in proper functioning and free of damage or wear. On the other hand, regular maintenance can help prevent unanticipated downtime and reduce the probability of costly repairs [4]. The proper operation of a gas turbine is critical for achieving maximum performance in a CCPP. Any imbalances or problems with the gas turbine can have an impact on the entire power plant's operation, resulting in lower efficiency and output [5]. Figure 1 depicts the Kirkuk power plant's gas turbine, which failed due to vibration.

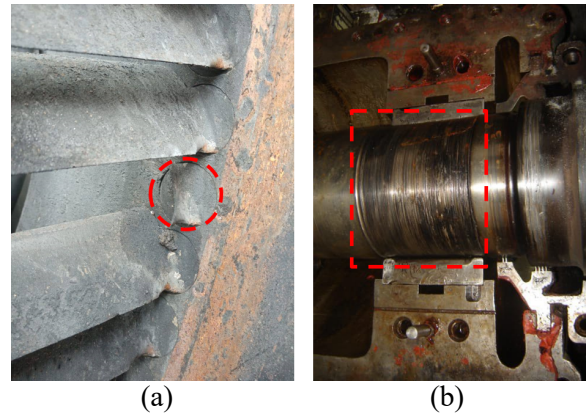


Fig. 1. The gas turbine damaged by vibrations caused by two different factors, including (a) steam flow fluctuations, and (b) rubbing

This paper's main contribution is to introduce various industrial techniques for detecting vibration in gas turbines and to provide a comprehensive overview of the various methods and technologies available for monitoring and measuring vibration in these systems. Moreover, the

paper discusses the benefits and drawbacks of each technique. The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 describes the main causes of vibration occurrence in CCPPs. Section 3 describes the methods widely used for vibration detection in various industries, particularly power generation. In Section 4, problems, and solutions for vibration detection in CCPPs are discussed. And the final section dedicated to the conclusions, which include a summary of the paper's main points.

Causes of vibration in CCPPs

Internal faults, natural disasters, or human error can be considered as the main reasons that can lead to catastrophic gas turbine failure in CCPPs. The primary cause of mechanical breakdown is vibration, which is caused by shaft unbalance, critical speed, rubbing, steam flow fluctuations, and shorted turns. Understanding these issues and their underlying causes can help with gas turbine design and maintenance, ensuring reliable electricity generation, and avoiding failures.

Shaft unbalancing

In rotary machines, including those used in CCPPs, two common sources of vibration are unbalance and misalignment, which can cause excessive vibration, noise, and wear. In fact, unbalance and misalignment in a CCPP can damage bearings, shafts, couplings, and other components, resulting in increased maintenance costs and downtime, which can reduce machine efficiency by increasing power consumption and decreasing output. Sudhakar and Sekhar have studied coupling misalignment, its effects, distinguishing factors, and rotor system monitoring [6]. They also emphasize misalignment detection using motor current signatures, thermography, noise, and artificial neural networks. The authors detected misalignment using model- and signal-based approaches. Due to rotary machine shaft misalignment, coupling preload forces induce system vibration [7, 8]. Experimental results indicate that unbalanced and misaligned machines waste 15% more energy compared to healthy machines [9]. Hence, minimizing high-energy vibrations like unbalance and misalignment reduces machine power usage by 10–15% [10]. Moreover, bearing misalignment drastically alters protective film thickness circumferentially and axially [11]. Pigott has claimed that a 0.0002-radian misalignment reduced bearing load capacity by 40% [12].

Critical speed

Critical speed can cause vibration, system inefficiency, and failure in CCPPs. At this speed, vibration increases and can lead to component failure, higher maintenance costs, and reliability issues. To prevent this, machines and components must be designed to operate safely below their critical speeds, and regular vibration analysis can help to detect and avoid critical speed resonances. Sinha et al. have employed Short-Time Fourier Transform (STFT) on vibration data from rundown and start-up operations to find critical speeds [13]. The vibration data showed that even with new rotors and blades with low pressure (LP), the system's key speeds stayed the same. Bachschmid et al. have used vibrations, rotational speed, and critical speed to find the rotor motion stability thresholds for two machines [14]. If the machine's dynamic response, rotor, and base have different critical speeds, instability with spiraling, stability, and limit cycles are all possible. Critical speed reduction and fracture geometry factors make the vibration response stronger, which means the rotor is broken [15]. Cracks generate rotor asymmetry, local flexibility, and excitation load [16]. Chaos, extra transient vibration components, and at least two impulse-like excitations per cycle can determine fractured rotor vibration signals [17].

Rubbing

Rubbing occurs when two rotating components or parts encounter each other, resulting in friction and wear. Rubbing damages machine parts like bearings and seals, causing increased vibration and wear. This leads to sudden failure and costly repairs. Ignoring rubbing can result in serious issues, including catastrophic failure, Figure 1(b). Vibration monitoring, performing visual inspections, and performing non-destructive testing are all examples of identification. Rotary equipment alignment and balancing can help reduce the risk of rubbing. Furthermore, regular lubrication and lubrication system monitoring help prevent rubbing by reducing friction between rotating components. Edwards et al. have investigated the rotor torsional vibration rub effect [18]. They found that torsion affects rotor system reactions and should be considered in models of rub phenomena in rotating machinery. Moreover, Ehrich has found that heat effects from rubbing can self-excite rotor dynamics [19]. He argued that by considering dry friction in the context of the stator and the rotor system's dynamics, whirl can be minimized by keeping the rotor

and stator's independent natural frequencies distinct. A stiff rotor should be paired with a soft stator part that may rub. Wang et al. have investigated theoretically and empirically how the sudden blade loss and rubbing impacts affect rotor system dynamics [20]. When angular velocities exceed critical speeds, the rotor suddenly becomes unbalanced.

Steam flow fluctuations

Steam flow fluctuations have several impacts on the rotary machines used in CCPPs, such as increasing system vibration and destructive phenomena like wear. Therefore, changes in steam flow can cause variations in turbine output, lowering the power plant's overall efficiency. Furthermore, changes in the flow of steam can cause changes in the loads on the turbine blades, leading to increased vibration levels in the machine, Figure 1(a). In this regard, control valves, pressure regulators, and other monitoring systems can be considered as useful methods to reduce the possibility of steam flow fluctuation. Domnick et al. have discovered that turbine inlet valves waste a significant amount of energy, resulting in pressure variations, dynamic forces, and vibrations [21]. Moreover, flow-induced valve head vibration mechanisms have been investigated numerically and experimentally [22]. According to Widel [23], because pressure fluctuation is the greatest, this unsteady flow may excite the axial acoustic resonance mode and damage the valve. Wang and Liu have used field measurement and Detached Eddy Simulation (DES) to investigate valve spindle vibration [24]. They performed modal analysis to estimate high-frequency acoustic modes of valve chamber.

Shorted turns

A "shorted-turn condition" occurs when a generator or motor's windings short out, causing increased current, temperature, and vibration. Shorted-turn rotors are caused by rotor unbalance affected by the current field difference (thermal sensitivity), rotor and stator vibration generated by an unbalanced magnetic force, a higher field current required at a given load than previously seen, and higher operating temperatures [25]. In this case, the stop-start cycles are known as shorted turns. The passage of time worsens short-turn problems. Shorted turns increase winding current, which increases temperatures and damages insulation. Current and temperature monitoring, visual inspections, and non-destructive testing are the best ways to prevent short turns. In this regard, vibration analysis

also detects shorted turn-induced vibration variations, enabling early diagnosis and maintenance. Lee et al. have conducted a shorted-turn detection test in the generator of a Pyungtaek CCPP petrol turbine [26]. An on-line shorted-turn diagnosis device and a persistent flux probe were used in the testing. The on-line flux probe test locates and counts problems precisely, making it more reliable and distinct than off-line diagnosis. To maximize shorted turn sensitivity in any rotor slot, the flux probe signals should be monitored under various load conditions (i.e., from no load to full load) [27].

Industrial vibration detection technologies

The process of measuring vibration to perform predictive and preventive maintenance on rotary machines can be divided into two parts. The first step is to collect raw vibration data using various sensors such as optical sensors, accelerometers, proximity probes, and others. The data is then analyzed using signal processing tools in the second step of the process. Figure 2 illustrates different methods for vibration detection.

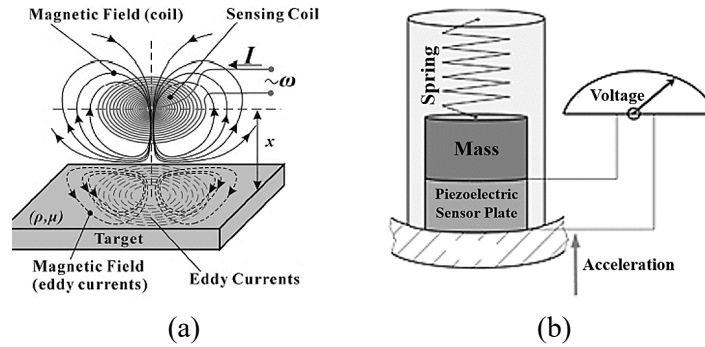


Fig. 2. Vibration detection sensors: (a) the working basis of an eddy-current displacement sensor, as well as a comparable model [28], and (b) principle of an accelerometer [29]

Eddy current proximity transducers

Eddy current proximity transducers are used to monitor the displacement of rotating machinery like turbines and generators in power plants. A probe made of a nonmagnetic metal and a coil made of copper wire with a ferrite core material make up the transducer. The probe

detects changes in the magnetic field caused by a target object's proximity, while the coil creates an alternating magnetic field that induces eddy currents in the object. These currents generate a magnetic field that opposes the coil's field, and the probe detects the resulting changes, converting them into an electrical signal. Some of the advantages of Eddy current sensors for vibration monitoring in CCPPs are: (1) high accuracy for detecting small displacement changes; (2) reliability in harsh environments; (3) suitability for high-speed machinery; and (4) no moving parts, reducing the risk of failure. However, the sensor has some limitations, like: (1) a limited sensing range; (2) single direction detection (radial); and (3) the requirement for calibration for accurate measurements, which is time-consuming and requires specialized equipment [28].

Accelerometer sensor

Power plants often use accelerometers to monitor the vibration of rotating machinery like turbines, pumps, and motors. An accelerometer structure typically consists of a mass, a spring, and a sensing element. The spring connects the mass to the sensing element, and the entire assembly is attached to the object being measured. When the object vibrates, the mass vibrates as well, causing changes in the mass's relative position to the sensing element. The sensing element, which is typically a piezoelectric crystal or a capacitive sensing element, measures these changes in position. In other words, when a piezoelectric accelerometer vibrates, the mass generates an electrical charge, which is detected by the piezoelectric crystal. Accelerometers are installed strategically on the machine, such as near the bearings or the shaft, and measure the acceleration caused by machine vibration, which can indicate issues such as unbalance, misalignment, or bearing wear. Accelerometers offer advantages for vibration monitoring in power plants, such as: (1) high accuracy across a wide frequency range; (2) the ability to detect high and low levels of vibration; and (3) easy installation in various machine locations. But it has limitations like: (1) temperature changes may affect accuracy; (2) measuring acceleration only in the mounted direction; and (3) calibration is necessary for accurate measurements [18].

Blade tip timing

Blade Tip Timing (BTT) is commonly used in power plants to monitor the vibration of blades in gas turbine. A BTT system typically

consists of a series of sensors mounted around the turbine rotor periphery that measure the time it takes for the blade tips to rotate past the sensors. Each blade has a unique vibration sign that is determined by the shape and stiffness of the blade as well as the rotational speed. In addition, optical sensors mounted on the stator or casing surrounding the rotor are commonly used in BTT systems. The passing blade tip interrupts the light beam emitted by these sensors. BTT can also be used to monitor the rotor's balance and detect any unbalance that could cause excessive vibration. Some of the advantages of BTT can be regarded as follows: (1) BTT can provide very accurate measurements of blade vibration; (2) they are non-intrusive, requiring no changes to the turbine blades or rotor; (3) BTT can detect both high and low vibration frequencies; and (4) BTT can monitor blade vibration in real time. However, BTT has some limitations, such as the fact that (1) it can only measure the vibration of the blade tips and cannot provide information on the vibration of the rest of the blade or rotor; and (2) calibration is required for BTT systems to ensure accurate measurements [30]. In summary, a schematic of this technique is shown in Figure 3.

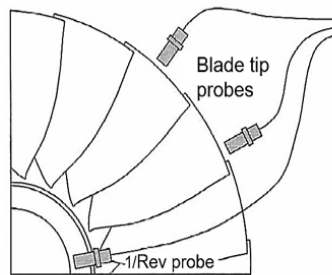


Fig. 3. A simple schematic of blade tip timing system [30]

Laser doppler vibrometer

The Laser Doppler Vibrometer (LDV) is a non-contact vibration measurement technique used in power plants and also in various industries. The LDV is a high-precision instrument capable of detecting extremely small vibrations. An LDV system typically consists of a laser source, an optical beam splitter, and a photodetector. The laser emits a light beam that is split in two by the optical splitter. One beam is aimed at the vibrating surface, while the other is focused on a reference surface.

The two beams are reflected to the photodetector, where they interfere, resulting in an interference pattern. The LDV operates by measuring the frequency shift in the interference pattern caused by surface vibration. The photodetector detects variations in reflected light frequency when the surface vibrates. The LDV measures vibration amplitude and frequency, allowing real-time monitoring of rotating machines. LDV advantages include: (1) non-contact measurement; (2) high sensitivity to small vibrations; (3) detection of high and low frequencies; and (4) real-time monitoring of rotating machinery. But the sensor has limitations, including: (1) a limited measurement range; (2) a high cost to purchase and maintain; and (3) a complex setup and specialized expertise needed to operate in some applications [30]. The overall implementation of this technique is presented in Figure 4.

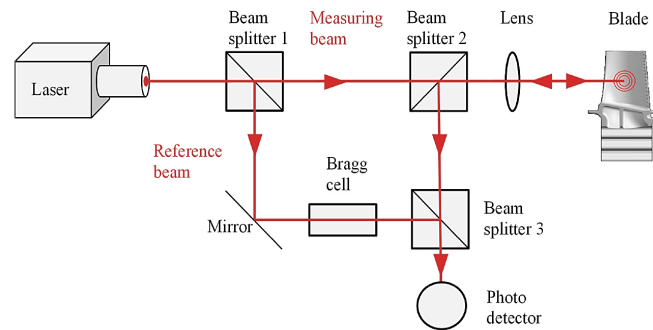


Fig. 4. A simplified structure of laser doppler vibrometer [30]

4. Conclusion

According to the findings of the current research, there is no single "best" vibration detection method for use in CCPPs, as each method has its own advantages and limitations. However, the best vibration detection method for CCPPs is determined by several factors, including the equipment being monitored, the frequency range of vibration being measured, and the environmental conditions present. As a result, determining of the technique to be used to detect the vibration varies from case to case. But besides that, accelerometers are a popular choice due to their versatility, high sensitivity, and wide frequency range, whereas eddy current proximity transducers can measure axial and radial

vibrations with high accuracy. Although blade tip timing and laser doppler vibrometer provide high-resolution measurements of blade vibrations, they may not be practical for routine monitoring. Finally, the authors' experience in industry suggests that a combination of methods may be needed to provide a comprehensive picture of vibration levels and trends over time.

References

1. Villanueva J.A.B., Aguilar F.J.J., Trujillo E.C., Ramirez R.C., Garcia M.T. Analysis of Steam Turbine Instabilities of a 100 MW Combined Cycle Power Plant. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Dynamic Systems and Control, Parts A and B. Vancouver, British Columbia, Canada. November 12–18, 2010; 8, 11–19.
2. Khan M.N., Tlili I. New advancement of high performance for a combined cycle power plant: thermodynamic analysis. Case Studies in Thermal Engineering 2018; 12, 166-175.
3. Fahmi A.T.W.K., Kashyzadeh K.R., Ghorbani S. A comprehensive review on mechanical failures cause vibration in the gas turbine of combined cycle power plants. Engineering Failure Analysis, 2022; 134, 106094.
4. Zwebek A., Pilidis P. Degradation effects on combined cycle power plant performance – part I: gas turbine cycle component degradation effects. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 2003; 125(3), 651-657.
5. Prabith K., Krishna I.R.P. The numerical modeling of rotor-stator rubbing in rotating machinery: a comprehensive review. Nonlinear Dynamics 2020; 101(2), 1317–1363.
6. Sudhakar G.N.D.S., Sekhar A.S. Coupling misalignment in rotating machines: modelling, effects and monitoring. Noise & Vibration Worldwide 2009; 40(1), 17–39.
7. Sinha J.K. Vibration analysis, Instruments, and Signal Processing. 1st ed., CRC Press, Boca Raton, 2015.
8. Kim D., Kim Y., Jung J.H., Sohn S. Fault diagnosis method based on feature residual values for industrial rotor machines, KEPCO Journal on Electric Power and Energy 2018; 4(2), 89–99.
9. Gaberson H.A. Rotating machinery energy loss due to misalignment. IECEC 96, in: Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference 1996; 3, 1809–1812.

10. *Bloch H.P.* Less costly turbo equipment uprates through optimized coupling selection. Texas A&M University. Gas Turbine Laboratories 1975; 149–152.
11. *Jang J.Y., Khonsari M.M.* On the characteristics of misaligned journal bearings. *Lubricants* 2015; 3(1), 27–53.
12. *Pigott R.J.S.* Bearings and lubrication—bearing troubles traceable to design can be avoided by engineering study. *Mechanical Engineering* 1942; 64, 259–269.
13. *Sinha J.K., Hahn W., Elbhah K., Tasker G., Ullah I.* Vibration investigation for low pressure turbine last stage blade failure in steam turbines of a power plant, in: *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2012: Turbine Technical Conference and Exposition. Structures and Dynamics, Parts A and B.* Copenhagen, Denmark. June 11–15, 2012; 7, 363–371.
14. *Bachschmid N., Pennacchi P., Vania A.* Thermally induced vibrations due to rub in real rotors. *Journal of Sound and Vibration* 2007; 299(4–5), 683–719.
15. *Todorovic P., Jeremic B., Macuzic I., Brkovic A., Proso U.* Vibration analysis of cracked rotor during run-up. *Tribology in industry* 2008; 30(1–2) 55–62.
16. *Wanga K.S., Guo D., Heyns P.S.* The application of order tracking for vibration analysis of a varying speed rotor with a propagating transverse crack. *Engineering Failure Analysis* 2012; 21, 91–101.
17. *Zheng G.T.* Vibration of a rotor system with a switching crack and detection of the crack. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 1998; 120(1), 149–154.
18. *Edwards S.F., Lees A.W., Friswell M.I.* The influence of torsion on rotor/stator contact in rotating machinery. *Journal of Sound and Vibration* 1999; 225(4), 767–778.
19. *Ehrich F.F.* Self-excited vibration. *Shock and Vibration Handbook.* Harris CM, ed., McGraw-Hill, New York, 1976.
20. *Cun W., Dayi Z., Yanhong M., Zhichao L., Jie H.* Theoretical and experimental investigation on the sudden unbalance and rub-impact in rotor system caused by blade off. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2016; 76, 111–135.
21. *Domnick C.B., Benra F.K., Brillert D., Dohmen H.J., Musch C.* Investigation on flow induced vibrations of a steam turbine inlet valve considering fluid structure interaction effects, in: *Proceedings of the*

ASME Turbo Expo 2016: Turbomachinery Technical Conference and Exposition. Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines. Seoul, South Korea. June 13–17, 2016; 8, V008T26A010.

22. Koichi Y., Ryohei O., Kanako O., Tomofumi T., Yoshinobu T., Takahide E., Kenichi T., Ryo V., Fumio I. Flow-induced vibration of a steam control valve. *Journal of Fluids and Structures* 2012; 35, 76–88.

23. Widel K.E. Governing Valve Vibrations in a Large Steam Turbine, Practical Experiences with Flow-Induced Vibrations. New York: Springer-Verlag, 1980, pp. 320–322.

24. Peng W., Yingzheng L. Unsteady flow behavior of a steam turbine control valve in the choked condition: field measurement, detached eddy simulation and acoustic modal analysis. *Applied Thermal Engineering* 2017; 117, 725–739.

25. Donald R.A., David J.A., James D.A. Generator fields winding shorted turn detection technology. *IRMC* 1999; 1–8.

26. Lee Y.J., Ju Y.H. An assessment of insulation condition for generator rotor windings. in: *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis* 2008; 543–545.

27. Kapler J., Campbell S., Credland M. Continuous automated flux monitoring for turbine generator rotor condition assessment. in: *Iris Power Engineering Inc., Toronto, Canada, EPRI WORKSHOP Charlotte, NC, July 27. 2004; 1–15.*

28. Wang H., Ju B., Li W., Feng Z. Ultrastable eddy current displacement sensor working in harsh temperature environments with comprehensive self-temperature compensation. *Sensors and Actuators A: Physical* 2014; 211, 98–104.

29. Mevissen F., Meo M. A review of NDT/structural health monitoring techniques for hot gas components in gas turbines. *Sensors* 2019; 19(3), 711.

30. Zielinski M., Ziller G. Noncontact vibration measurements on compressor rotor blades. *Measurement Science and Technology* 2000; 11(7), 847.

INVESTIGATING THE EFFECT OF BOLT MANUFACTURING METHODS ON ITS EFFICIENCY

Al-Adarbi Marsel Kasimovich, Ph.D. Student,

Gorbani Siamak, Associate Professor, Ph.D.,

Reza Kashyzadeh Kazem, Professor, Ph.D.*

RUDN University, Moscow, Russia

**reza-kashi-zade-ka@rudn.ru*

Abstract. The current article examines the impact of bolt manufacturing methods on the performance of bolted fasteners. Moreover, the article also emphasizes the importance of considering the static and fatigue strength of bolts in bolted connection design. Therefore, the authors have attempted to compare the performance of bolts produced by different machining methods. In other words, this study intends to provide insights into the most effective production methods to improve bolted connection reliability and prevent accidents caused by bolted connection failure.

Keywords: Bolted connection failures; Bolts manufacturing methods; Fatigue strength of bolts; Static strength of bolts; Machining

Introduction

Separable connections using bolts and nuts have been used for a long time in various industries, even in human daily life. Also, they have evolved significantly in this direction and are now widely used in modern and hi-tech products. Bolts are used to join steel beams and components in building construction, to connect various parts of aircraft and spacecraft in the aerospace industry, including wings, fuselages, and engines. In addition, most of the connections of supports and pipes to the walls of petrochemical sites are bolted joints [1, 2], and in some cases, welding is also used on the bolt connection. Also, bolts are commonly used in the automotive industry to connect engine blocks, transmission housing, and suspension systems [3]. Bolted connections are preferred over welding or riveting for several reasons. They are flexible, allowing for easy disassembly and reassembly, making them suitable for applications requiring maintenance. Additionally, they are easy to install and maintain, requiring no specialized equipment or skilled labor. Bolted connections are typically less expensive than welded or riveted

connections, especially for large-scale projects, and they do not generate heat, which eliminates the risk of distortion or warping [4]. Despite all the advantages mentioned above, this connection is not without drawbacks. The presence of a large number of stress concentrators reduces fatigue strength, and this is true for all threaded connections [5]. Another disadvantage is the higher metal consumption of bolted joints compared to the welded joints. The main reasons for the failure of bolted connections are crushing, wear, cracks, destruction of the bolt head and self-unscrewing, which, in general, is typical for all types of threaded connections [6, 7]. These failures lead to a significant deterioration in the performance of the structure or mechanism, loss of tightness of the seals, the appearance of large dynamic loads on the structure, and an increase in the cost of their monitoring and flaw detection [8]. Spontaneous relaxation of a threaded connection as a result of dynamic loads and vibration is one of the causes of early wear and failure of parts and assemblies connected by a threaded connection [4]. Engineers and designers in several areas of mechanical engineering are working on an important task: maintaining the stability of a threaded connection under high levels of vibration and stress. For this, additional devices are used, such as lock washer, pins, and others [8]. Another direction in increasing the durability, and hence the economic profitability of structures is the development of new methods for the production of elements of bolted joints, as well as the improvement of their design [9]. Bolted connection failures can result in serious accidents and injuries, and various factors such as inadequate preload, fatigue, corrosion, and inadequate tightening torque can contribute to such failures. Based on industrial experiences and observations, it can be said that regular inspection and maintenance, the use of corrosion-resistant materials, and proper tightening methods are essential to prevent failures and ensure the safety and reliability of bolted connections. Recent studies have investigated the failure modes and mechanisms of bolted connections under different loading conditions. In this regard, scholars have found that the failure modes of bolted connections are highly dependent on the loading conditions, and fatigue is the most common cause of failure. They recommended the use of fatigue-resistant materials and designs and regular inspection and maintenance to prevent failures [10]. Another cause of failure is improper tightening, which can result in either over-tightening, causing the bolt to yield or break, or under-tightening, causing the bolted connection to loosen and

fail under cyclic loading. Based on incidents recorded in history, several catastrophic accidents have been attributed to the failure of bolted joints. For example, the collapse of the Hyatt Regency Hotel walkway in Kansas City, Missouri, in 1981, was caused by the failure of a bolted connection in the suspended walkway. This accident resulted in 114 fatalities and more than 200 injuries. To address the issue of bolted connection failures, in the present paper, the authors were explored different production methods for bolts to improve their performance. In other hand, the main aim of this manuscript is to compare the performance of bolts related to different production methods by machining, including turning operation, hot rolling, and cold rolling.

Bolt production methods

To date, three main methods have been established for the production of bolts:

1- Cold stamping: This method involves feeding a wire through a die and applying pressure to shape it into a bolt. This method is often used for mass production and is cost-effective.

2- Hot Forging: This method involves heating a metal bar and then forging it into a bolt shape. This method can produce bolts with higher strength than cold stamping but is more expensive and time-consuming.

3- Machining: This method involves removing material from a metal bar to create the shape of a bolt. This method is often used for specialized or custom bolts.

Each method of bolt production has its advantages and disadvantages, and the appropriate method will depend on the specific application and requirements of the bolt.

Manufacturing by turning operation

Both type of starting material (hexagonal or cylindrical rod, and metal properties) and the level of accuracy of the workpiece affect the stages and methods of processing [11]. In addition, the choice of processing method, tools, time, and cost can be influenced by the starting material type and the required level of accuracy. Some materials may require specific processing methods while the level of accuracy needed may dictate more precise methods. Additionally, the selection of processing tools, time required, and cost of manufacturing can all be

impacted by the choice of starting material and the level of required accuracy. Hot-rolled blanks are less precise, making it impossible to accurately center the final product on a turret or CNC lathe. The following processes make up the technological process of turning a bolt from a cold-rolled hexagonal rod [12]. The technological process of turning a bolt from a cold-rolled hexagonal rod involves several steps. First, the hexagonal rod is cut to the appropriate length and centered in a lathe using a chuck or collet. Next, the rough turning process begins to remove excess material from the rod. Then, the threads are cut onto the bolt using a threading tool. Afterward, the bolt is finished using a finishing tool that produces a smooth surface finish. Finally, the bolt is inspected to ensure that it meets the required specifications. Throughout the entire process, precision measuring tools may be used to verify the dimensions of the bolt. By following these steps, a cold-rolled hexagonal rod can be transformed into a fully practical bolt.

Manufacturing by cold stamping

Carbon steel bolts are generally produced by cold forming. The production process begins by placing a certain rod of wire in an oven for 30 hours. Then, it's time to wash with water after soaking in sulfuric acid to remove rust. Furthermore, steel is then treated with phosphate, a special chemical, to prevent corrosion before forming. Before being sent to the press station, the workpieces are coated with grease. Moreover, the stamping process is carried out at room temperature. It consists in rolling steel wire through various molds. The first step is rolling to straighten and lengthen the wire rod, then cutting into the desired parts with excess length [13]. The allowance is necessary for forming the head as shown in Figure 1.

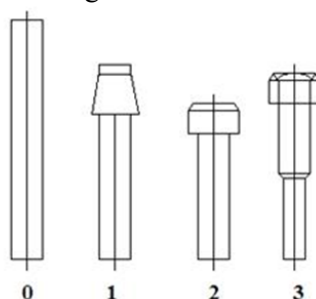


Fig. 1. The sequence of processing the blank for manufacturing a bolt by stamping

Each billet passes through a press that forms a perfectly round cylinder. Then a series of presses smoothly forms the head according to the given type of product. In this regard, the process of forming a hexagon is as follows:

- A slight protrusion is made (step 0 in Fig. 1);
- Then an internal punching is formed (step 1 in Fig. 1);
- The next shape rounds the workpiece (step 2) in Fig. 1;
- And the last prints 6 faces (step 3 in Fig. 1).

This is followed by the threading step. To simplify the screwing of nuts, the cutting machine bevels the edge. Also, cold stamping is used to create threads. The rollers apply the thread quickly and under high pressure.

Hot stamping manufacturing

Hot stamping is a manufacturing process that heats a metal blank and presses it into a die to create a desired shape, resulting in increased strength and hardness. The process involves the redistribution of metal within the stamp, and the metal in the center undergoes a process called precipitation hardening, forming small particles that strengthen the material. Redistribution of material during the hot stamping process results in excess metal, known as flash, which is extruded from the die's edge. In open dies, the flash must be removed through secondary processing, while closed dies prevent flash from forming, resulting in flashless stamping. Flashless stamping leads to a smoother surface finish and reduce the need for secondary processing. In addition to the advantages of increased strength and hardness, hot stamping also offers other benefits over other metal forming processes. For example, the high temperatures used in the process can help to eliminate impurities and other defects in the metal, resulting in a part with superior quality and performance. Additionally, the process can be used with a variety of metals, including steel, aluminum, and titanium, making it a versatile choice for many different manufacturing applications.

The technical process of manufacturing a bolt using hot stamping begins with cleaning and cutting blanks [14]. The working cycle of this method in bolt production is shown in Figure 2. Then the blanks undergo a series of operations, including heating to 1000 degrees with an inductor, shaping the part head with an impact press, chamfering on a milling machine, and thread cutting on an automatic machine, to produce strong and

reliable fasteners. To ensure high corrosion resistance, the bolts are galvanized, which involves washing the parts in hot water, chemically cleaning the surface with hydrochloric acid, neutralizing any remaining acid with water, and immersing the parts in a heated zinc solution. In chemical galvanization, a layer of zinc is deposited on the part in an electrolyte solution. The finished bolts are then polished, and any mechanical defects are eliminated. Hot stamping provides high strength characteristics of finished hardware.

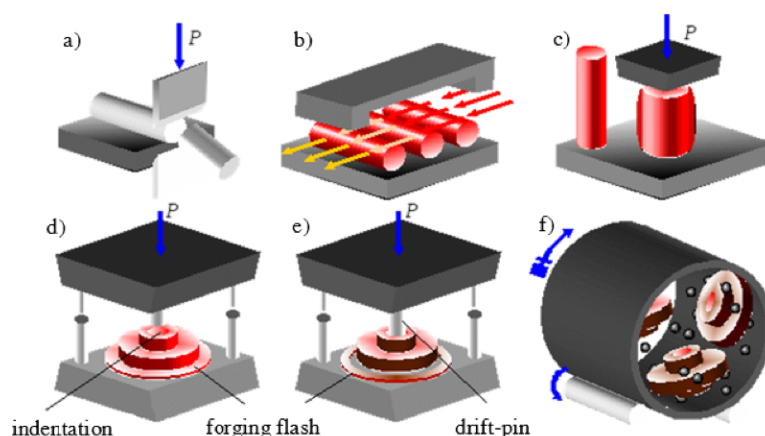


Fig. 2. The steps of bolt production by hot stamping method:

a) cutting the workpiece on press scissors, b) heating of workpieces in heating furnaces, c) workpiece draft (on the left – workpiece before draft), d) stamping in an open stamp, e) trimming the flash and piercing the hole, and f) cleaning the surface of the forging from scale in the shot blasting drum

Influence of bolt production methods on the connection strength and durability

Bolted connections perform their tasks regardless of the type of bolt production. However, the quality, shape, and dimensions of the bolt can be affected by various factors during the forging and stamping processes. These factors include the shape of the tool, the materials of the workpiece and tooling, the speed of molding, and the temperature of punching. Temperature can affect the shape, tool wear, stress and strain conditions, material damage, product quality, technological strength, and

labor intensity. While deformation is not affected by forging temperature. In addition, stresses in hot forging are significantly lower than in cold working. Studies have found that the optimal stamping temperature is 1100 degrees, but for small bolt head dimensions, cold stamping can be used to reduce labor intensity. In such cases, alternative stamping methods or multi-junction stamping can improve product quality [15, 16]. The strength and durability of fasteners can also be increased by a special mode of heating rolled products with high-frequency currents before cold stamping, which makes it possible to exclude turning from the technological process. Rolled steel prepared according to this scheme has a uniform finely dispersed structure without a decarburized layer with an almost complete absence of scale, and also better withstands various loads [17]. A noticeable factor influencing the material structure is the heating of parts during hot and cold forging. For example, in the certain climatic conditions [18], the impact strength of bolts manufactured by hot die forging did not meet the established characteristics, and therefore the task was set to improve the bolt manufacturing technology to obtain mechanical properties. During the analysis of the causes of low toughness, the following factors were identified that adversely affect the performance within the existing technological process for manufacturing bolts:

- The structure of the needles obtained by hot stamping of bolts and not eliminated during heat treatment;
- Quality and geometric dimensions of the test specimens;
- The presence of non-metallic inclusions in steel.

All the disadvantages of this method were eliminated by changing the steel grade to a better one, as well as by adding alloying components, tempering and hardening modes were adjusted, and most importantly, to eliminate the problem of increased brittleness, it was proposed to use the cold stamping method.

Static strength

The static strength of a bolt refers to its ability to withstand a static load without experiencing permanent deformation or failure. The static strength of a bolt can be calculated using the following equation:

$$F = A_s * \sigma_t \quad (1)$$

where F is the static strength of the bolt in Newtons (N), A_s is the tensile stress area of the bolt in square millimeters (mm²), σ_t is the

tensile strength of the bolt material in megapascals (MPa). Moreover, tensile stress area of the bolt is calculated as follows:

$$A_s = (\pi/4) * (d - 0.9382/n)^2 \quad (2)$$

in which d represent the nominal diameter of the bolt in millimeters (mm) and n is the thread pitch of the bolt in millimeters (mm). The static strength of bolts has been extensively studied by researchers in recent years. Researchers have explored the use of new materials, such as high-strength alloys and composites, to improve bolt performance. These materials can offer higher tensile strength, better corrosion resistance, and other desirable properties that can enhance bolt performance in challenging environments [19].

Fatigue strength

Fatigue strength of bolts refers to the ability of a bolt to resist fatigue failure, which is a type of failure that occurs after repeated loading cycles [20-22]. This failure occurs when the material of the bolt undergoes cyclic stress and strain, leading to the development of cracks that can propagate and eventually cause the bolt to fail. Fatigue strength is an important consideration in the design of bolted connections, as failure can have catastrophic consequences in some applications, such as in aerospace and structural engineering. The durability of a bolt can be calculated in terms of fatigue strength using the following equation:

$$S = K_f * K_s * K_t * (1/S_{ut}) * \sqrt{(a/\pi)} \quad (3)$$

in which: S = fatigue strength, K_f = fatigue strength reduction factor, K_s = size factor, K_t = temperature factor, S_{ut} = tensile strength, a = stress concentration factor, π = constant (= 3.14).

As it is known, the above equation includes many influential parameters, so by using this relationship, a very good and accurate approximation of the fatigue strength of the part can be obtained. Moreover, scholars have conducted various studies to investigate the fatigue behavior of bolts due to different loading conditions. For example, they studied the fatigue behavior of bolts with different surface finishes under variable amplitude loading. They found that the fatigue life of bolts was significantly affected by the surface finish, and they proposed a new

parameter to describe the surface finish influence on the fatigue behavior of bolts [23].

Conclusions

The choice of manufacturing method for bolted connections can affect their performance. In some cases, an incorrectly chosen production method can lead to an increased failure rate. Today, turning production is not profitable for mass production, due to low speed and increased requirements for the accuracy of workpieces, although products are often not inferior in performance to bolted connections made using stamping. However, the differences between hot and cold stamping are not very large, due to increased stresses, as well as the risk of formation of undesirable structures in the fastener metal, more and more enterprises are switching to the cold stamping method. The static strength of a bolt is a critical factor in bolted connection design, and it can be calculated using the provided equation in the present report. Researchers have made significant strides in recent years to improve bolt performance by exploring the use of new materials and designs. Also, the use of high-strength alloys and composites can enhance bolt performance in challenging environments and provide higher tensile strength and better corrosion resistance. In addition, a special attention has been paid to the fatigue strength of the bolted connections. Finally, it can be stated that each manufacturing method has its advantages and disadvantages, and the choice of an appropriate method depends on the application requirements and desired properties of the bolted connections. However, until now, the effects of process parameters in each production method have not been investigated on bolt strength under static and cyclic loads. Therefore, the future research direction of the authors will focus on this issue.

References

1. *Farrahi G.H., Chamani M., Kashyzadeh K.R., Mostafazade A., Mahmoudi A.H., Afshin H.* Failure analysis of bolt connections in fired heater of a petrochemical unit. *Engineering Failure Analysis* 2018; 92, 327–342.
2. *Farrahi G.H., Fallah A., Kashyzadeh K.R.* Fracture toughness evaluation of 1.4841 bolt subjected to simultaneous effects of creep and hydrogen embrittlement phenomena using small punch test: A case study in a superheater of a petrochemical unit. *Engineering Failure Analysis*, 2023; 144, 106956.

3. *Salmon C.G., Johnson J.E., Malhas F.* Steel Structures: Design and Behavior 5th ed. Pearson. 2008; 896.
4. *Shigley J.E., Budynas R.G.* Mechanical Engineering Design. 10th ed. McGraw Hill. 2015; 1105.
5. *Juvinall R.C., Marshek K.M.* Fundamentals of machine component design 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 2011; 928.
6. GOST 1759.0-87 Bolts, screws, studs and nuts. Specifications: introduction date 01.01.1989. – Moscow: Standartinform, 2006. 17 p.
7. *Khalidov S.I., Bogatyrev T.S., Abubakarov M.A.* Threaded connection of increased vibration resistance. Science and Business: Ways of Development 2019; 5(95); 12–14.
8. *Farfel M.I., Konyashin D.Y.* Influence of the operation mode of structures on the technical condition of bolted joints. Bulletin of NIC Construction 2018; 3(18), 136–148.
9. *Dunaev V.V.* Study of the possibility of increasing the durability and reliability of countersunk bolted connections. Assembling in mechanical engineering, instrument making 2019; 12; 541–548.
10. *Zhang W., He Y., Liu Y.* Failure modes and mechanisms of bolted connections under different loading conditions. International Journal of Mechanical Sciences 2020; 166, 105254.
11. *Birger I.A., Iosilevich G.B.* Threaded and flange connections. M.: Mashinostroenie, 1990; 388.
12. *Beletsky D.G.* Handbook of a universal turner. Moscow: Mashinostroenie, 2007; 560.
13. *Belan A.K., Savochkina L.V., Belan O.A.* Applied mechanics of the process of cold stamping of terminal bolts using transverse extrusion. Actual problems of modern science, technology and education 2011; 2(69), 182–185.
14. *Kashkarova K.R.* Analysis of the manufacturing technology of track bolts by hot die forging. International Scientific and Practical Conference. DI. Mendeleev, dedicated to the 90th anniversary of Professor Magarila, R.Z.: Conference materials, Tyumen, November 25–27, 2021 / Ed. editor A.N. Khalin. Volume 2. - Tyumen: Tyumen Industrial University, 2022; 2, 63–67.
15. *Gasarov A.I.* Comprehensive analysis of the process of stamping heads of fasteners. Bulletin of the Tula State University. Technical science 2022; 7, 364–366.

16. *Reshetnikova E.S., Kadoshnikov V.I.* Study of the multi-pass process of volumetric forging of flange bolts. Forging and stamping production. Processing of materials by pressure 2014; 8, 18–20.
17. *Kozinov D.Y., Filippov A.A., Pachurin G.V.* Economical preparation of structural and mechanical characteristics of rolled products for cold stamping of automotive bolts. Automotive industry: design, design, calculation and repair technologies and production: Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Izhevsk, April 29–30, 2021. – Izhevsk: Publishing house of UIR IzhGTU named after M.T. Kalashnikov, 2021; 191–197.
18. *Bazykov A.R.* Improving the technology of manufacturing bolts for rail joints by cold stamping in order to obtain the necessary mechanical properties. Magnitogorsk rolling Practice 2018: Proceedings of the III Youth Scientific and Practical Conference, Magnitogorsk, June 05–08, 2018. Edited by Korchunov, A.G. – Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosova, 2018; 104–106.
19. *Al-Mershed A., Alsaleh M.A., Khan F.* Finite element analysis of bolted connections with different types of gaskets. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2018; 53, 145–152.
20. *Kashyzadeh K.R.* Effects of axial and multiaxial variable amplitude loading conditions on the fatigue life assessment of automotive steering knuckle. Journal of Failure Analysis and Prevention 2020; 20(2), 455–463.
21. *Kashyzadeh R.K., Souri K., Gharehsheikh B.A., Safavi J.R., Ahmad M.* Fatigue life analysis of automotive cast iron knuckle under constant and variable amplitude loading conditions. Applied Mechanics 2022; 3(2), 517–532.
22. *Abdollahnia H., Alizadeh E.M.H., Kashyzadeh R.K.* Multi-axial fatigue life assessment of integral concrete bridge with a real-scale and complicated geometry due to the simultaneous effects of temperature variations and sea waves clash. Journal of Marine Science and Engineering 2021; 9(12), 1433.
23. *Pertuz A., Díaz C.S., González E.O.* Static and fatigue behaviour of continuous fiber reinforced thermoplastic composites manufactured by fused deposition modelling technique. International Journal of Fatigue 2019; 130. 105275.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Н.В. Москаленко, аспирант,

И.В. Ковкин, магистр,

Ю.А. Кремзуков, к.т.н., доцент.

Научно-исследовательский институт автоматики

и электромеханики ТУСУР "НИИ АЭМ ТУСУР", Томск, Россия,

moskalenko@niiuem.tomsk.ru

Аннотация. Целью работы является получение методики и технических средств для проведения входного контроля химических источников тока на примере суперконденсаторов. В статье приводится экспериментальный метод определения основных характеристик накопителей путем проведения контролируемых циклов заряда-разряда в автоматизированном режиме с использованием нескольких моделей суперконденсаторов различного производства. Для проведения исследований был разработан и протестирован специализированный программно-аппаратный комплекс. Полученные в ходе измерений и расчетов результаты свидетельствуют о необходимости проведения входного контроля и экспериментальных испытаний суперконденсаторов, применяемых в высоконадежных системах электропитания.

Ключевые слова: входной контроль, химические источники тока, суперконденсаторы, система электропитания, комплекс для анализа и диагностики, автоматизация измерений, высоконадежное оборудование, производство радиоэлектронной аппаратуры

Введение

Несмотря на высокий уровень развития электроники за последние десятилетия, современная промышленность нуждается в освоении новых высокотехнологичных решений для создания эффективных систем электроснабжения и накопителей энергии для оборудования высокой надежности. Различные области науки и техники все чаще сталкиваются с задачами, требующими применения точных и стабильных устройств. В связи с этим возникает проблема оценки качества изделий путем исследования свойств

и характеристик отдельных электронных узлов и компонентов в реальных условиях эксплуатации. Одним из основных способов подтверждения исправности элементов и устройств является входной контроль.

Актуальность проведения входного контроля состоит в том, что производство радиоэлектронной аппаратуры терпит значительные издержки от дефектных материалов и комплектующих, используемых в изделиях. Как правило, эти дефекты непредсказуемо проявляют себя в готовой продукции, что сказывается на ее надежности и технических показателях [1]. Статистика отказов оборудования также свидетельствует о том, что основной причиной неисправностей являются некачественные комплектующие.

Для высокоточных устройств и систем особого назначения отклонение реальных значений параметров от расчетных может привести к серьезным нарушениям в их функционировании. Это также означает, что использование некачественных электронных компонентов повышает риски возникновения аварийных ситуаций, что ведет значительному материальному ущербу и создает угрозу для жизни и здоровья человека. Входной контроль является дополнительной проверкой компонентов перед их использованием в производстве, при которой отслеживаются основные параметры, определяющие их работоспособность и надежность в целевом устройстве. Надежность является важным фактором в проектировании долговечных систем, особенно на ранней стадии разработки продукта [2]. Также контроль параметров требуется после длительного хранения электронных компонентов, сопровождающегося старением [3].

Базовым компонентом любого автономного устройства, обеспечивающим накопление электрической энергии, являются химические источники тока. Они применяются в качестве вторичного источника электроэнергии, позволяя устройствам на протяжении определенного времени функционировать при отсутствии основных (первичных) источников тока. Эти накопители совместно с энергопреобразующими элементами образуют систему электропитания (СЭП) и во многом определяют надежность, стабильность и эксплуатационные характеристики устройств. Как и другие ответственные узлы электронной аппаратуры, источники тока необходимо проверять на соответствие своим номинальным характе-

ристикам, заявленным производителем [4]. Для этого требуется разработать соответствующие средства и методы, позволяющие получать и анализировать основные электрические параметры химических источников тока в рабочих условиях.

В статье представлен разработанный программно-аппаратный комплекс для анализа и диагностики химических источников тока, который позволяет определить реальные характеристики накопителей путем измерения напряжения при их заряде и разряде. Описывается методика проведения автоматизированных исследований накопителей на примере проведенного эксперимента по получению и сравнению показателей суперконденсаторов (СК) различных производителей. Используя полученные результаты проведенного эксперимента и расчетные значения приводится сравнение реальных и заявленных характеристик тестируемых СК.

Состав технического комплекса

Для экспериментального исследования процессов заряда и разряда СК использовался специально разработанный программно-аппаратный комплекс (рис. 1).

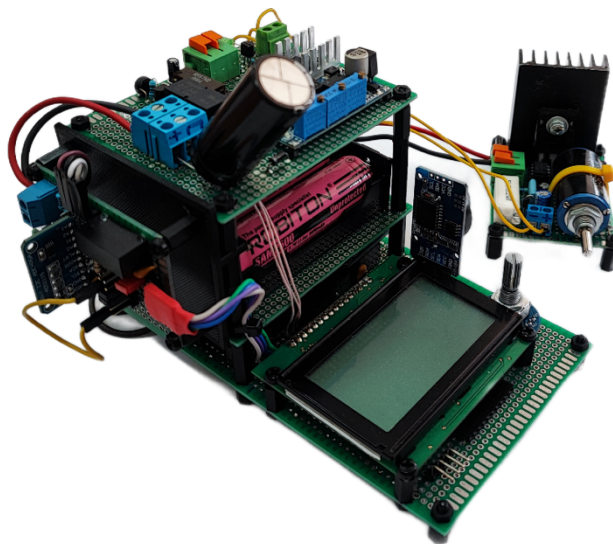


Рис. 1. Программно-аппаратный комплекс для анализа и диагностики СК

Данный комплекс представляет собой лабораторный прототип устройства, в основе которого лежит микроконтроллер Arduino Nano. Имея сравнительно небольшую стоимость, используемый микроконтроллер обладает достаточной вычислительной мощностью и необходимой периферией для реализации на его базе макетного образца. Важным преимуществом такого технического решения является упрощенный процесс разработки программной части комплекса благодаря наличию большого количества библиотек, предоставляемых сообществом Arduino для работы с различными устройствами [5].

Получение значений напряжения тестируемых источников тока обеспечивается модулем 16-битного аналого-цифрового преобразователя ADS1115, благодаря чему достигается высокая точность измерений. Другим преимуществом использования внешней платы АЦП является высокая скорость опроса, которую не может обеспечить встроенный модуль АЦП в Arduino Nano. Также используемая плата АЦП имеет внутренний источник опорного напряжения, программируемую частоту дискретизации, настраиваемый коэффициент усиления и встроенный компаратор, что необходимо для реализации программно-аппаратного комплекса. Для гальванической развязки цифровых сигналов между АЦП и микроконтроллером используется устройство ADUM1250ARWZ фирмы Analog Devices, которое позволяет решить сразу три задачи: повышение общей помехоустойчивости изделия, защита цифровых устройств с малым входным сопротивлением от повышенного напряжения и сопряжение цепей с разными уровнями напряжения [6].

Для контроля разряда СК используется электронная нагрузка, благодаря которой регулирование тока СК осуществляется при помощи реостата. Заряд СК происходит при помощи стабилизированного источника питания, построенного на микросхеме LM2596S. Данный модуль обеспечивает возможность регулировки как выходного напряжения (от 1,25 В до 30 В), так и тока (от 0 А до 3 А), имеет низкий уровень пульсаций (до 50 мВ) и высокий КПД (до 92%). Для повышения входного сопротивления с целью предотвращения разряда СК на измеренную цепь в устройство был добавлен инструментальный усилитель AD623. Использование такого усилителя позволяет уменьшить погрешность измерений фактической емкости СК.

Важной характеристикой любого источника тока является эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Для измерения данной величины был использован миллиомметр YR1035+.

Полученные в ходе измерений значения контролируемых величин отображаются на дисплее, расположенном в самом устройстве, а также передаются на персональный компьютер по интерфейсу UART. Переданные на компьютер пользователя данные экспортируются в Excel и представляются в виде графиков зависимости падения напряжения от времени. Данное решение является простым и наглядным способом отображения результатов измерений. Далее по полученным графикам путем несложных вычислений можно определить фактическую емкость исследуемых СК. Таким образом, для любого химического источника тока при помощи описанного комплекса можно определить характер его заряда и разряда, вычислить электрическую емкость и сделать вывод о соответствии СК своему назначению в конкретном устройстве.

Метод исследования и анализ результатов эксперимента

Наиболее достоверный способ произвести входной контроль качества СК заключается в полной фиксации параметров разряда и заряда в течение продолжительного времени. Такой способ определения параметров называется циклической вольтамперометрией и является одним из основных методов потенциодинамических электрохимических измерений в электрохимии. Измерения можно проводить неоднократно, фиксируя изменение значений с течением времени. Разряд большими токами повышает мощность, однако при этом может теряться значительная часть энергии на сопротивлениях электролита и электродов, а двойной слой СК не успеет разрядиться до конца [7]. Поэтому заряд и разряд СК целесообразно проводить при небольших значениях тока.

На рис.2 представлены графики заряда и разряда нескольких СК одинаковой емкости, полученные при помощи разработанного программно-аппаратного комплекса. Заряд и разряд СК производились при постоянных значениях тока, равных 560 мА и 300 мА соответственно. Данные значения были определены в ходе экспериментов опытным путем для получения наиболее линейной зависимости напряжения СК от времени в течение всего цикла. Построение графиков осуществлялось на основе результатов измерений напряжения, проводимых с периодом в одну секунду.

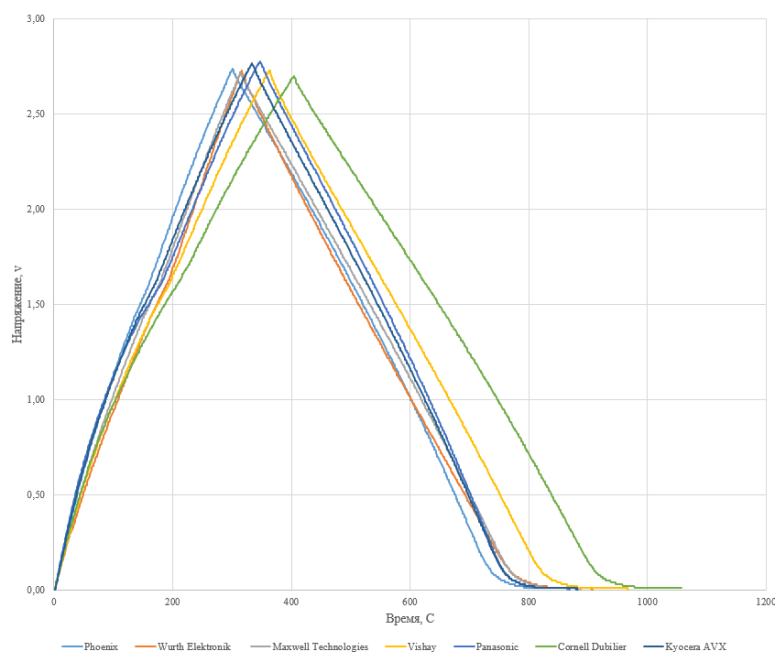


Рис. 2. Графики заряда и разряда нескольких СК

На полученных графиках можно выделить три характерных участка:

- начальный участок, соответствующий заряду СК током равным 560 мА до номинального значения напряжения 2,7 В;
- участок с равномерным падением напряжения, отображающий процесс полного разряда СК на переменную нагрузку током 300 мА;
- конечный участок, соответствующий разряду СК на резистор (датчик тока) переменной нагрузки, что связано с особенностями схемотехнической реализации комплекса.

Для проведения эксперимента в реальных условиях эксплуатации были выбраны СК разных моделей одинаковой емкости номиналом 50 Ф. Представленные результаты для каждой модели являются средним значением, полученным при исследовании трех одинаковых СК. В таблице 1 приведены основные расчетные параметры СК.

Таблица 1

Расчетные параметры СК

| Производитель | Феникс | Würth Elektronik | Maxwell Technologies | Vishay | Panasonic | Cornell Dubilier | Kyocera AVX |
|--------------------------|--------|------------------|----------------------|--------|-----------|------------------|-------------|
| I разряда, (мА) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| t заряда, (с) | 451 | 475 | 473 | 475 | 418 | 527 | 434 |
| Q, (мА·ч) | 37,58 | 39,58 | 39,41 | 39,58 | 34,83 | 43,91 | 36,16 |
| E, (мА·ч) | 0,0533 | 0,00518 | 0,0544 | 0,053 | 0,0493 | 0,0606 | 0,0506 |
| Энергия, (J) | 191,7 | 186,6 | 196 | 192,3 | 177,4 | 218,3 | 182,3 |
| Фактическая емкость, (F) | 52,59 | 51,20 | 53,78 | 52,75 | 48,66 | 59,88 | 50,02 |
| Заявленное ESR, (мОм) | – | 20 | 10 | 15 | 15 | 25 | 15 |
| Измеренное ESR, (мОм) | 13 | 11,1 | 10,3 | 11,8 | 6,4 | 13,4 | 10,3 |

Чтобы удовлетворить требованиям технического задания, необходимо на этапе проектирования радиоэлектронной аппаратуры определить наиболее подходящие СК для СЭП. С этой целью были исследованы реальные параметры нескольких зарубежных и одного отечественного СК. Из представленных в таблице производителей были выбраны следующие модели: SKF-50-2V7 Феникс, 850617022002 Würth Elektronik, BCAP0050 P270 X01 Maxwell Technologies, MAL222551008E3 Vishay, 667-EEC-HL0E506 Panasonic, DGH506Q2R7 Cornell Dubilier и SCCV40B506SRB Kyocera AVX. Стоит отметить, что емкость выбранных СК зависит как от условий и времени хранения, так и от технологических факторов их производства.

К важнейшим параметрам СК можно отнести фактическую емкость и эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) [8]. Поскольку одним из существенных недостатков СК является низкие значения напряжения, для повышения мощности СК подключают последовательно. При этом большое влияние на общую надежность оказывают разброс ёмкости и сопротивлений утечки СК, поскольку напряжения на них будут отличаться.

Значение ESR во многом определяет энергопотребление и эффективность СК. Высокое значение ESR ухудшает производительность из-за потерь рассеиваемой мощности. В случаях, если разрабатываемая аппаратура работает с большими токами заряда-разряда, рассеиваемое тепло может вызвать значительное повышение температуры, что повлияет на работу СЭП, вызовет ускоренную деградацию СК, а также может нарушить тепловой режим устройства, в котором эти СК применяются. Рост температуры на каждые 10 градусов относительно номинальной температуры снижает срок службы СК в 2-3 раза [9].

Проведенные испытания показали, что реальные технические характеристики всех исследуемых СК отличаются от своих номинальных значений. Однако следует учитывать, что для каждой модели имеется определенный диапазон допустимых отклонений от указанного номинала, где находятся все действительные значения параметров исправных СК. В связи с этим несмотря на имеющиеся отклонения полученные в ходе эксперимента значения параметров СК попадают в указанный диапазон и могут считаться допустимыми.

Наиболее точным СК из предоставленных моделей является образец фирмы Kyocera AVX. Наибольшее отклонение от заявленных производителем технических характеристик показал СК фирмы Cornell Dubilier. Из этого можно заключить, что для высоконадежного оборудования и СЭП, требующих постоянного длительного поддержания заданного уровня напряжения, наиболее предпочтительно использовать СК фирмы Kyocera AVX. Однако этот вывод справедлив лишь для отдельных СК, взятых к сравнению, и не имеет отношения ко всем линейкам данных производителей. Тем не менее, описанный метод с использованием программно-аппаратного комплекса может быть применен для проведения более обширных исследований с использованием большой выборки СК каждой модели. Наиболее предпочтительно все же применять данный метод и разработанный программно-аппаратный комплекс для проведения входного контроля химических источников тока перед непосредственным их употреблением в производстве радиоэлектронной аппаратуры.

Выводы

Входной контроль комплектующих и материалов позволяет производителям аппаратуры выявить недостатки, свойственные

компонентам того или иного поставщика, заранее принять необходимые меры для повышения надежности компонентов еще до возможного отказа аппаратуры. Несмотря на наличие выходного контроля продукции на производстве электроизделий, в аппаратуру могут попасть дефектные компоненты. Поэтому так важно производить входной контроль для оборудования высокой надежности.

В рамках работы был разработан программно-аппаратный комплекс для анализа и диагностики СК, который можно применять для проведения входного контроля и экспериментальных испытаний химических источников тока. С его помощью были проведены измерения заряда и разряда нескольких моделей СК одинакового номинала, на основе которых была рассчитана фактическая емкость СК. Данный программно-аппаратный комплекс позволяет эффективно и точно производить входной контроль параметров СК. Это позволит уменьшить риск выхода из строя систем электропитания высоконадежной аппаратуры, построенной на СК, прошедших допусковой контроль на разработанном комплексе.

В будущем планируется разработать усовершенствованную версию представленного программно-аппаратного комплекса, которая будет включать следующие модификации:

- **увеличение зарядного и разрядного тока для исследования степени деградации параметров СК в течение длительного времени наработки;**
- **замена электронной нагрузки на программируемую, которая позволит разрезать СК постоянным током, постоянной мощностью и постоянным сопротивлением;**
- **переход с платформы Arduino на STM32 для увеличения скорости и точности работы комплекса.**

Помимо перечисленных аппаратных улучшений необходимо разработать программные алгоритмы для более точной диагностики и анализа различных химических источников тока, а также для повышения степени автоматизации процессов измерения фактических параметров исследуемых элементов. Статья подготовлена в рамках выполнения работы FEWM-2023-0014.

Список литературы

1. *Медведев А.М., Васильев Ф.В., Сокольский М.Л.* Диагностический контроль электрических соединений в авионике. Практическая силовая электроника. – 2013. № 1. – С. 42-44.

2. Ванцов С.В., Медведев А.М. Надежность входного контроля. Надежность и качество сложных систем. – 2015. № 4. – С. 91-100.
3. Бекишев А., Медведев А. Входной контроль компонентов, Компоненты и технологии №10. 2008. С. 161-164.
4. Бесецкий А.В., Емельянов В.В., Озеров А.И. [и др.]. Входной контроль и сертификационные испытания интегральных схем запоминающих устройств иностранного производства для комплектования космических аппаратов. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2008. – С. 123-125.
5. Развеева И.Ф. Аппаратная платформа Arduino, Строительство и архитектура – 2015. Современные информационно-экономические технологии: тенденции и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. 2015. – С. 146-148.
6. Блинов Г.А., Борисов А.Г., Любимов А.В. Технология плакированных полиамидов в производстве плоских электромагнитных компонентов. Известия высших учебных заведений. Электроника. 2013. – С. 13-17.
7. Атаманюк И.Н., Вервикишко Д.Е., Саметов А.А., Тарасенко А.Б., Школьников Е.Ю., Янилкин И.В. Исследование перспективных электродных материалов суперконденсаторов для применения в энергетических установках на основе возобновляемых источников энергии, Международный научный журнал альтернативная энергетика и экологии. 2013. – С. 92-98.
8. Соломенцев К.Ю., Дьяченко В.Б., Миляков В.Г. [и др.]. Определение параметров математической модели конденсатора по результатам двух экспериментов. Информационные технологии в науке и образовании. 2022. – С. 116-119.
9. Азупов В.В., Разуваев Ю.Ю., Чайка М.Ю., Чопоров О.Н. Особенности активной балансировки напряжений суперконденсаторов, Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. – С. 85-88.

SOME DATA ON THE USE OF NEW BUILDING MATERIALS AND STRUCTURAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF BRIDGECONSTRUCTION AND WAYS TO FURTHER

N.V. Moskalenko, postgraduate student,

I.V. Kovkin, master of science,

Yu. A. Kremzukov, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent.

Research Institute of Automatics and Electromechanics

"NII AEM TUSUR", Tomsk, Russia

moskalenko@niiaem.tomsk.ru

Abstract. The purpose of this work is to obtain a methodology and technical means for conducting input control of chemical current sources using the example of supercapacitors. The article presents an experimental method for determining the main characteristics of storage devices by conducting controlled charge-discharge cycles in an automated mode using several models of supercapacitors of various production. A specialized software and hardware complex was developed and tested for the research. The results obtained in the course of measurements and calculations indicate the need for input quality control and experimental testing of supercapacitors used in highly reliable power supply systems.

Keywords: incoming quality control, chemical sources of electric current, supercapacitors, power-supply system, chemical power-supply, complex for analysis and diagnostics, automation of measurements, highly reliable equipment, production of the radio-electronic equipment

**AN INTERDISCIPLINARY
MEDICAL-TECHNOLOGY-ENGINEERING PRELIMINARY
RESEARCH WITH THE AIM OF TECHNICAL
DEVELOPMENT OF RADIOTHERAPY IN THE TREATMENT
OF VARIOUS TYPES OF CANCERS**

Roxana Sadat Mirshafa¹, BSc. Student,
Aida Shamsizadehhayatdavoodi², Specialist degree,
Aida Saeidi Naibin³, BSc.,
Kazem Reza Kashyzadeh^{4,*}, Professor, Ph.D.

¹Department of Biology, Cellular and Molecular Biology, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

²Pharmacy, First Moscow State Medical University: FMSMU, Sechenovo University, Moscow, Russian Federation

³Department of Microbiology, Cellular & Molecular Biology, Islamic Azad University, Tehran branch, Tehran, Iran

⁴Academy of Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

*reza-kashi-zade-ka@rudn.ru

Abstract. The main aim of this pre-research is to know the different aspects of cancer treatment by radiation therapy. For this purpose, a small team consisting of medical, technology, and engineering disciplines was gathered. After understanding the function of this treatment as well as the process of prescribing it for the patient and other factors, the future research directions of this group were determined. Nevertheless, the master plan of the supervisor of this international group is the technical development of this cancer treatment and its mechanization more than before in order to increase efficiency, minimize the time required for programming specific to each patient's condition, and ultimately improves accuracy.

Keywords: Cancer; Cancer treatment; Radiotherapy; CT; Radiation intensity; Treatment sessions

Nomenclature

| Phrase | Abbreviation |
|-------------------------|--------------|
| Gray | Gy |
| computerized tomography | CT |
| linear transfer energy | LTE |

| | |
|---|-------|
| external beam radiotherapy | EBRT |
| Three-dimensional conformal radiation therapy | 3DCRT |
| Intensity-Modulated radiation therapy | IMRT |
| Image-guided radiation therapy | IGRT |
| Stereotactic body radiotherapy | SBRT |
| Volumetric modulated arc therapy | VMAT |

Introduction

Cancer, as the second cause of death in the world, is the result of the unlimited proliferation of differentiated cells. In general, there is a balance between the death of cells and their proliferation in a healthy human body. On the other hand, if the rate of cell proliferation in a part of the body exceeds cell death, then it causes a person to suffer from a special disease called cancer. Cancer treatment (e.g., chemotherapy, radiotherapy, gene therapy, and surgery, etc.) has made significant progress and changes in the last hundred years, which has made many cancers curable. In the meantime, one of the most important and effective methods of cancer treatment is radiotherapy. In this type of treatment, radiation is used as a physical factor affecting the division and differentiation of cells, which causes the destruction of cancer cells by affecting the genetic content and other vital parts of cell function. However, one of the significant cancers is the effect of radiation on the body's normal cells. This issue has led scientists to have a special focus on this cancer treatment and very extensive studies have been conducted and are still ongoing, which is indicated by the number of articles published in this field recently. In this review, the function of radiotherapy in destroying cancer cells, the types of radiation used in radiotherapy, the types of methods and techniques used in this treatment, and the special characteristics of each of them were discussed. Moreover, one of the most used devices in radiotherapy and its features were discussed and the future research path was presented in order to improve the performance of this treatment method and the effect of its parameters.

Radiotherapy

Radiotherapy is one of the most important and effective methods of cancer treatment. Medical statistics show that about 50% of people with cancer receive different regimens of radiotherapy during their

treatment [1]. However, some sources have reported this amount as about 67% [2]. In any case, these numbers indicate the high importance of this method in the treatment of patients. Radiotherapy can be prescribed as a unique treatment for the patient. However, in most cases, this technique is recommended to the patient as an adjuvant treatment along with other methods such as chemotherapy and surgery [1, 3].

Mechanism of cancer treatment by radiotherapy

In general, the goal of all types of cancer treatment methods is to stop the innumerable division of cells, and this goal can be followed by various paths. The high-energy radiation emitted in this method can affect the division of cancer cells in two ways [2]:

1- It can lead to direct damage to the genetic content or DNA and other important molecules of the cell. As a result, the ability of the genetic content to multiply and replicate is lost, and in this way, the proliferation of cancer cells can be prevented.

2- High-energy radiation can cause the production of free radicals. In fact, free radicals are produced naturally in some cellular reactions, and the cell can cancel the effect of these radicals by using substances called antioxidants. But excessive and abnormal production of these free radicals causes the destruction of cancer cells. Therefore, radicals play an important role in preventing cancer and their presence in the body is essential.

Apart from the above, one of the biggest weaknesses of this treatment method is that high-energy radiation can also affect the normal cells of the body and lead to dysfunction of these cells in the body [2-4]. The effect of this negative property increases, especially on cells in the body that divide frequently [2]. However, the ability of normal cells to repair this damage is greater than cancer cells [3]. In general, in a normal and healthy cell, there are specific mechanisms for pathology and repair of genetic content whereas cancer cells are more sensitive to high-energy rays. Therefore, radiotherapy is usually held in the form of multiple sessions, so that in the intervals between sessions, the natural cells can complete their repair process. Meanwhile, cancer cells with a disorder in the repair process, lack this important cellular ability. Finally, multiple damages resulting from radiotherapy accumulate in the cancer cell and lead to cell death [4]. One of the well-known criteria used to evaluate the effectiveness of radiotherapy is the change in tumor volume. In other words,

the tumor is measured in the first and last session of radiotherapy, and the amount of tumor volume change is reported as a percentage [5]. For this purpose, the following equation is used:

$$\Delta V_{tumor}(\%) = \frac{V_{tumor,after\ TP} - V_{tumor,before\ TP}}{V_{tumor,before\ TP}} \times 100 \quad (1)$$

Figure 1 shows the changes in tumor volume before and after performing radiotherapy [5]. As it is clear from this figure, the tumor volume has decreased by about 22%. However, the tumor is there and can grow back. Therefore, this treatment has been auxiliary, and the patient must also undergo other treatments such as chemotherapy and surgery.

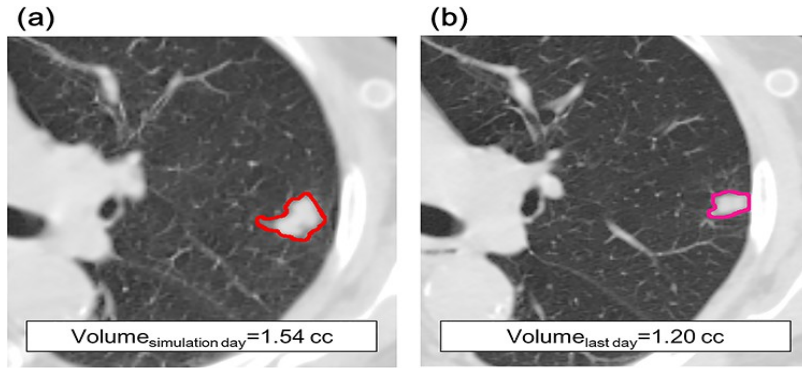


Fig. 1. Reduction of tumor volume by radiotherapy:
(a) tumor volume before radiotherapy and (b) tumor volume after performing radiotherapy [5]

The basic principles of prescribing radiotherapy

Another type of radiotherapy is prescribed for quick relief of tumor symptoms such as pain, bleeding, etc., which is called palliative radiotherapy. In this case, usually greater intensity is received by the patient during fewer sessions. The remarkable thing about this method is that the patients who undergo this treatment must have at least one month of life expectancy [1]. The measurement unit of the radiated ray is (Gy), which is equivalent to one joule of absorbed energy per kilogram of

tissue. The total intensity prescribed for a patient depends on the location of the tumor and its size, and in general, the stage of disease progression in the body. Moreover, this intensity is divided into several sessions to minimize damage to normal cells, side effects, and tissue toxicity due to radiation [1]. The number of these sessions depends on different parameters. Usually, for a number of malignancies, the intensity and number of sessions have been suggested by specialist doctors and device manufacturers, which are used as a catalog or as a first hypothesis for prescribing based on other parameters (Table 1) [6].

Table 1

The intensity and number of sessions proposed for different malignancies [6]

| Type of cancer | Treatment radiotherapy | | Palliative radiotherapy | |
|-----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Intensity (Gy) | Sessions No. | Intensity (Gy) | Sessions No. |
| Chest | 50 | 25 | Inapplicable | |
| | 40 | 15 | | |
| Lung (stage 1 & 2) | 54-60 | 3-8 | Inapplicable | |
| Lung (stage 3) | 60 | 30 | 30 | 10 |
| Rectum | 45 | 25 | 25 | 5 |
| | 50 | 30 | | |
| Prostate | 70 | 35 | Inapplicable | |
| | 60 | 30 | | |
| Mary | 50 | 25 | 30 | 10 |
| Head and neck | 70 | 35 | 8 | 1 |

Simulation session

As stated in the previous sections, the goal of radiotherapy is to destroy cancer cells with minimal damage to normal cells. To achieve this goal, one of the most important points that must be observed during radiotherapy is not to move the radiation site and produce a special treatment plan for each patient. The individual characteristics of the patient also have an effect on this treatment plan. Therefore, the first step before starting radiotherapy is to prepare clear and specific images of the tumor and determine its exact location, which is done in a session called a simulation session [7]. To this end, the most common imaging method

is Computerized Tomography scan, abbreviated as CT scan. In this method, a suitable 3D image is created by taking a large number of flat images of the tumor and combining them. The general purpose of holding a simulation session is to discover the best position for the patient and repeat this position in all treatment sessions.

Side effects of radiotherapy

Despite the advances in radiotherapy techniques and the reduction of side effects caused by radiation, patients are still affected by the complications of this treatment method. Side effects can be divided into two categories: early or acute side effects and late side effects. Early side effects usually appear during radiotherapy, a few hours or weeks after the treatment [8]. These side effects are less worrying and disappear faster. However, late side effects can generally appear after months and even years after the completion of radiotherapy. These side effects are usually harder to get rid of and reduce the quality of life of patients after recovery. Examples of this type of side effects include skin, heart, lung, digestive, etc. [8, 9]. In addition to the above, we can refer to secondary cancers that occur after primary cancer treatment as the dangerous side effects caused by radiation. Although secondary malignancies can also be caused by chemotherapy, radiation therapy also plays an important role in their occurrence. Secondary cancers have two peaks. The first peak point for the occurrence of these malignancies is three years after the end of radiotherapy, which leads to blood problems. The second peak usually occurs after ten years and leads to the creation and development of other tumors [10, 11]. In this regard, some cancers that can be treated by radiotherapy and some secondary malignancies after that are listed in Table 2 [10]:

Table 2

A list of primary cancers treated by radiotherapy and the problems of secondary cancers [10]

| Primary cancer | Secondary cancer |
|--------------------|-------------------------|
| Hodgkin's lymphoma | Chest, thyroid, stomach |
| Breast Cancer | Lung, chest, blood |
| Testicular cancers | Blood, pelvis |
| Cervical cancers | Blood, rectum |
| Childhood cancers | Thyroid, chest, blood |

Accordingly, secondary malignancies are mostly related to blood conflicts and chest conflicts, which indicates the greater sensitivity of these two tissues to radiation. In addition to physical complications, it has been reported that about 80% of patients experience fatigue as an early complication after radiotherapy [12]. One of the causes of fatigue is anemia in the patient, which should be treated. Moreover, other causes of this problem, such as hypothyroidism or malabsorption of vitamin B12 should also be investigated [1, 12].

Different rays used in radiotherapy

The rays used in radiotherapy include two groups. The first group is electromagnetic rays, which are usually introduced with X-rays and gamma rays, and are considered the most common rays in cancer treatment [2]. These rays are also called ionizing rays because they have the ability to break the bonds between atoms. It is difficult to distinguish between X-rays and gamma rays, but as one of the debatable differences, X-rays are produced by the movement of electrons by devices and actually originate from electrons. This is despite the fact that gamma rays originate from the nucleus and originate from the decay of the nucleus of radioactive materials, such as cesium and radium [3]. Most radiotherapy devices use photons for treatment. Also, these rays can penetrate deeply into the body. The second group of rays used in radiotherapy are particles, including electrons, protons, and neutrons [3]. Unlike photon rays, electron rays are special for skin or tumors close to the surface of the body because this type of rays cannot penetrate deep into the body. With the advancement of science in the field of radiation containing particles, proton rays have been used, which, in addition to penetrating deeper into the body, cause maximum energy deposition in cancer cells. It also causes minimal damage to healthy and natural tissues. In some cases, the tumor containing cancer cells is located in important parts of the body, which, in addition to treating cancer, preserving normal and healthy parts is also very important, e.g., when tumors are placed next to vital organs such as the spinal cord. As a result, due to the unique characteristics of proton rays, the use of these rays is highly practical [3]. Finally, radiation containing particles, due to having a higher LTE than photon rays, injects more energy into the genetic content of cancer cells, which can cause more damage to the tumor during the same time.

Types of radiotherapy techniques

In general, there are two methods to deliver radiotherapy rays to the tumor. In the first method, which is called EBRT, the beam is irradiated to the designated place from outside through a radiotherapy device (the most common type of radiotherapy). The second method is internal radiotherapy, which is also called brachytherapy. In this method, radioactive sources are placed inside special grains and reach the tumor site through intravenous injection and leave their effect on it [3]. Since the future goal of this research group is to develop the first method, a brief description of external radiotherapy techniques was discussed as follows:

3DCRT

At the beginning of the radiotherapy treatment, two-dimensional images were prepared, and as a result of examining these images, the rays were sent to the tumor unidirectionally from one side. While with 3DCRT, three-dimensional images of the tumor can be prepared and the exact location of the tumor as well as the vital organs around the tumor can be identified. Therefore, the rays are sent to the tumor from several directions [13].

IMRT

In this technique, the device creates rays in an irregular shape that has the least collision with natural tissues and still matches the shape and size of the tumor. One ray can be divided into more micro-rays and the intensity of each micro-ray can be adjusted individually, which makes the radiotherapy hit tumors that have complex shapes, and it is also possible to send variable intensity of radiation to the tumor [14]. As a result, we can reduce the intensity received by healthy tissues and increase the intensity received by the tumor [15].

IGRT

As mentioned, one of the most important factors affecting the effectiveness of radiotherapy is the stability of the radiation site during treatment sessions. With the help of the simulation session and the body fixing devices, the body position can be repeated during the sessions. But the internal movements of body organs such as breathing or filling and emptying of the bladder can also change the location of the tumor during treatment sessions. So, it can be said that there is always a risk of

changing the location of the tumor and radiation to healthy organs and tissues. The above technique is used to increase the accuracy of the radiation site and prevent radiation effects on natural organs. IGRT can prevent unwanted radiation to organs due to body movements. As a result, the accuracy of radiation has increased. In summary, this technique is used as a confirmation of the repetition of radiation in the place where the radiation is needed, and it also prevents the occurrence of errors in radiotherapy [15]. Before starting a radiotherapy session, according to the image that is prepared of the patient's current condition and comparing it with the image prepared on the simulation day, the patient's condition may be modified many times to reach the desired and repeatable condition.

SBRT

In some cases, cancerous tumors are small tumors in specific locations. This technique provides the ability for treatment to send very high intensity to tumors in a single session and cause them to quickly disappear or reduce their volume. Due to the high intensity of radiation, the healthy tissues around the tumor will definitely be damaged, which can be ignored due to the small volume of the target tissue in this technique [3]. This technique also helps when people with cancer have an underlying disease or are unable to undergo surgery to remove tumors for some reason, to get relatively similar results to surgery, as well as life expectancy and quality of life [16].

VMAT

The main basis of this technique is to expose the patient to rays from a rotating radiation source, which causes very coherent and more precise rays to be radiated to all parts of the tumor and the patient receives the radiation as a full 360 degrees angle. One of the other useful features of this technique is the reduction of treatment time and can greatly help the treatment process [14].

Summary and specifying the direction of the group's future research

Following the above literature review, several points are noteworthy. The most important of them is cancer diagnosis and based on that, choosing the right type of radiotherapy technique. To this end, all

the individual characteristics of the patient and the characteristics of his/her disease should be considered, and the best decision should be made to choose the treatment method [16]. In addition, the accuracy of measuring the tumor volume and diagnosing its exact location is very important. However, it is necessary to keep the radiation side to the damaged tissue caused by cancer cells constant during the treatment period. But this subject is not 100% and it is necessary to edit the settings of the device in each session. Therefore, combination of several radiotherapy techniques will work best in cancer treatment. Hence, various directions for future research are of interest to this research team:

1- Development of smart image processing program to measure tumor volume and determining the exact three-dimensional coordinates of the tumor along with adjacent tissues. To this end, for future research, a specific cancer is considered, and different CT images are obtained from different patients. MATLAB coding along with different types of image filtration are used for tumor detection and measurement. Finally, the numerical achievements will be compared with the interpretation of CT results by doctors so that the smart program can be developed. The authors believe that if automated CT can be performed at the end of each radiotherapy session and with the help of data extraction by this hypothesis, simulation and patient program can be updated, it can have a much greater impact on cancer treatment. In addition, writing the patient's program by the doctor is very time-consuming, and by using this smart program, this time can be reduced and the patient's treatment can be started earlier.

2- Presenting a modern algorithm to determine the number of radiotherapy sessions and its intensity according to individual parameters and disease characteristics. First, it is necessary to collect the parameters involved in the patient's treatment plan. For example, in the personal parameters, it is possible to refer to the gender of the patient, age of the patient, underlying diseases, food or drug allergies, use of certain drugs, etc. In the features of the disease, one can pay attention to the type of cancer, its location, tumor size, geometry and shape of the tumor, etc. Furthermore, various engineering techniques are used to determine the relationship between these parameters and the intensity and number of radiotherapy sessions.

3- In order to reduce the time of adjusting the treatment plan for the patient, it is necessary to use the results obtained for other patients

and in other words, they can be generalized for the new patient. For this purpose, it is necessary to specify the effect of each of the parameters mentioned in the previous item on the modification of the program as a percentage. This can be done by collecting various treatment data and applying data mining techniques.

The items described above are not the only research ideas of this team, but these items are in order of priority for further research and due to the prevention of disclosure of information before their registration, the authors cannot give more details about their future research.

References

1. *Chaput G. & Regnier L.* (2021). Radiotherapy: Clinical pearls for primary care. *Canadian Family Physician*, 67(10), 753.
2. *Gianfaldoni S., Gianfaldoni R., Wollina U., Lotti J., Tchernev G. & Lotti T.* (2017). An overview on radiotherapy: from its history to its current applications in dermatology. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 5(4), 521.
3. *Baskar R., Lee K.A., Yeo R. & Yeoh K.W.* (2012). Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *International journal of medical sciences*, 9(3), 193.
4. *Maani E.V. & Maani C.V.* (2022). Radiation therapy. In *StatPearls* [Internet]. StatPearls Publishing.
5. *Vu N., Onishi H., Saito M., Kuriyama K., Komiyama T., Marino K. ... & Sano N.* (2020). Tumor volume shrinkage during stereotactic body radiotherapy is related to better prognoses in patients with stage I non-small-cell lung cancer. *Journal of Radiation Research*, 61(5), 740-746.
6. *Gunderson L.L. & Tepper J.E.* (2015). *Clinical radiation oncology*. Elsevier Health Sciences. ISBN: 0323240984, 9780323240987.
7. *Gardner S.J., Kim J. & Chetty I.J.* (2019). Modern radiation therapy planning and delivery. *Hematology/Oncology Clinics*, 33(6), 947-962.
8. *Barazzuol L., Coppes R.P. & van Luijk P.* (2020). Prevention and treatment of radiotherapy-induced side effects. *Molecular oncology*, 14(7), 1538-1554.
9. *Bentzen S.M.* (2006). Preventing or reducing late side effects of radiation therapy: radiobiology meets molecular pathology. *Nature Reviews Cancer*, 6(9), 702-713.

10. *Majeed H. & Gupta V.* (2022). Adverse effects of radiation therapy. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
11. *Hoskin P.* (2002). The price of anticancer intervention. Secondary malignancies after radiotherapy. *The Lancet. Oncology*, 3(9), 577-578.
12. *Dilalla V., Chaput G., Williams T. & Sultanem K.* (2020). Radiotherapy side effects: integrating a survivorship clinical lens to better serve patients. *Current Oncology*, 27(2), 107-112.
13. *Aras S., Ikizceli T. & Aktan M.* (2019). Dosimetric comparison of three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) and intensity modulated radiotherapy techniques (IMRT) with radiotherapy dose simulations for left-sided mastectomy patients. *European journal of breast health*, 15(2), 85.
14. *Teoh M., Clark C.H., Wood K., Whitaker S. & Nisbet A.* (2011). Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice. *The British journal of radiology*, 84(1007), 967-996.
15. *Avgousti R., Antypas C., Armpilia C., Simopoulou F., Liakouli Z., Karaiskos P. ... & Zygogianni A.* (2022). Adaptive radiation therapy: When, how and what are the benefits that literature provides?. *Cancer/Radiothérapie*, 26(4), 622-636.
16. *Donovan E.K. & Swaminath A.* (2018). Stereotactic body radiation therapy (SBRT) in the management of non-small-cell lung cancer: Clinical impact and patient perspectives. *Lung Cancer: Targets and Therapy*, 13-23.

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ БИОИСКУССТВЕННОЙ ПЕЧЕНИ ДЛЯ ВОПРОСОВ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Ганьшин А.С.

1042210064@pfur.ru

Андриков Д.А., к.т.н., доцент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Andrikov-da@rudn.ru

Аннотация. Моделирование биоискусственной печени является перспективной научной областью, которая может привести к созданию более эффективных методов лечения заболеваний печени и уменьшению риска отторжения при трансплантации. Эта область находится на стадии исследований, и ее достижения могут улучшить понимание физиологических процессов в печени, что также может привести к разработке новых методов лечения. Однако для успешного применения биоискусственной печени в медицинской практике необходимо продолжать научные исследования и проводить тестирования на большом числе пациентов. В целом, моделирование биоискусственной печени представляет большой потенциал для улучшения лечения заболеваний печени и может иметь значительный вклад в медицинскую науку.

Ключевые слова: биоискусственная печень, моделирование, робастность, параметры управления, оптимизация

Введение

Биоискусственная печень – это устройство, разработанное для замены функций печени у пациентов с тяжелой печеночной недостаточностью. Она является прототипом настоящей печени и состоит из тканей или клеток, которые могут выполнять функции печени, включая обработку и фильтрацию токсинов, синтез белков, участие в процессе пищеварения и многое другое. Эти клетки, обычно печеночные, могут вырабатывать необходимые для организма вещества, такие как белки, желчь, глюкозу и другие. Биоискусственная печень является альтернативой обычной печени и может использоваться для временной помощи пациентам в ожидании донорской печени или как дополнение к лечению [1, 2].

Основная часть

Робастная система для печени

Искусственная печень является одним из наиболее перспективных искусственных органов, предназначенных для замены функции естественной печени. Она может выполнять функции обмена веществ, детоксикации и синтеза белков, что сделало ее привлекательной альтернативой трансплантации печени. Однако одной из главных проблем искусственной печени является ее ненадежность, из-за чего устройство может выходить из строя, что приводит к серьезным последствиям для здоровья пациента.

Для того чтобы решить эту проблему, разработана робастная система алгоритмов функционирования биосовместимых устройств искусственной печени. Эта система включает в себя ряд алгоритмов, которые позволяют следить за состоянием устройства, контролировать его работу и предотвращать отказы.

Один из основных алгоритмов функционирования биосовместимых устройств искусственной печени – это алгоритм контроля за качеством крови. С помощью специальных датчиков и системы мониторинга алгоритм определяет концентрацию различных компонентов крови внутри устройства и принимает соответствующие меры.

Другой важный алгоритм – это алгоритм автоматической диагностики неисправностей. Он позволяет автоматически обнаруживать неисправности и принимать меры для их устранения, чтобы предотвратить отказ устройства.

Также на устройствах искусственной печени устанавливаются алгоритмы, контролирующие работу насоса, системы очистки и уровня кислорода внутри устройства. Все эти алгоритмы позволяют биосовместимым устройствам искусственной печени стать более надежными и безопасными для пациентов [3, 4].

Параметры управления биоискусственной печени

Параметры управления биоискусственной печенью включают:

- 1) Объем и скорость протекания крови через устройство: Управление скоростью и объемом протекания крови через биоискусственную печень является важным параметром. Как правило, объем крови в пациенте, который проходит через биоискусственную печень, составляет 10% от общего объема крови.

2) Концентрация глюкозы и других метаболитов: Необходимо контролировать уровень глюкозы и других метаболитов, таких как аминокислоты и мочевины в крови, чтобы поддерживать нормальные уровни метаболизма в организме.

3) Управление процессом детоксикации: Биоискусственная печень может удалять токсины, такие как аммиак и билирубин, из крови. Этот процесс должен быть контролируемым и безопасным для организма.

4) Управление процессом синтеза белка: Биоискусственная печень должна выполнять функцию синтеза белка. Необходимо контролировать этот процесс, чтобы поддерживать нормальный уровень белка в крови и предотвращать отрицательные последствия.

5) Мониторинг процесса функционирования устройства: Важно контролировать работу биоискусственной печени, чтобы обеспечить его стабильную работу и предотвратить потенциальное повреждение. Некоторые параметры, которые необходимо мониторить, включают температуру, давление и скорость потока крови, pH и газы крови.

Математическая модель искусственной печени

Математическая модель искусственной печени (ИП) может использоваться для описания ее функции и оптимизации процесса. Она включает в себя физические и химические процессы, происходящие в системе, а также физиологические параметры, связанные с функциями печени [5].

Модель может включать следующие параметры:

- 1) Объем искусственной печени
- 2) Параметры крови (плазменный объем, концентрации аммиака и других токсинов, плазменный белок)
- 3) Физические свойства компонентов системы, такие как скорость потока крови, коэффициент трансферта массы
- 4) Химические реакции, происходящие между кровью и искусственной печенью
- 5) Параметры, связанные с регенерацией тканей печени (такие как скорость диффузии и плотность клеток).

Моделирование может использоваться для оптимизации работы ИП, определения оптимальных доз лекарств и режимов терапии, а также для разработки новых технологий и конструкций ИП.

Также для построения математической модели печени необходимо учитывать её анатомическую структуру, физиологические функции и особенности метаболических процессов, происходящих в ней.

Моделирование для оптимизации работы искусственной печени

Искусственная печень используется для поддержки функций печени у пациентов с острым или хроническим заболеванием. Она может быть использована в качестве временной меры до трансплантации печени или для длительной поддержки функций печени. Однако, оптимизация работы искусственной печени может потребовать создания моделей для оценки эффективности и подбора оптимальных параметров.

Моделирование искусственной печени может включать в себя разработку математических моделей обмена веществ, диффузии, фильтрации и транспорта веществ в печени. Эти модели могут быть использованы для определения оптимальных параметров работы искусственной печени, таких как скорость потока плазмы, концентрация кислорода, pH и концентрация лекарственных препаратов.

Кроме того, использование компьютерного моделирования может помочь в определении оптимальной конструкции искусственной печени, включая конфигурацию нитей и площадь обмена на поверхности материала для оптимальной эффективности.

Другим подходом к оптимизации работы искусственной печени является использование интеллектуальных систем контроля. Эти системы могут использоваться для автоматического регулирования параметров работы искусственной печени в реальном времени на основе данных об изменении показателей функции печени у пациента.

В целом, использование моделирования и оптимизации для работы искусственной печени может помочь усовершенствовать ее эффективность и повысить ее значение в лечении пациентов с заболеваниями печени [6, 7].

Построение математической модели печени

Печень – это один из самых важных органов человека, отвечающий за многие биохимические процессы, такие как метаболизм и обезвреживание токсинов.

Построение математической модели печени позволяет лучше понять ее функционирование и реакцию на изменения внешних условий, таких как введение лекарственных препаратов.

Математическая модель печени может быть построена на основе системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы обмена веществ и транспортировку веществ в печени.

Другой подход к построению математической модели печени предполагает использование метода математического моделирования на основе механизма. В этом подходе модель представляет собой совокупность механизмов, действующих внутри клеток печени, таких как работа ферментов и транспортные механизмы.

Математические модели печени имеют широкий спектр применения, от разработки новых лекарств и оценки их эффективности до моделирования болезней печени и поиска лучших способов их лечения [8, 9].

Дифференциальное уравнение для построения модели печени

Дифференциальное уравнение для моделирования функционирования печени может быть записано в виде:

$$dL/dt = Q_{in} - Q_{out},$$

где L – количество некоторого вещества (например, глюкозы) в печени, t – время, Q_{in} – скорость поступления вещества в печень, Q_{out} – скорость выведения вещества из печени.

Это уравнение описывает изменение количества вещества L в печени во времени, а также зависимость этого изменения от входящих и исходящих потоков. Входящие потоки могут быть связаны с пищевым приемом и пищеварением, а исходящие с метаболическими процессами и выделением продуктов обмена.

Для более точной модели печени могут использоваться дополнительные переменные, такие как концентрация инсулина или гормона роста, которые могут влиять на скорость обмена веществ в печени [10].

Выводы

1. Модель комплексная, сложная
2. Модель обеспечит проектирование программного и аппаратного объекта (реализации).

Для целей приборостроения необходимо собрать требование по биосовместимости, провести анализ реестра зарегистрированных медицинских изделий (FDA).

Например:

| Устройство | Краткое описание |
|---|--|
| K201039 HepaFat-AI | Представляет собой программную платформу, предназначенную для автоматического анализа наборов данных магнитно-резонансной томографии (MPT) с целью получения оценки объемной доли жира в печени пациента (VLFF). |
| DEN200055 GI Genius | Интеллектуальный эндоскопический модуль GI Genius™ - это первая на рынке автоматизированная система обнаружения полипов с использованием искусственного интеллекта. https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/gastrointestinal-artificial-intelligence/gi-genius-intelligent-endoscopy.html |
| K203225 Aquilion ONE (TSX-306A/3) V10.4 With Spectral Imaging System | Многослойный спиральный компьютерный томограф для всего тела, состоящий из портала, кушетки и консоли, используемой для обработки и отображения данных. https://global.medical.canon/products/computed-tomography/aquilion_one_genesis_technology |
| K173420 Radiomics App V1.0 | Радиомические данные потенциально могут выявить характеристики заболеваний, которые невозможно оценить невооруженным глазом. Центральная гипотеза радиомики заключается в том, что отличительные алгоритмы визуализации количественно оценивают состояние заболеваний и тем самым предоставляют ценную информацию для персонализированной медицины. <ul style="list-style-type: none"> • Пакет матлаб https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51948-radiomics • Радиомика https://www.radiomics.io/ |

| | |
|---|---|
| K172385 Clarius Ultra- sound System | Портативный ультразвуковой сканер https://clarius.com/ |
| K170747 Syngo Appli- cation Soft- ware | Простой и доступный просмотр изображений https://www.siemens-healthineers.com/medical-imaging-it/advanced-visualization-solutions/syngo-fastview |
| K170069 AmCAD-UV | AmCAD это программное устройство, предназначенное для количественной оценки и классификации данных об интенсивности ультразвукового излучения, полученных с помощью ультразвуковых систем и отображения пульсирующих сигналов с цветовой кодировкой с пониженным уровнем шума. https://www.amcadbiomed.com/product/future_detail/2 |
| K161625 PixelShine | Программное обеспечение для обработки изображений обеспечивает получение четких и естественных КТ-изображений благодаря глубокому обучению. https://www.fujifilm.com/ru/ru/healthcare/x-ray/fct/fct-pixelshine/clinical |

Заключение

На сегодняшний день остается проблемой нехватка донорских органов, в частности печени. Эта проблема носит глобальный характер, и одним из способов ее решения является биоискусственная печень. Однако необходимо отметить, что моделирование биоискусственной печени сейчас находится на стадии исследований, и до ее практического применения в клинической практике остается долгий путь. В дальнейшем, для успешного внедрения биоискусственной печени в практику медицинского лечения, необходимо продолжать научные исследования и тестирования на крупных группах пациентов. В целом, приборостроение для искусственной печени является сложной и многогранной задачей, включающей в себя использование различных технологий и методов. Именно поэтому разработка искусственной печени является важным направлением в медицинской науке, и может помочь в лечении многих заболеваний печени.

Список литературы

1. *Berthiaume F., Chan C. and Yarmush M.L.* (2008). Liver, Bio-Artificial. Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, and the Shriners Hospital for Children, Boston, Massachusetts, U.S.A.

2. *Tandon R. and Froghi S.* (2020). Artificial liver support systems. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*.
3. *Bloem R., Greimel K., Henzinger T.A.* (2009). Synthesizing Robust Systems. *Acta Informatica*, Vol. 51, Issue 3-4, pp. 193–220.
4. *Bikhchandani J., Metcalfe M.R., Illouz F.R., Puls F., Path F.R. and Dennison A.* (2011). Extracorporeal Liver Perfusion System for Artificial Liver Support Across a Membrane. *Journal of surgical research*: vol. 171, no. 1.
5. *Court F.G., Wemyss-Holden S.A. and Dennison A.R.* (2003). Bioartificial liver support devices: Historical perspectives. *ANZ J Surg* 73:739.
6. *Kiley J. and Welch H.* (1956). Removal of Blood Ammonia by Hemodialysis. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine Published*. Vol. 1, p. 57.
7. *Nakao M., Nakayama N. and Uchida Y.* (2017). Nationwide survey for acute liver failure and late-onset hepatic failure in Japan. *J. Gastroenterol.* 53(6):752-769.
8. *Bruijne M.H.J. de.* On the use of Cox regression in the presence of an irregularly observed time-dependent covariate / M. H. J. de Bruijne, S. le Cessie, H. C. Kluine-Nelemas, H. C. van Houwelingen // *Statistic in medicine*. 2001. Vol. 20. N 24. – P. 3817–3829.
9. *Медик В.А.* Руководство по статистике в медицине и биологии. Т. 2. Прикладная статистика здоровья / В. А. Медик, Б. Б. Фишман, М. С. Токмачев. – М.: Медицина, 2001. – 352 с.
10. *Marshall G.* Prospective prediction in the presence of missing data / G. Marshall, B. Warner, S. MaWhinney, K. Hammermeister // *Statistics in Medicine*. 2002. Vol. 21. N 4. – P. 561–570.

AN APPROACH TO MODELING A BIO-ARTIFICIAL LIVER FOR INSTRUMENTATION ISSUES

Ganshin A.S.

Andrikov D.A.

RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. Modeling of bio-artificial liver is a promising scientific field that can lead to the creation of more effective methods of treating liver diseases and reducing the risk of rejection during transplantation. This area is at the research stage, and its achievements may improve

the understanding of physiological processes in the liver, which may also lead to the development of new treatments. However, for the successful application of bio-artificial liver in medical practice, it is necessary to continue scientific research and conduct testing on a large number of patients. In general, modeling of bio-artificial liver represents a great potential for improving the treatment of liver diseases and may have a significant contribution to medical science.

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кильметова Л.Р.,

Хадиуллин С.Х., к.т.н., доцент

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

kilmetovalr@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследования зависимости формирования остаточных напряжений при точении жаропрочных материалов.

Ключевые слова: жаропрочные материалы, остаточные напряжения, процесс резания, режимы резания

Введение

Развитие авиационного двигателестроения неразрывно связано с разработкой и внедрением в производство новых жаропрочных материалов для деталей горячего тракта газотурбинных двигателей (ГТД), а также с созданием новых технологических процессов их получения [1]. В первую очередь это относится к жаропрочным материалам, предназначенным для изготовления рабочих и сопловых лопаток ГТД, так как их жаропрочные свойства во многом определяют температуру газа на входе в газовую турбину и, соответственно, основные характеристики турбины: мощность, ресурс, расход топлива, экологичность и др. [2].

Обеспечение и повышение заданного эксплуатационного ресурса деталей является основной задачей для конструкторов и технологов. При эксплуатации поверхностные слои оказываются наиболее нагруженными и подвергаются активному воздействию внешней среды вследствие чего происходит их разрушение [3].

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания «Исследование физико-химических и механических процессов при формообразовании и упрочнении деталей для авиакосмической и транспортной техники» № FEUE-2023-0006.

Одним из основных параметров качества поверхностного слоя являются остаточные напряжения.

Остаточными принято называть напряжения, наблюдаемые в материале при отсутствии внешних воздействий (силовых и тепловых) [4]. Согласно классификации Н.Н. Давиденкова остаточные напряжения делятся на следующие виды:

- напряжения первого рода, уравнивающиеся в пределах областей, размеры которых одного порядка с размерами тела;
- напряжения второго рода, уравнивающиеся в объемах, размеры которых одного порядка с размерами зерен;
- напряжения третьего рода, уравнивающиеся в объемах одного порядка с размерами элементарной кристаллической ячейки.

При действии эксплуатационных нагрузок поверхностный слой оказывается также в неблагоприятных условиях, поскольку рабочие напряжения накладываются с технологическими остаточными напряжениями. Это приводит к принципиальным изменениям напряженности в поверхностном слое, резко возрастают результирующие напряжения, действующие в процессе эксплуатации, полностью меняется эпюра распределения напряжений по сечению детали. Появление остаточных напряжений связано с условиями изготовления деталей.

Целесообразно, технологический процесс изготовления деталей организовывать таким образом, чтобы на участках деталей, подвергающихся при эксплуатации наибольшей деформации, были созданы сжимающие остаточные напряжения, например, с помощью термических, механических, термомеханических и специальных методов обработки.

Одним из способов формирования требуемого уровня остаточных напряжений является влияние на них посредством варьирования режимов резания на этапе технологической подготовки производства.

Технологические процессы изготовления деталей должны проектироваться таким образом, чтобы возникающие в поверхностном слое остаточные напряжения не оказывали отрицательного влияния на надежность работы деталей в заданных условиях эксплуатации.

Формирование остаточных напряжений

Механизм образования остаточных напряжений состоит (рис. 1) в том, что при перемещении резца в направлении подачи S , вследствие трения между задней поверхностью инструмента и вновь образуемой поверхностью, верхние слои последней подвергаются пластической деформации растяжения, а слои металла, лежащие ниже, растягиваются упруго.

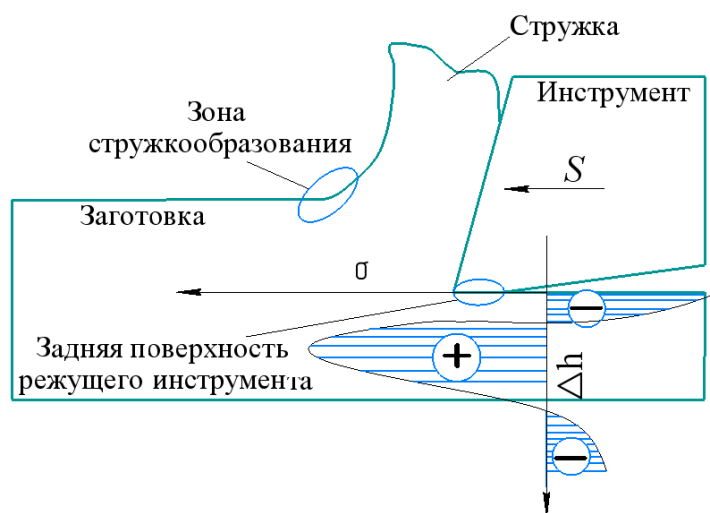


Рис. 1. Схема стружкообразования с формированием остаточных напряжений

После прохождения резца упруго растянутые внутренние слои стремятся вернуться в прежнее положение, но этому препятствуют верхние слои, претерпевшие необратимую пластическую деформацию. В результате верхние слои оказываются сжатыми, а внутренние — частично растянутые [5].

Факторами вызывающие остаточные напряжения при процессе резания являются пластическая деформация при силовом воздействии и нагревание поверхностных слоев [6].

При резании под действием сил происходит деформирование и разрушение обрабатываемого материала, сопровождающееся рядом физико-химических явлений:

– в деформированном объеме возникает сложнапряженное состояние материала, имеют место упругие и пластические деформации, происходит хрупкое и вязкое разрушение. На обработанной поверхности образуются шероховатости, текстура и структура поверхностного слоя детали, а также изменяются теплофизические и электрофизические свойства;

– в зоне резания возникает неоднородное температурное поле. Имеет место сложная схема распространения тепловых потоков, и создаются особые условия теплопередачи между инструментом, стружкой и поверхностным слоем детали;

– трение в области контакта инструмента и материала заготовки происходит при больших давлениях и температурах.

Кроме того, на формирование остаточных напряжений оказывают влияние геометрические параметры такие как канавки, проточки, отверстия, являющиеся концентраторами напряжений, и вызывают появление микротрещин. Сложный профиль детали подразумевает появление концентраторов напряжений.

Методика исследования

Для исследования были изготовлены два образца цилиндрической формы (рис.2) из жаропрочного деформируемого сплава на никелевой основе ХН73МБТЮ.

Физико-механические и химические свойства сплава представлены в таблице 1 и 2 [7].

Таблица 1

Физико-механические свойства

| Физико-механические свойства при 290 °К | | | | | | |
|---|---------------------------|-----------|------------|--------------|--------|-------|
| σ_T , МПа | σ_{ϵ} , МПа | НВ, МПа | ϕ , % | δ , % | E, ГПа | μ |
| 750 | 1250 | 285 – 341 | 14 | 14 | 212 | 0,31 |

Таблица 2

Химический состав жаропрочных сплавов (%)

| C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Al | Ti | Fe | Mo |
|------|----------|------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|------|
| | не более | | | | | | | | | |
| 0,05 | 0,21 | 0,22 | 0,004 | 0,009 | 13,53 | Осн. | 1,59 | 2,6 | 1,44 | 2,94 |

Данный жаропрочный сплав применяется для изготовления крепежных деталей, лабиринтов, дисков, работающих при температуре до 750-800°C [8].



Рис. 2. Вид образцов для исследования

Первый образец был обработан точением со скоростью резания – 25 м/мин, подачей режущего инструмента – 0,05 мм/об.

Второй образец был подвергнут термообработке – отжигу при рекомендуемых режимах.

С целью определения поверхностных остаточных напряжений, согласно методу Давиденкова, были вырезаны пластины из образцов для травления.

Этот метод определения остаточных напряжений основан на том, что с поверхности образцов в специальных установках электрохимическим способом удаляются напряженные поверхностные слои. При травлении измеряются деформации образца, определяется толщина удаленного слоя. Остаточные напряжения рассчитываются по формулам теории упругости [9].

Несмотря на недостаток этого метода – разрушения готовой детали, он был выбран из-за его обработанности, простоты.

Результаты исследования

Зависимость остаточных напряжений по глубине залегания после точения и термообработки представлены ниже на рисунке 3 и 4 соответственно.

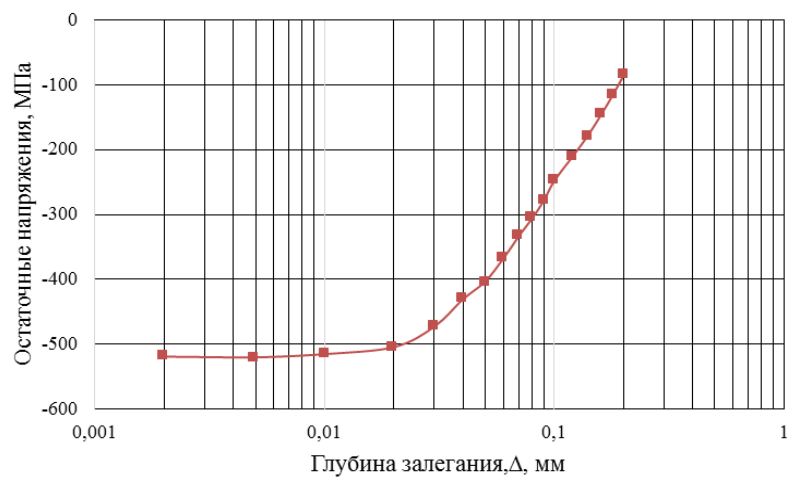


Рис. 3. Зависимость остаточных напряжений от глубины залегания; образец обработан по серийному режиму

После механической обработки наблюдаются напряжения сжатия порядка -500 МПа на глубине 0,002...0,02 мм после механической обработки. Далее они постепенно снижаются и на глубине 0,2 мм оказываются на уровне -80 МПа. Уровень ПОН (-518 МПа) соответствует некоторым экстремальным значениям.

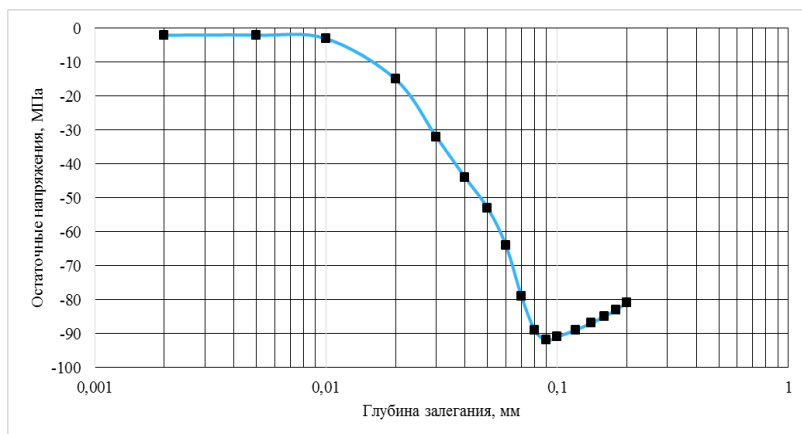


Рис. 4. Зависимость остаточных напряжений от глубины залегания после термообработки для снятия напряжений

Согласно зависимости можно видеть, что отжиг привел к практически полному снятию остаточных напряжений в области наиболее интенсивного наклепа, на глубине 0,01 мм. В средних слоях остаточные напряжения сжатия понизились частично в среднем до -50 Мпа.

Выводы

В ходе эксперимента установлено, что при точении жаропрочного материала на режимах резания ($V=25$ м/мин, $S=0,05$ мм/об) на поверхности образца сформировались напряжения сжатия, который позволяют повысить предел выносливости деталей, что особенно важно при эксплуатации деталей, работающих при тяжелых, динамических условиях [10].

После проведенного отжига произошло практически полное снятие поверхностных остаточных напряжений.

Можно сделать вывод о том, что формирование необходимых поверхностных остаточных напряжений возможно варьируя режимами резания при механической обработке.

Список литературы

1. *Оспенникова О.Г.* Создание нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей - залог успешного развития отечественного двигателестроения // *Металлургия машиностроения*. – 2017. – № 4. – С. 17-20.
2. *Дворецков Р.М.* Многоэлементный спектральный анализ авиационных жаропрочных никелевых сплавов: диссерт. на соискание ученой степени кандидата химических наук 02.00.02/ Дворецков Роман Михайлович. – Москва, 2019. – 211с.
3. *Мухин В.С.* Качество поверхностного слоя при механической обработке жаропрочных сплавов и влияние его на эксплуатационные свойства материалов и деталей авиационных двигателей Текст. : Автореф. дисс. докт. техн. наук / В. С. Мухин МАИ, 1975. – 35 с.
4. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2013. – 568 с. и второе издание 2016 г.
5. *Башаров Р.Р., Кильметова Л.Р., Старовойтов С.В., Хадиуллин С.Х., Черников П.П.* Анализ причин и источников воз-

никновения остаточных напряжений // Вестник УГАТУ. 2018. Т. 22, № 4 (82). – С. 3–11.

6. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1966. – 345 с.

7. Авиационные материалы. Деформируемые жаропрочные стали и сплавы. Справочник. Т.3, ч.1 Москва, 1989. – 560 с.

8. Марочник сплавов. Сплав жаропрочный. Режим доступа URL: http://www.splav-kharkov.com/choose_mat.php?class_id=6 (дата обращения 13.03.2023 г.)

9. Овсеенко Е.С. Обеспечение качества изготовления маложестких деталей типа дисков газотурбинных установок за счет снижения технологических остаточных деформаций: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.08 / Овсеенко Евгений Сергеевич. Москва, 2011. – 144 с.

10. Буркин С.П. Остаточные напряжения в металлопродукции : учебное пособие / С. П. Буркин, Г.В. Шимов, Е.А. Андрюкова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 248 с.

EVALUATION OF SURFACE RESIDUAL STRESSES IN TURNING HEAT-RESISTANT MATERIALS

Kilmetova Liliia

Khadiullin Salavat, PhD

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the dependence of the formation of residual stresses in the turning of heat-resistant materials.

Key words: high-strength materials, residual stresses, cutting process, cutting modes

Секция 5

СТРОИТЕЛЬСТВО

СВОЙСТВА БЕТОНА С РАЗЛИЧНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ

Чудин А.В., Харитонов А.А., Хайкин П.С.

*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
sashachudin@gmail.com*

Аннотация. В данной статье исследуется, как изменяются свойства бетона при добавлении наночастиц. Цель данной статьи – рассказать о достижениях за рубежом в области методов, направленных на улучшение качества традиционного бетона. Добавление наночастиц, таких как: нанодиоксиды кремния и алюминия, нанометакаолин, углеродные нанотрубки, нанодиоксид титана и т.д., демонстрирует убедительные доказательства повышения качества бетона, что способствует созданию инфраструктуры и долгосрочному мониторингу. Нанобетон – это перспективный материал, расширяющий границы традиционного строительства, демонстрирующий повышенную прочность на сжатие и изгиб с использованием элементарных соединений. Во время изучения статей зарубежных авторов было выявлено увеличение прочности на сжатие от 20% до 63% при замене цемента различными наноматериалами в разном процентном соотношении и прочности на изгиб от 16% до 47%.

Ключевые слова: нанобетон, нанометакаолин, нанодиоксид кремния, нанодиоксид титана, нанодиоксид алюминия, углеродные нанотрубки, наноцеллюлоза, сжатие, изгиб, современные наноматериалы

Введение

Благодаря применению нанотехнологий строительство выходит на новый уровень в производстве. Высокотехнологичные материалы станут основой строительной отрасли в ближайшие десятилетия. Основными строительными материалами, в производстве которых в настоящее время наиболее широко используются нанотехнологические подходы, являются: цементы и бетоны; керамика, изоляционные материалы; стекло; арматура; нанодревесина.

Наиболее распространенным традиционным материалом, необходимым для строительства инфраструктуры, является смесь цемента, мелкого заполнителя, крупного заполнителя и воды,

известная как бетон. Бетон – это пористое вещество, для которого необходимо исследовать его долговечность, практичность, механические характеристики и микроструктурные факторы [1]. Последние технологические достижения привели к улучшению ряда свойств бетона по сравнению с традиционным бетоном. В частности, уменьшение соотношения вода-цемент (в/ц) [2] впоследствии способствовало увеличению прочности цемента [3]. Кроме того, процентное соотношение смеси продемонстрировало оптимальное состояние благодаря сочетанию нанодобавок [4-6]. В нанобетоне используются составляющие наноматериалы [7-13], которые значительно улучшают структуру модели упаковки в объемных характеристиках. Помимо улучшения свойств бетона, наночастицы выступают в качестве отличного наполнителя. Цель данной статьи – сообщить обо всех достижениях в области бетона, усиленного наночастицами, который демонстрирует характеристики на сжатие и изгиб [14].

На протяжении всей статьи наноматериалы приносят огромную пользу строительной отрасли. В частности, наноматериалы в цементе и бетоне, такие как нано- TiO_2 , нано- Al_2O_3 , нанометакаолин, нано- SiO_2 , наноглины [15-17] и углеродные нанотрубки (УНТ), улучшили общие характеристики [18]. Неотъемлемой частью этого являются свойства наполнителя, которые способствуют увеличению долговечности [19]. Кроме того, было продемонстрировано, что наноматериалы улучшают микроструктурные особенности, которые не изучаются в традиционной строительной инженерии, но являются основным жанром для современных исследований. Тщательное изучение предыдущих исследований проливает некоторый свет на эту область, но необходим детальный анализ. Данная статья направлена на развитие использования наноматериалов для повышения прочности бетона на изгиб и сжатие.

Прочность на сжатие нанобетона, изготовленного с использованием наноматериалов

Многочисленные наноматериалы были включены в состав бетона с момента развития нанотехнологий в строительной индустрии. Наноматериалы могут быть использованы для улучшения долговечности и эксплуатационных характеристик бетона. Обсуждение наноматериалов, таких как нанометакаолин, нанодиоксид

кремния, нанодиоксид алюминия, нанодиоксид титана, УНТ и наноцеллюлоза, а также их использование во всех типах бетона, будет более подробно рассмотрено в данном подразделе с точки зрения их механических свойств.

Нанометакаолин

Нанометакаолин значительно повысил прочность цементных материалов на сжатие, согласно нескольким исследованиям [22-24]. Согласно обширному обзору литературы, добавление нужного количества нанометакаолина в цементные материалы повышает их прочность на сжатие [32, 33]. Когда количество нанометакаолина в цементном материале превышает оптимальный уровень, прочность бетона на сжатие снижается.

Между тем, слишком большое количество нанометакаолина вызывает слабость межфазной переходной зоны и уменьшение количества контактных точек, которые действуют как места связывания между частицами цемента [31, 34]. Добавление нанометакаолина в бетон повышает его прочность на сжатие.

Несмотря на то, что характеристики смешанных пропорций, такие как соотношение вода/цемент и содержание нанометакаолина, а также условия твердения одинаковы, оптимальное содержание нанометакаолина, согласно литературному обзору, не одинаково.

В результате необходимо провести больше исследований и изучить [20], чтобы лучше понять различные эффекты нанометакаолина на прочность бетона или раствора на сжатие. Кроме того, некоторые результаты противоречивы. Прочность на сжатие цементного раствора, приготовленного на основе шлака воздушного охлаждения, постепенно снижалась при увеличении содержания нанометакаолина [31]. В 28 дней прочность на сжатие раствора, содержащего 8% нанометакаолина, была незначительно ниже, чем у контрольного раствора. По данным Норхасри и др. [21], добавление нанометакаолина в сверхвысокоэффективный бетон с прочностью на сжатие 150 МПа в 28 дней не улучшило раннюю прочность на сжатие. Хотя сверхвысокоэффективный бетон с 1% нанометакаолина имел максимальную прочность на сжатие, она была несколько ниже, чем у контрольного сверхвысокоэффективного бетона. Добавление нанометакаолина не повлияло на раннюю стабильность сверхвысокоэффективного бетона [35-37]. Более того,

с увеличением количества нанометакаолина в сверхвысокоэффективном бетоне прочность материала при сжатии снижалась [38]. При увеличении содержания нанометакаолина до 10% прочность на сжатие повышалась на 63%, а при дальнейшем увеличении содержания нанометакаолина механические характеристики ухудшались [39].

Нанодиоксид кремния

Через 28 дней прочность на сжатие бетона, содержащего 3% нанодиоксид кремния, повысилась на 20% по сравнению с базовой прочностью бетона [28]. Через 90 и 365 дней испытания на прочность при сжатии выявили аналогичную картину.

Коллоидный нанодиоксид кремния размером 40-50 нм эффективно увеличили прочность на сжатие высокоэффективного бетона с 3% нанодиоксидом кремния до 33,25% в течение 24 ч. Это повышение прочности соответствует прочности на сжатие 40 МПа. Кроме того, прочность на изгиб превысила 13,5% через 7 дней [25]. Бетон с 3% нанодиоксидом кремния в качестве замены заменителя цемента продемонстрировал более высокую прочность на сжатие и более длительный срок службы. Прочность на сжатие при использовании 3% нанодиоксида кремния увеличилась на 31,42% по сравнению с эталонным бетоном [26]. Нанодиоксид кремния имеет коллоидный вид с размером 15 нм, и площадь поверхности, особенно частиц нанодиоксида кремния, напрямую влияет на прочность бетона на сжатие. Частицы нанодиоксида кремния с удельной площадью поверхности 51,4 м²/г наименее благоприятны для повышения прочности на сжатие. Соотношение вода/бетон также влияет на прочность бетона с нанодиоксидом кремния. Идеальное количество замены нанодиоксида кремния связано с реактивностью и уровнем накопления частиц нанодиоксида кремния [27]. Обычный бетон (состояние сернокислотного дождя) с соотношением 0,3 вода/бетон заменил цементный материал на 2%-6%, что увеличило прочность на сжатие на 15% [29]. Обычный бетон с отношением вода/бетон 0,36 с заменой цементного материала от 1% до 2,5% показывает увеличение прочности на сжатие до 20,25% при замене 2% и снижение прочности на сжатие на 5% при замене 2,5%, что подтверждает оптимальную замену нанодиоксида кремния на 2% [40]. Прочность на сжатие обычного бетона увеличивается с 1,75% до 7,2% при соотношении вода/цемент 0,3, 0,4 и 0,45 и содержании нанодиоксида кремния 0,5%, 0,75% и 1% в качестве замены цемента [30].

Согласно исследованию, дозы нанодиоксида кремния до 3% могут улучшить механические характеристики, потенциально за счет пуццолановой активности, уточнения структуры пор и эффекта заполнения. Прочность при сжатии увеличивается по мере роста содержания нанодиоксида кремния, достигая 33% при доле нанодиоксида кремния 3%.

Прочность на сжатие увеличивалась до 2% замещения нанодиоксида кремния, а затем значительно снижалась. Вследствие повышенной гидратации под действием нанодиоксида кремния, наблюдается более значительное потребление $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на ранних стадиях (1-7 дней твердения). Этот результат благоприятствует 2%-ному замещению нанодиоксида кремния в цементе по весу. В результате пуццолановой реакции нанодиоксид кремния и СН образуются хорошо уплотненные продукты гидратации, которые покрывают негидратированный цемент и замедляют скорость гидратации. Кроме того, продукты гидратации закупоривают поры в цементе, уменьшая количество воды, которая может достичь безводных частиц цемента, и снижая прочность выше 2% замены нанодиоксида кремния [45].

Нанодиоксид титана

Большинство исследователей согласились с тем, что использование частиц нанодиоксида титана может в некоторой степени повысить прочность бетона на сжатие.

Наночастицы TiO_2 со средним диаметром 15 нм использовались в четырех различных количествах 0,25%, 0,75%, 1,25% и 1,75% по весу цемента с соотношением вода/цемент 0,5 [46]. Содержание 0,75% нанодиоксида титана увеличивает прочность раствора на сжатие на 19,33% через 28 дней. Прочность снижалась по мере увеличения содержания нанодиоксида титана; следовательно, оптимальное содержание нанодиоксида титана составляет 0,75% [41]. В 10%, 20% и 30% фракциях для замены цемента использовалась необработанная черная зола рисовой шелухи. При добавлении доз нанодиоксида титана 0,5%, 1,0% и 1,5% в смешанный цемент прочность на сжатие увеличилась до 13,22% [42]. Согласно данным Ли и др. [43], прочность на сжатие бетона, содержащего 20% летучей золы (ЛЗ), может быть увеличена на 18% при использовании 3% нанодиоксида титана. Было обнаружено, что нанодиоксид титана

в дозе 3% в наибольшей степени повышает прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона и отношением массы к массе 0,4. Использование наночастиц в качестве цементирующих материалов увеличило прочность бетона на сжатие. После 28 дней твердения прочность бетона на сжатие может увеличиться до 22,71% при замене 2% цемента частицами нанодиоксида титана (по сравнению с обычным бетоном). Нанодиоксид титана был введен в образцы с волластонитом (минерал из класса силикатов, природный силикат кальция); прочность на сжатие сначала увеличилась, а затем снизилась. Лучшим сочетанием было 4% нанодиоксида титана без волластонита [44, 47].

Согласно исследованию, оптимальная доза нанодиоксида титана составляет 3%, что повышает прочность на сжатие до 23%; однако увеличение концентрации нанодиоксида титана снижает механические характеристики.

При использовании наноразмерного диоксида титана рутильной модификации можно создать бетоны с самоочищающимися поверхностями. Помимо самоочищения у данного материала будут и другие характеристики, такие как: устойчивость к кислотам и щелочам, маслостойкость, стойкость к воздействию климатических факторов и истиранию.

Нанодиоксид алюминия

Большинство исследователей согласились с тем, что использование частиц нанодиоксида алюминия может улучшить цементные композиты и прочность на сжатие.

Было обнаружено, что 1% замены нанодиоксида алюминия обеспечивает наилучшую раннюю прочность. Через 28 дней после отверждения прочность на сжатие при 0%-ной замене составила 13,69 МПа; добавление нанодиоксида алюминия привело к увеличению на 20%, 15% и 36%, соответственно, в то время как 5%-ная замена обеспечила лучшую прочность на сжатие через 28 дней [48]. Прочность на сжатие бетонных кубиков была увеличена путем введения нанодиоксида алюминия в матрицу; прочность на сжатие композитов увеличилась на 33,14% в 28 дней, когда доля нанодиоксида алюминия составляла 1% от веса цемента [49].

Согласно исследованию, оптимальная концентрация нанодиоксида алюминия составляла 5%, при которой прочность на сжатие увеличивалась на 36%.

Углеродные нанотрубки

Согласно большинству исследований, прочность на сжатие цементного материала может быть увеличена в некоторой степени с помощью частиц углеродных нанотрубок.

Прочность бетона на сжатие увеличилась до 26,7% при использовании функционализированной многостенной углеродной нанотрубки вместо 0,045% цемента. Углеродные нанотрубки в цементе улучшает жесткость геля, делая композит более прочным.

Наноцеллюлоза

Согласно большинству исследований, прочность на сжатие цементного материала может быть увеличена в некоторой степени с помощью частиц наноцеллюлозы.

Прочность на сжатие бетона с содержанием целлюлозы 0,05% и 0,10% увеличилась на 26% и 17%, соответственно. В отличие от этого, комбинации с 0,20% и 0,30% наноцеллюлозы оказали менее заметное влияние, увеличившись на 11% и 3%. Влияние наноцеллюлозы на кинетику гидратации и характеристики гидрата может быть связано с более высокой прочностью на сжатие в присутствии наноцеллюлозы [50]. Результаты показывают, что образцы растворов с наноцеллюлозой улучшают прочность на сжатие после 7 дней твердения. Добавление 0,2% и 1% наноцеллюлозы повышает прочность материала на 10% и 17%, соответственно. Более того, использование 0,2% и 1% наноцеллюлозы уменьшает объем цемента при сохранении прочности на сжатие [51].

При оптимальной дозе наноцеллюлозы 0,1% прочность на сжатие увеличивается до 17%, в то время как большее количество наноцеллюлозы снижает механические характеристики.

Более высокая прочность на сжатие в присутствии целлюлозных нитей может быть связана с влиянием наноцеллюлозы на кинетику гидратации и свойства гидратов. Согласно исследованиям [51], гидрофильная и гигроскопичная наноцеллюлоза может добавлять больше воды в цементную матрицу для повышения степени гидратации и улучшения механических характеристик.

Заключение

Развитие ранней прочности бетона усиливается за счет введения наноматериалов, которые положительно влияют на механи-

ческие свойства цементных материалов. Улучшение прочности на изгиб и сжатие можно наблюдать при первоначальной оценке на очень ранней стадии. В ходе этой статьи было установлено, что пуццолановый эффект заполнения, эффект нуклеации и развитие мостиков катализируют механизм упрочнения наноматериалов. Минеральные частицы с высокой поверхностью в цементных смесях требуют больше воды или пластификаторов, чтобы сделать бетон обрабатываемым. Согласно обширной литературе, оптимальное содержание нанометакаолина составляет 10%, что повышает прочность на сжатие на 63% и на изгиб на 46,8%. Однако при постепенном увеличении концентрации нанометакаолина происходит компромисс, так как механические характеристики ухудшаются. Согласно данному исследованию, дозы нанодиоксида кремния до 2% могут улучшить прочность при сжатии на 20,25% и прочность при изгибе на 34,6% при содержании нанодиоксида кремния 4%. Характеристики нанодиоксида кремния как активатора также способствуют процессу гидратации. Если доза нанодиоксида кремния превышает 2%, прочность на сжатие и изгиб может снизиться. С другой стороны, увеличение количества нанодиоксида титана в материале повышает прочность на сжатие до 23% и прочность на изгиб до 47%, а использование TiO_2 снижает загрязнение воздуха. Нанодиоксид алюминия в концентрации 1% увеличил прочность на сжатие и изгиб на 46% и 16,7%, соответственно, при замене на 3%. Эти природные объясняются на рисунках 1 и 2.

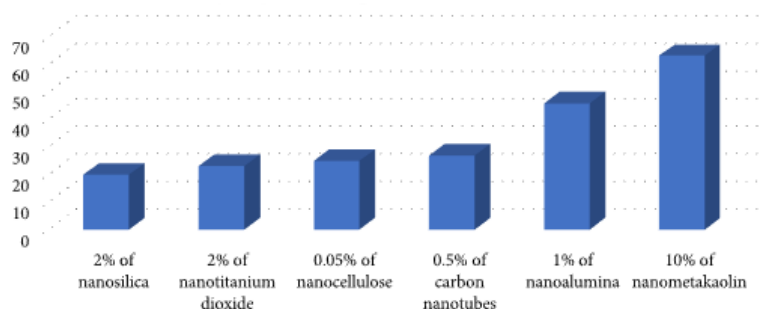


Рис. 1. Увеличение прочности на сжатие на двадцать восемь дней (%) [31, 40, 49, 50]

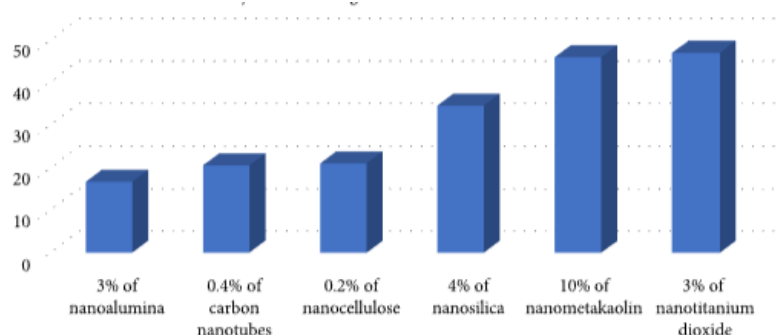


Рис. 2. Увеличение прочности при изгибе на двадцать восемь дней (%) [31, 43, 50]

При сравнении бетона с нанометакаолином со всеми шестью наноматериалами (нанометакаолин, нанодиоксид кремния, нанодиоксид титана, нанодиоксид алюминия, углеродные нанотрубки и наноцеллюлоза) прочность на сжатие и изгиб увеличивается на 63% и 36% соответственно.

Выводы

Главным результатом проведенного анализа работ зарубежных учёных, следует считать, что существует большое количество различных наночастиц, которые дают существенные возможности для улучшения различных свойств строительных материалов, в том числе бетона. Наиболее распространёнными частицами для нанобетона, в частности для повышения его прочности используется нанодиоксид алюминия. Что подтверждено многочисленными исследованиями и указывает на перспективность этого направления, при разработке новых строительных материалов, улучшение физико-механических свойств, таких как бетон и др.

Список литературы

1. Tang S.W., Yao Y., Andrade C. and Li Z.J. "Recent durability studies on concrete structure," *Cement and Concrete Research*, vol. 78, Part A, pp. 143–154, 2015.
2. Bonavetti V., Donza H., Menéndez G., Cabrera O. and Irassar E.F. "Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of

energy,” *Cement and Concrete Research*, vol. 33, no. 6, pp. 865–871, 2003.

3. *Agarwal S.K., Masood I. and Malhotra S.K.* “Compatibility of superplasticizers with different cements,” *Construction and Building Materials*, vol. 14, no. 5, pp. 253–259, 2000.

4. *Elrahman M. Abd and Hillemeier B.* “Combined effect of fine fly ash and packing density on the properties of high-performance concrete: an experimental approach,” *Construction and Building Materials*, vol. 58, pp. 225–233, 2014.

5. *Kishore R., Bhikshma V. and Prakash P.J.*, “Study on strength characteristics of high strength rice husk ash concrete,” *Procedia Engineering*, vol. 14, pp. 2666–2672, 2011.

6. *Kumar A., Oey T., Falla G.P., Henkensiefken R., Neithalath N. and Sant G.* “A comparison of intergrinding and blending limestone on reaction and strength evolution in cementitious materials,” *Construction and Building Materials*, vol. 43, pp. 428–435, 2013.

7. *Malhotra V.M. and Mehta P.K.* *Pozzolanic and Cementitious Materials*, CRC Press, 2004.

8. *Li H., Xiao H.-G., Yuan J. and Ou J.* “Microstructure of cement mortar with nanoparticles,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 185–189, 2004.

9. *Balaguru P. and Chong K.* “Nanotechnology and concrete: research opportunities,” in *Proceedings of the ACI Session on Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives*, pp. 15–28, National Science Foundation, Denver, USA, 2006.

10. *Pellenq R.J.-M., Lequeux N. and Van Damme H.* “Engineering the bonding scheme in C–S–H: the iono-covalent framework,” *Cement and Concrete Research*, vol. 38, no. 2, pp. 159–174, 2008.

11. *Sahin R. and Oltulu M.* “New materials for concrete technology: nanopowders,” in *33rd Conference on Our World in Concrete & Structures*, 2008.

12. *Hou P., Qian J., Cheng X. and Shah S.P.* “Effects of the pozzolanic reactivity of nanoSiO₂ on cement-based materials,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 55, pp. 250–258, 2015.

13. *Crainic N. and Marques A.T.* “Nanocomposites: a state-of-the-art review,” *Key Engineering Materials*, vol. 230-232, p. 656, 2002.

14. *Sobolev K. and Shah S.P.* “Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives American Concrete

Institute, ACI Special Publication: Preface,” American Concrete Institute, ACI Special Publication 254 SP, 2008.

15. *Sanchez F. and Sobolev K.* “Nanotechnology in concrete – a review,” *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 11, pp. 2060–2071, 2010.

16. *Jankowska E. and Zatorski W.* “Emission of nanosize particles in the process of nanoclay blending,” in 2009 Third International Conference on Quantum, Nano and Micro Technologies, IEEE, 2009.

17. *Hakamy A., Shaikh F.U.A. and Low I.M.* “Characteristics of nanoclay and calcined nanoclay-cement nanocomposites,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 78, pp. 174–184, 2015.

18. *Gesoglu M., Güneyisi E., Asaad D.S. and Muhyaddin G.F.* “Properties of low binder ultra-high-performance cementitious composites: comparison of nanosilica and microsilica,” *Construction and Building Materials*, vol. 102, Part 1, pp. 706–713, 2016.

19. *Khaloo A., Mobini M.H. and Hosseini P.* “Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 113, pp. 188–201, 2016.

20. *Bharadwaz Y.D., Rao B.G., Rao V.D. and Anusha C.* “Improvement of biodiesel methanol blends performance in a variable compression ratio engine using response surface methodology,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 55, no. 2, pp. 1201–1209, 2016.

21. *Norhasri M.S.M., Hamidah M.S., Fadzil A.M. and Megawati O.* “Inclusion of nano metakaolin as additive in ultra-high-performance concrete (UHPC),” *Construction and Building Materials*, vol. 127, pp. 167–175, 2016.

22. *El-Gamal S.M.A., Amin M.S. and Ramadan M.* “Hydration characteristics and compressive strength of hardened cement pastes containing nano-metakaolin,” *HBRC Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 144–121, 2017.

23. *Heikal M. and Ibrahim N.S.* “Hydration, microstructure and phase composition of composite cements containing nano-clay,” *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 19–27, 2016.

24. *Morsy M.S., Al-Salloum Y., Almusallam T. and Abbas H.* “Effect of nano-metakaolin addition on the hydration characteristics of fly ash blended cement mortar,” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 116, pp. 845–852, 2014.

25. *Varghese L., Rao V.V.L.K. and Parameswaran L.* “Nanosilica-added concrete: strength and its correlation with time-dependent properties,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials*, vol. 172, no. 2, pp. 85–94, 2019.
26. *Kumar S., Kumar A. and Kujur J.* “Influence of nanosilica on mechanical and durability properties of concrete,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, pp. 781–788, 2019.
27. *Alhawwat M., Ashour A. and El-Khoja A.* “Influence of using different surface areas of nano silica on concrete properties,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 2146, Article ID 020007, 2019.
28. *Huseien G.F., Khalid N.H.A. and Mirza J.* *Nanotechnology for Smart Concrete*, CRC Press, 2022.
29. *Vickers N.J.* “Animal communication: when I’m calling you, will you answer too?” *Current Biology*, vol. 27, no. 14, pp. R713–R715, 2017.
30. *Li L.G., Zheng J.Y., Zhu J. and Kwan A.K.H.* “Combined usage of micro-silica and nano-silica in concrete: SP demand, cementing efficiencies and synergistic effect,” *Construction and Building Materials*, vol. 168, pp. 622–632, 2018.
31. *Darabi-Golestan F. and Hezarkhani A.* “R- and Q-mode multivariate analysis to sense spatial mineralization rather than uni-elemental fractal modeling in polymetallic vein deposits,” *Geosystem Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 226–235, 2018.
32. *Shoukry H.* “Development of nano modified eco-friendly green binders for sustainable construction applications,” *Nano Hybrids and Composites*, vol. 24, Trans Tech Publications Ltd., 2019.
33. *Abo-El-Enein S.A., Amin M.S., El-Hosiny F.I., Hanafi S., El-Sokkary T.M. and Hazem M.M.* “Pozzolanic and hydraulic activity of nano-metakaolin,” *HBRC Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 64–72, 2014.
34. *Nadeem A., Memon S.A. and Lo T.Y.* “The performance of fly ash and metakaolin concrete at elevated temperatures,” *Construction and Building Materials*, vol. 62, pp. 67–76, 2014.
35. *Ibrahim A.M., Al-Mishhadani S.A. and Naji Z.H.* “The effect of nano metakaolin material on some properties of concrete,” *Diyala Journal of Engineering Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 50–61, 2013.
36. *Fadzil A.M., Mohd Norhasri M.S., Hamidah M.S., Zaidi M.R. and Faizal J. Mohd.* “Alteration of nano metakaolin for ultra-high-performance concrete,” *In CIEC 2013*, Springer, Singapore, 2014.

37. Morsy M.S., Al-Salloum Y.A., Abbas H. and Alsayed S.H. "Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures," *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 900–905, 2012.
38. Zhan P.-M., He Z.-H., Ma Z.-M. et al. "Utilization of nano-metakaolin in concrete: a review," *Journal of Building Engineering*, vol. 30, Article ID 101259, 2020.
39. Rathnamala G.V., Ashwini R.M., Sai P., Chowdary K.Y. and Harshitha C. "Analysis of drinking water quality and mode of storage in Dodballapur Taluk," *Solid State Technology*, vol. 63, no. 5, pp. 945–957, 2020.
40. Tanveer Hussain S. and Gopala Krishna Sastry K.V.S. "Study of strength properties of concrete by using micro silica and nano silica," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 103–108, 2014.
41. Salman M.M., Eweed K.M. and Hameed A.M. "Influence of partial replacement TiO_2 nanoparticles on the compressive and flexural strength of ordinary cement mortar," *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 265–270, 2016.
42. Noorvand H., Abang Ali A.A., Demirboga R., Farzadnia N. and Noorvand H. "Incorporation of nano TiO_2 in black rice husk ash mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 1350–1361, 2013.
43. Li Z., Han B., Yu X. et al. "Effect of nano-titanium dioxide on mechanical and electrical properties and microstructure of reactive powder concrete," *Materials Research Express*, vol. 4, no. 9, Article ID 095008, 2017.
44. Hemalatha P. and Ramujee K. "Influence of nano material (TiO_2) on self-compacting geo polymer concrete containing flyash, GGBS and wollastonite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, Part 2, pp. 2438–2442, 2021.
45. Chithra S., Senthil Kumar S.R.R. and Chinnaraju K. "The effect of colloidal nano-silica on workability, mechanical and durability properties of high-performance concrete with copper slag as partial fine aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 113, pp. 794–804, 2016.
46. Sobolev K. and Gutiérrez M.F. "How nanotechnology can change the concrete world," *American Ceramic Society Bulletin*, vol. 84, no. 11, pp. 16–20, 2005.

47. Behfarnia K., Azarkeivan A. and Keivan A. "The effects of TiO_2 and ZnO nanoparticles on physical and mechanical properties of normal concrete," Asian Journal of Civil Engineering (BHRC), vol. 14, no. 4, pp. 517–531, 2013.

48. Gowda R., Narendra H., Rangappa D. and Prabhakar R. "Effect of nano-alumina on workability, compressive strength and residual strength at elevated temperature of cement mortar," Materials Today: Proceedings, vol. 4, Part 3, no. 11, pp. 12152–12156, 2017.

49. Jaishankar P. and Karthikeyan C. "Characteristics of cement concrete with nano alumina particles," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 80, Article ID 012005, 2017.

50. Hisseine O.A., Wilson W., Sorelli L., Tolnai B. and Tagnit-Hamou A. "Nanocellulose for improved concrete performance: a macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems," Construction and Building Materials, vol. 206, pp. 84–96, 2019.

51. Ghahari S.A., Assi L.N., Alsalman A. and Alyamaç K.E. "Fracture properties evaluation of cellulose nanocrystals cement paste," Materials, vol. 13, no. 11, Article ID 2507, 2020.

52. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Shambina S.L., Karlina A.I. High performance lightweight concretes for 3D printing/ Magazine of Civil Engineering. 2022. 115(7). Article No. 11510. DOI: 10.34910/MCE.115.10

PROPERTIES OF CONCRETE WITH DIFFERENT NANOMATERIALS

Chudin A.V., Kharitonov A.A., Khaikin P.S.

RUDN University, Moscow, Russia
sashachudin@gmail.com

Abstract. This article examines how the properties of concrete change when nanoparticles are added. The purpose of this article is to report on international advances in methods aimed at improving the quality of traditional concrete. The addition of nanoparticles such as: silicon and aluminum nanodioxides, nanometakaolin, carbon nanotubes, titanium nanodioxide, etc., shows strong evidence to improve the quality of concrete, which contributes to infrastructure and long-term monitoring.

Nanoconcrete is a promising material that extends the boundaries of traditional construction, demonstrating increased compressive and flexural strength using elemental compounds. During the study of articles of foreign authors it was found an increase in compressive strength from 20% to 63% when replacing cement with different nanomaterials in different percentages and flexural strength from 16% to 47%.

Key words: nanoconcrete, nanomethakaolin, nanosilica, nanotitanium dioxide, nanoaluminum dioxide, carbon nanotubes, nanocellulose, compression, bending, modern nanomaterials

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПЛЁНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ И ОПОРНОГО КОНТУРА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ПРИМЕРЕ КОНСТРУКЦИИ ТУННЕЛЬНОГО ТИПА

Плясунова М.А., к.т.н., доцент,

Тимофеев А.С., Коваль Т.Е., Усманов К.П.

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Изучение совместной работы светопрозрачной плёнки покрытия Фторопласт-40 и опорного контура из стеклопластика на примере конструкции тоннельного типа для северных территорий. В статье рассмотрены основные технические характеристики материалов, используемых в конструкции, их сравнение с традиционными, применяемыми при строительстве, а также описана методика выбора наиболее рационального варианта решения конструкции – туннеля, состоящего из ломанных арок прямоугольного сечения. Рассмотрение применения новой комбинации материалов может быть полезным для разработки и оптимизации конструкций автотранспортного назначения в условиях Крайнего севера.

Ключевые слова: туннельная конструкция, стеклопластик, плёночное покрытие, фторопласт-40, Крайний север, ETFE

Введение

Развитию транспортной инфраструктуры в северных регионах часто препятствуют суровые погодные условия, особенно в зимние месяцы. Снежные заносы, обледенение и сильный ветер могут нарушить функционирование автомобильных дорог, что приводит к значительным экономическим потерям и создает угрозу для жизни людей. Потребность в надежном и эффективном решении для защиты автомобильных дорог побудила к рассмотрению и анализу возможность использования специальных туннельных конструкций.

В последние годы растет спрос на более устойчивые и экономичные решения при строительстве высокопроизводительных прозрачных туннельных конструкций. Одним из таких решений является использование материалов из армированного стекловолок-

ном пластика (FRP). Композиты FRP все чаще используются в качестве строительного материала из-за их высокого отношения прочности к весу, коррозионной стойкости и долговечности. Также все больший интерес вызывает комбинация прозрачного пленочного покрытия из фторопласта-40 (F-40) и стеклопластиковой несущей конструкции.

При проектировании туннельной конструкции должны учитываться различные факторы, такие как местный климат, геометрические параметры дорожного участка, а также тип эксплуатируемых транспортных средств. Для обеспечения стабильности и долговечности стеклопластик с использованием покрытия F-40 должен быть спроектирован и смонтирован в соответствии с установленными техническими стандартами.

В этой статье будет рассматриваться перспектива совместного использования композитов FRP и светопрозрачного покрытия F-40 в строительстве туннелей и их преимущества перед традиционными материалами.

Актуальность применяемых конструктивных решений

Проекты строительства туннелей в регионах крайнего севера, характеризующихся суровыми погодными условиями и ограниченными ресурсами, представляют собой серьезные проблемы.

Применение традиционных материалов несущих конструкций, таких как металл или дерево, является спорным, так как их использование в северных регионах имеет свои недостатки: как известно, «пониженные температуры вызывают уменьшение пластичности металла, увеличивается величина предела текучести, и перегрузки вызывают резкий рост уровня максимальных напряжений, что приводит к опасности разрушения элемента металлоконструкции в местах концентрации напряжений» [1]. Также в северных регионах характерно высокое содержание солей и влаги в воздухе, что может вызвать быстрое разрушение металлических конструкций из-за коррозии. При этом требуется использовать специальные металлы или покрытия для антикоррозионной защиты, что увеличивает стоимость и сложность строительства. Что касается древесины, то она имеет твердую структуру и меньшее количество влаги, что делает ее менее гибкой и более склонной к трещинам и ломкости. Это может привести к снижению прочности и долговечности

деревянных конструкций, что особенно опасно в условиях снегопада и сильных ветров.

Если сравнивать стеклопластиковую и металлическую конструкции, то по сравнению со сталью, композит превосходит достаточно большим модулем упругости, превышающий аналогичные характеристики изделий из металла примерно в 4 раза. Еще одним фактором будет прочностной потенциал удельной прочности, в 10 раз превышающий стальные элементы.

Кроме того, стеклопластик «обладает значительными преимуществами по сравнению с древесиной. В отличие от дерева, профиль из стекловолокна не деформируется, не гниёт и не распадается от воздействия влаги. Устойчив к воздействию насекомых, плесени и грибка. Не нуждается в обработке специальными покрытиями» [2].

Следует также учитывать, что не все типы покрытия пригодны для использования в рассматриваемых условиях. Так, широко используемый в строительстве профлист, в качестве покрытия не будет обладать достаточными для нормального функционирования свойствами. В холодных условиях на поверхности профлиста может скапливаться конденсат, особенно при эксплуатации конструкции на транспортной магистрали. Еще одним недостатком является сложность монтажа в условиях сильных морозов, что приводит к увеличению стоимости, времени установки и снижению качества монтажных процессов.

Таким образом, появляется необходимость рассмотрения материалов несущей конструкции и покрытия, обладающих превосходными механическими, тепловыми и электрическими свойствами, пригодными в суровых условиях.

Стеклопластик представляет собой легкий и прочный материал, устойчивый к коррозии и ультрафиолетовым лучам. Это отличный теплоизолятор, отлично подходящий для использования в погодных условиях Северных широт. Кроме того, его гибкость и способность к формованию позволяют изготавливать сложные формы, что делает его идеальным для использования в строительстве туннелей.

Фторопласт-40, с другой стороны, представляет собой термопластичную пленку, которая обладает превосходной устойчивостью к экстремальным температурам, химическим веществам и ультрафиолетовым лучам. Он также устойчив к разрывам и проколам,

что является большим преимуществом по сравнению с другими материалами, такими как профлист или поликарбонат. Кроме того, его высокая прозрачность позволяет проникать естественному свету, уменьшая потребность в искусственном освещении и приводя к экономии энергии, его высокая механическая прочность и гибкость делают материал пригодным для использования в проектах строительства туннелей.

Комбинированный стеклопластик в качестве несущих элементов и покрытие из фторопласт-40 образуют ряд уникальных свойств. Легкий и прочный характер этих материалов в сочетании с их способностью противостоять экстремальным погодным условиям и агрессивным веществам делает их идеальными для использования при строительстве туннелей, которые являются функциональными и устойчивыми.

Преимущества композитов FRP в строительстве туннелей:

1. Малый удельный вес: композитные материалы FRP намного легче традиционных строительных материалов, таких как сталь или бетон. Это уменьшает вес конструкции туннеля, что может привести к экономии средств во время строительно-монтажных работ.

2. Коррозионная стойкость: композиты FRP обладают высокой устойчивостью к коррозии, что является серьезной проблемой при строительстве туннелей. Это уменьшает потребность в техническом обслуживании и продлевает срок службы туннеля.

3. Высокое отношение прочности к весу: Высокое отношение прочности к весу композитов FRP означает, что они могут обеспечить необходимую структурную поддержку при меньшей площади поперечного сечения, что приводит к снижению расхода материалов и стоимости.

4. Долговечность: Композиты FRP имеют длительный срок службы и не подвержены усталостному или хрупкому разрушению. Это делает их идеальным материалом для использования в суровых условиях.

В ходе проводимых исследований [3] на конструкциях с использованием прозрачного пленочного покрытия F-40 удалось оценить механические свойства, термическую стабильность и оптические характеристики конструкций в различных условиях.

Предполагается, что сочетание пленочного покрытия F-40 и стеклопластиковой опорной конструкции обеспечит высокую

механическую прочность и термостойкость. Пленочное покрытие F-40 также демонстрирует отличную прозрачность, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и атмосферостойкость, в то время как опорная конструкция из стеклопластика обладала высокой прочностью и коррозионной стойкостью.

Сочетание этих двух материалов обеспечивает превосходные механические свойства. Результаты данного исследования могут быть полезны инженерам и архитекторам при проектировании и строительстве прозрачных туннельных конструкций. Пример проекта показан на рисунке 1.

Использование стеклопластика и фторопласта-40 в проектах строительства туннелей в крайних северных регионах является весьма актуальным, поскольку спрос на инфраструктуру в этих регионах продолжает расти.

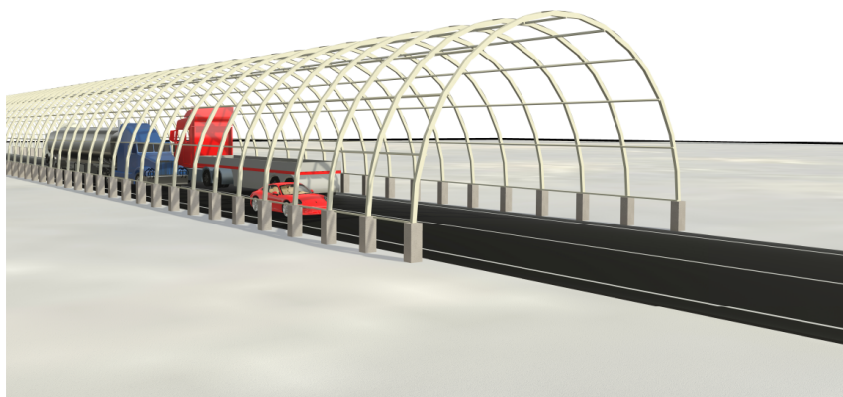


Рис. 1. Модель туннельного сооружения

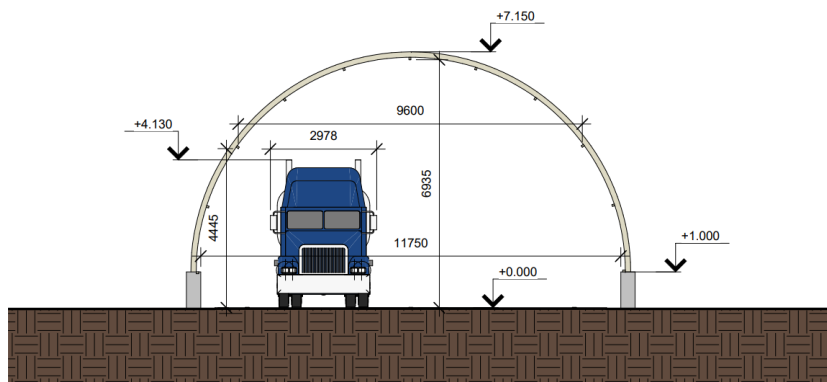


Рис. 2. Поперечный разрез туннельного сооружения

Цели и их решение

Первостепенной целью при проектировании описываемого туннельного сооружения является определение наиболее эффективного варианта конструктивного решения, который удовлетворит все требования по безопасности, эксплуатационной надежности и экономической целесообразности. Это включает в себя исследование различных форм конструкции и технологий, а также учет факторов, таких как геология местности, климатические условия, доступность транспортных средств и другие ограничения. Важно учесть, чтобы выбранный вариант конструкции соответствовал всем действующим нормам и стандартам. На рисунке 2 приведены размеры в соответствии с нормами, используемыми при проектировании автотранспортных сооружений [4].

Проектирование туннельного сооружения требует высокой технической компетенции, глубокого понимания всех факторов, влияющих на его эффективность и безопасность, а также навыков использования современных программных комплексов для расчета.

Решением поставленных задач является проведение исследований и сравнение различных вариантов конструктивных решений по степени их эффективности, оценка механических свойств стеклопластика, как несущего элемента, и пленки покрытия фторопласт-40, исследование влияния условий эксплуатации и климатических факторов на длительность срока службы тоннельных соору-

жений, разработка наиболее эффективного варианта конструктивного решения в практике строительства тоннельных сооружений.

Для реализации вышеуказанных решений необходимо применение численных расчетов в программном обеспечении для проектирования, чтобы выбрать наиболее выгодную и стабильную конструкцию для туннеля. Исследование должно проводиться с использованием коммерчески доступного программного обеспечения для анализа методом конечных элементов. Расчетная конструкция должна быть пригодна для моделирования поведения стеклопластикового туннеля при различных нагрузках и условиях, включая движение грунта, изменения температуры и изменения давления.

Использование численных расчетов в программном обеспечении для проектирования является ценным инструментом для выбора надежных и наиболее рациональных конструктивных решений. Такая модель позволяет определить оптимальную толщину, сечение и форму основных несущих конструкций.

Необходимы неоднократные исследования, чтобы подтвердить эти доводы и лучше понять поведение стеклопластика в тоннельных конструкциях в условиях северных широт.

Выбор оптимального варианта конструкции. Для сравнения рассматриваются две формы арок – круговая и ломаная, они приведены на рисунках 3, 4.

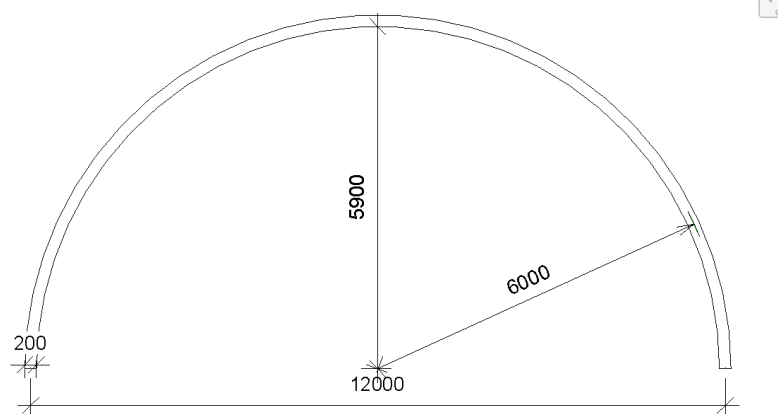


Рис. 3. Круговая арка

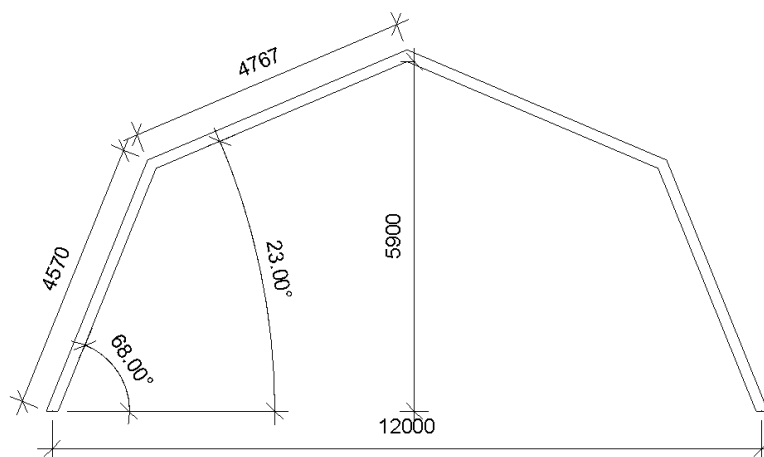


Рис. 4. Ломаная арка

Поскольку в рассматриваемом климатическом районе наибольшая нагрузка на конструкцию будет приходиться от снегового воздействия, сравнение будет в первую очередь проводиться в отношении приложения снеговых нагрузок к обоим вариантам арок.

В соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [5], снеговая нагрузка к зданиям со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытиями прикладывается как распределенная по параболе. Для сводчатых поверхностей кругового очертания значения коэффициента формы μ вычисляются в точках с уклоном 60° и 30° . Для сводчатых покрытий некругового очертания значения коэффициента формы μ вычисляются в каждой точке, а при значении угла $\alpha \geq 60^\circ$, коэффициент равен нулю, соответственно, нагрузка учитываться не будет.

Так как нижняя часть ломаной арки образует угол, превышающий 60° (см. рисунок 4), по сравнению с круговой аркой, наибольшая прочность и возникновение меньших прогибов будут обеспечены именно у ломанной за счёт значительного сокращения количества снежного покрова, скапливаемого на поверхности конструкции.

Следующим сравнительным фактором является сложность возведения конструкций. Круговая форма арки обеспечивает более

эффективное распределение веса, чем туннель с ломаной аркой. Однако процесс строительства арочных туннелей круговой формы является более сложным и трудоемким.

Первым шагом в строительстве является создание формы, которая представляет собой временную конструкцию, используемую для поддержания арки во время ее установки. Сравнивая простоту возведения круговых и ломанных арочных туннелей, становится ясно, что туннели из ломанных арок строить проще, они могут быть построены с использованием простых технологий и не требуют использования специальных механизмов, что делает процесс строительства более быстрым и менее сложным, в то время, как арочные туннели круговой формы требуют более трудоемкого процесса строительства, что затрудняет их создание.

Стоимость строительства туннельной конструкции с использованием стеклопластика в качестве несущего элемента с покрытием F-40, вероятно, будет выше, чем при использовании традиционных строительных материалов, таких как бетон или сталь. Однако это решение предлагает ряд преимуществ, в том числе более низкие затраты на электроэнергию, снижение затрат на техническое обслуживание и более длительный срок службы. Кроме того, использование новой комбинации материалов может обеспечить уникальную визуальную привлекательность, что повысит эстетическую ценность конструкции туннеля и поспособствует его общей функциональности. Однако стоит учесть наиболее выгодный вариант конструкции с целью экономии средств при строительстве.

Ломаная форма арок имеет ряд преимуществ по сравнению с круглой. Во-первых, ломаная арка обладает более низкими затратами на материалы, так как требуется меньшее количество материалов для ее постройки. Во-вторых, позволяет уменьшить время строительства туннеля, так как в процессе строительства может быть задействовано меньше рабочей силы и средств механизации.

При выборе поперечного сечения стержней стеклопластиковой конструкции предпочтение отдается прямоугольной форме, нежели круглой. За счёт ее геометрических и механических свойств сооружение приобретает большую прочность.

Результаты численных исследований также говорят о том, что туннельное сооружение из стеклопластикового каркаса в виде арок ломаной формы с прямоугольным поперечным сечением

стержней является наиболее выгодным вариантом для проектирования за счет своей технологичности.

Заключение

Строительство туннельных конструкций для защиты северных автомагистралей с использованием несущего каркаса из стеклопластика с покрытием F-40 является многообещающим решением, которое предлагает ряд преимуществ, включая улучшенную функциональность, снижение затрат на электроэнергию и повышенную долговечность. Эти материалы обладают хорошими техническими характеристиками, которые обеспечивают долговечность и стойкость к воздействию внешних факторов, что является особенно важным в условиях Крайнего Севера.

Такая технология строительства туннелей поможет снизить трудозатраты на строительство и ускорить данный процесс, что является важным фактором при работе в условиях ограниченного времени. Кроме того, эти материалы могут использоваться для различных типов туннелей, включая железнодорожные и автомобильные туннели.

Тем не менее, важно учитывать экономические и экологические последствия этого решения и продолжать оценивать его эффективность и осуществимость с течением времени.

На основании проведенного анализа при выборе наиболее рациональной формы конструкции тоннеля, можно сказать о том, что использование ломаной формы арок является оптимальным решением при строительстве, особенно если речь идет о конструкциях, которые находятся в районах Крайнего севера. Ломаные арки обеспечивают высокую прочность и устойчивость к нагрузкам, такой тип конструкции является экономичным и позволяет сократить затраты на материалы и сборку.

В целом, использование пленочного покрытия F-40 и стеклопластиковой опорной конструкции является перспективным и эффективным способом строительства туннелей в условиях Крайнего Севера, что может привести к улучшению инфраструктуры в этом регионе.

Ожидается, что в связи с растущим спросом на надежную и устойчивую транспортную инфраструктуру, использование стеклопластика с покрытием F-40 в качестве несущей конструкции для

туннельных конструкций будет достаточно быстро набирать популярность. В будущем, возможно, появятся новые технологии для повышения производительности и надежности этого решения.

Список литературы

1. *Квагинидзе В.С., Козлов В.А.* Влияние низких отрицательных температур на работоспособность металлоконструкций горных машин / Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 9, с. 16–18.
2. Сравнение композитных материалов с металлами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stal-kom.ru/sravneniye-kompozitnykh-materialov-s-metallami/> (дата обращения: 10.02.2023).
3. *Кашина И.В., Киселев И.М., Евлахова Е.Ю.* Использование этилен-тетрафторэтилена (этфэ) в покрытиях большепролетных зданий и сооружений / Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 17, с. 69–75.
4. ГОСТ 33153-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование тоннелей. Общие требования - М.: Стандартинформ, 2015 год.
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) - Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

RESEARCH OF THE JOINT WORK OF A TRANSLUCENT FILM COATING AND A FIBERGLASS SUPPORT CONTOUR ON THE EXAMPLE OF A TUNNEL-TYPE STRUCTURE

Plyasunova M.A, Timofeev A.S.,

Koval T.E., Usmanov K.P.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The study of the joint work of the translucent film of the Fluoroplast-40 coating and the fiberglass support contour on the example of a tunnel-type structure for the northern territories. The article discusses the main technical characteristics of the materials used in the construction, their comparison with the traditional ones used in construction, also describes the methodology for choosing the most rational

solution to the design – a tunnel consisting of broken arches of rectangular cross-section. Consideration of the use of a new combination of materials can be useful for the development and optimization of structures for motor transport purposes in the conditions of the Far North.

Keywords: tunnel construction, fiberglass, film coating, fluoroplast-40, Far North, ETFE

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДАМИ КОРОТКОГО ПРИТОКА РЕКИ ТИГР

Хмиш Висам Хафед, аспирант
Синиченко Е.К.^{}, к.т.н., доцент,*
Департамент строительства,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
sinichenko-ek@rudn.ru

Аннотация. Река Большой Заб – международная река, разделяемая Ираком и Турцией. Планирование бассейна реки позволяет выявить взаимодействия водопользователей, которые конкурируют за воду внутри речного бассейна. К бассейну была применена модель планирования анализа и оценки водных ресурсов (WEAP) для определения оптимальной системы планирования (GZR) и планирования оптимальной операционной политики.

Основная проблема при таком планировании заключается в том, как система удовлетворяет будущие потребности в воде. По этой причине оптимальные ежемесячные расходы воды были смоделированы с использованием модели WEAP прошлых лет.

Ключевые слова: бассейн реки Большой Заг, нехватка воды, изменение климата, трансграничные водосборные бассейны, водные ресурсы

Нехватка воды становится серьезной проблемой в Ираке из-за растущего спроса на воду со стороны всепоглощающих секторов [1:669]. Изменение климата, активизация сельскохозяйственной деятельности, а также потребление воды в промышленных и бытовых целях являются главными факторами, усугубляющими остроту дефицита воды.

Около 40 % населения мира проживает в 263 трансграничных водосборных бассейнах, особенно в тех, которые охватывают две или более страны. Половина земной поверхности покрыта этими трансграничными бассейнами и, по оценкам, составляет 60% глобального стока пресной воды [3:1289].

Управление водными ресурсами трансграничного сотрудничества желательно, но может быть затруднено, часто из-за неясных и оспариваемых прав собственности. С ростом населения пла-

неты увеличивается потребность в воде, усиливается давление на ограниченные водные ресурсы. Ожидается, что к 2050 году население мира достигнет 9,9 миллиарда человек. Из-за тесного прироста населения к изменению климата это может привести к значительному и высокому давлению на доступность водных ресурсов. Существует неопределенность в отношении точного числа людей, проживающих на Земле в ближайшее десятилетие, но население будет продолжать расти, что повлияет на доступность воды [9:159].

Согласно статистическим данным Министерства планирования, в регионе трех провинций Ирака, в провинции Эрбиль, которая является столицей региона, наблюдается значительный рост населения. Согласно статистике Эрбиля, потребность в воде возрастет втрое. Поэтому новый стратегический план для GZRB имеет важное значение. Принимая это во внимание, в данном исследовании будет предложена существенная основа для развития бассейна реки Большой Заб (GZRB) на следующие 33 года до 2050 года [4: 1250].

Водные ресурсы Эрбиля подвергались некоторым рискам и угрозам, среди которых: отсутствие регулирования использования подземных вод, увеличение потребления воды вверх по течению от реки, которая образуется в Турции, что приводит к снижению притока вниз по течению в Курдистане, ожидаемое воздействие изменения климата на речной бассейн может нанести ущерб реке, быстрорастущее население ведет к быстрорастущим требованиям [6: 508].

Годовой сток ГЗР составляет около 13,3 млрд куб. м (13300 млн м³). Однако из-за отсутствия стратегических проектов в пределах речного бассейна правительство не получило значительных выгод от стока воды из этой реки. Скорость речного стока зимой – более 2500 м³/сек, потому что сезон дождей, это может вызвать наводнения в этом районе. Летом расход – 50 м³ /сек. Этот показатель может негативно повлиять на окружающую среду, например, ухудшить качества воды из-за отсутствия проектов по очистке сточных вод в городах, расположенных в пределах этого бассейна [8: 38].

Река Большой Заб является одним из крупных притоков реки Тигр. Она течет в 390 км вниз по течению от своего истока из Турции. В гидрографической схеме Северного Ирака преобладают четыре крупные реки с общим направлением течения с северо-востока на юго-запад (рис. 1).

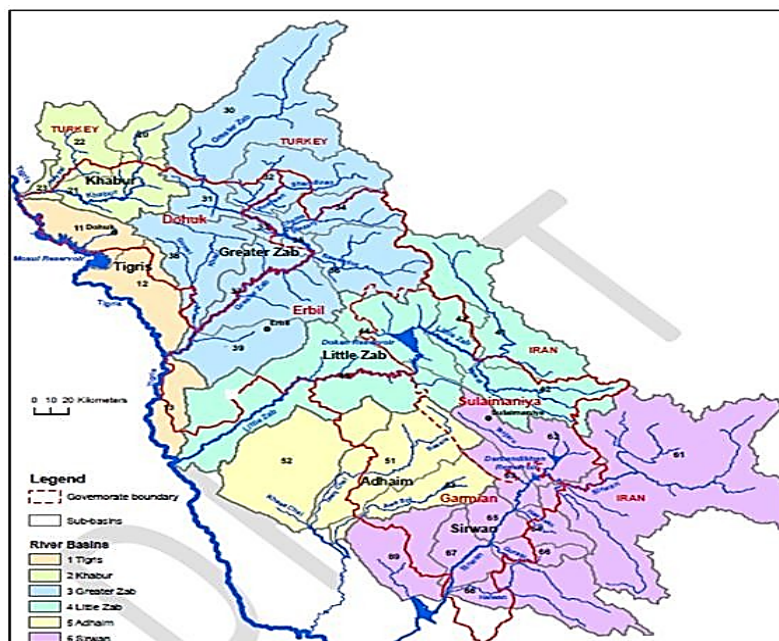


Рис. 1. Карта притока Тигра в Ираке

Четыре реки с севера на юг, такие как Хабур, Большой Заб, Малый Заб и Сирван, впадают в Тигр за пределами границы Ирака. Эти четыре основные реки и некоторые из их основных притоков берут начало в Турции (Хабур и Большой Заб) или Иране (Малый Заб и Сирван). Пятый, меньший речной бассейн, бассейн Адхаим, полностью находится на территории Ирака. Планируемая на ГЗР третья крупная водохранилищная дамба Бехме не достроена. На самом деле эта плотина строилась в 1984-х годах. Весь бассейн реки имеет площадь 26306 км²; это самый важный речной бассейн в провинции Эрбиль, так как он охватывает 1/3 всего севера территории провинции Ирака, включая город Эрбиль. В таблице 1 показаны площадь и пропорции бассейна на региональном и национальном уровнях.

Таблица 1

| Бассейн реки | | Тигр прямой | Хабур | Большой Заб | Малый Заб | Адхам | сэр-ван |
|---|-----------------|----------------|--------|--------------------------|-----------|------------|-------------|
| Площадь водосбора км ² | Источник | Турция | Турция | Турция | Иран | Ирак | Иран |
| | Разведка / Ирак | 40,600 | 1,303 | 9,414 | 4,883 | - | 17,423 |
| | Северный Ирак | 2,770 | 2,627 | 16,696 | 12,229 | 5,774 | 9,266 |
| Всего в устье | | п/а | 6,027 | 26,331 | 19,593 | п/а | п/а |
| Существующая большая плотина | | Мосул | - | Недостроенная плотина | Дохук | - | Дарбандихан |
| Провинция | | Дохук | | Эрбиль | | Сулеймания | |

| Суб-Ривер | Площадь водосбора км ² | Годовое количество осадков, мм | Среднегодовой расход м ³ /сек | Годовой поток млрд кубометров |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| Река Заб Турция | 9422 | 1200 | 168.08 | 5.3 |
| Шин Ривер | 3341 | 1200 | 67.38 | 2.1 |
| Река Чама. | 1844 | 1100 | 34.1 | 1.07 |
| Река Руандвз | 2956 | 900 | 44.7 | 1.41 |
| Река Хазер | 3303 | 600 | 31.4 | 0.99 |

В целом ГЗР питается четырьмя магистральными рукавами. Годовой сток по ГЗР составляет более 13,3 млрд куб.

Таким образом, каждый речной бассейн включает три основные гидрологические зоны:

1. высокогорная зона (эквивалентная геологической «надвиговой зоне») с ограниченным запасом грунтовых вод, но большим количеством осадков и значительным запасом снега. Этот район малонаселен (даже частично необитаем из-за проблем с безопасностью) и характеризуется крутыми склонами и узкими долинами;

2. более или менее аттестованная зона, дренирующая основные карстово-трещинные водоносные горизонты региона. В рельефе преобладают вытянутые горные хребты, которые часто пересекаются реками через узкие промежутки, создающие удобные места для строительства плотин. С гидрологической точки зрения район очень неоднороден, с такими явлениями, как каньоны, сухие долины, с другой, и большие родники (дебит несколько м³/с в течение года), которые питаются крупными подземными карстовыми системами;

3. низменные равнины с типичной высотой от 300 м над уровнем моря. Район представляет собой частично сельскохозяйственные угодья, частично эродированные «бесплодные земли» и включает в себя как густонаселенные (вокруг столицы КР Эрбиль), так и малонаселенные районы.

Значительная часть равнины сложена высокопродуктивным бахтиарским водоносным горизонтом, частично перекрытым флювиальными отложениями и террасами или менее проницаемыми слоями. Ресурсы подземных вод, в основном хорошего качества, но ограниченные из-за малого количества осадков (300-500 мм/год), интенсивно используются несколькими тысячами глубоких скважин. Большинство низменных притоков представляют собой сезонные долины, без постоянного базового стока в засушливые сезоны, как показано на рис. 2, а ежемесячный сток для пяти суббассейнов показан в таблице 3.

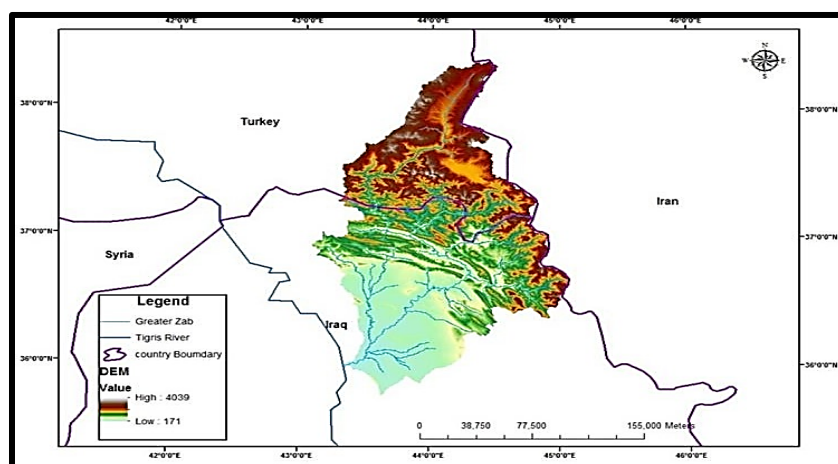


Рис. 2. Карта высот района исследований ГЗРБ

Таблица 3

Годовой и месячный речной сток для ГЗРБ

| | | Средне- годовой дебит (мм ³) | Экологи- ческий предел (млн м ³ /мес) | Минималь- ный месяч- ный дебит (млн м ³) месяцы | Минималь- ный месяч- ный дебит (млн м ³) месяцы |
|-----|-------------|---|---|---|---|
| SB1 | Средний год | 2700 | 23 | 80 | сентябрь |
| | Сухой год | 1900 | 23 | 20 | июнь – авг. |
| СБ2 | Средний год | 8700 | 73 | 220 | сентябрь |
| | Сухой год | 5700 | 73 | 150 | сентябрь |
| СБ3 | Средний год | 9000 | 75 | 230 | сентябрь |
| | Сухой год | 5900 | 75 | 150 | август |
| СБ4 | Средний год | 8900 | 75 | 220 | сентябрь |
| | Сухой год | 5900 | 75 | 150 | август |
| СБ5 | Средний год | 9300 | 80 | 230 | сентябрь |
| | Сухой год | 6200 | 80 | 160 | август |

Бассейн был разделен на две основные области: равнинную часть, включающую равнину Эрбиль, и горную область в северной части бассейна. Равнины и предгорья характеризуются более

плоскими почвами, позволяющими легче возделывать землю, чем горные районы. Осадки обычно превышают 700 мм в год и даже меньше 350 мм в самой засушливой части недалеко от города Эр-биль. Фермеры часто сажают ячмень, чтобы ограничить потери урожая в случае ограниченных дождей.

В соответствии с различными факторами, включая близость к реке, основным городским центрам и количеству осадков, мы выделяем горную, местность.

В горных районах чередуются леса, пастбища, пахотные земли и орошаемые долины. Древесный покров горных склонов региона достигает высоты от 600 до 2000 м и в основном состоит из дубовых редколесий и некоторых дубовых лесов, удерживающих деревья среднего размера, часто с раскидистой кроной. Они являются основным источником дохода и необходимы для средств к существованию горного населения (мелких фермеров). Животноводы региона занимаются отгонным животноводством, перегоняя свою группу овец и коз на высокогорные пастбища летом и на равнины зимой. Количество осадков (более 900 мм/год) позволяет выращивать пшеницу (и ячмень) в дождливых условиях, а орошение овощей и садов сосредоточено на небольших участках в долинах у постоянных источников и рек.

На рис. 3 показаны границы климатических сельскохозяйственных районов и субрегионов в бассейне реки Большой Заб, разделенные на основные регионы: горный район, из которого построена большая часть воды, он считается дождливым районом, горный район, на нем расположена большая часть земель, предназначенных для сельского хозяйства, и земли с равнинами, являющиеся нижней частью речного бассейна, одного из районов производства семян (пшеница и ячмень).

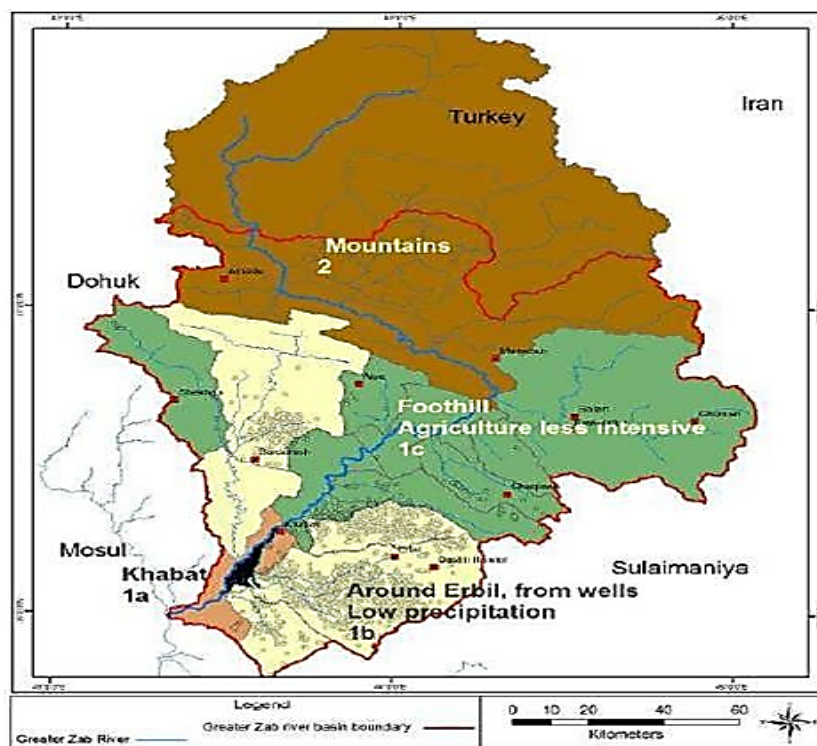


Рис. 3. Карта агроклиматических зон

Согласно сбору данных, большинство домохозяйств (77%) получают питьевую воду по трубам. Другим основным источником питьевой воды являются автоцистерны. Город Эрбиль получает 40 % оросительной воды из колодцев, в то время как в горной местности основные заборы для питьевых целей поступают, прежде всего, из поверхностных и родниковых ресурсов. Вода населением почти не оплачивается: (10000 динаров) в месяц и за дом подключения (200 м²) (около 8\$). Муниципальные здания, такие как, больницы, школы, также не платят за воду. Большая часть имеющихся запасов воды в районе, превышающая 80 процентов, использовалась для орошения. Кроме того, уровень эффективности использования воды в регионе относительно низок, обычно от 37% до 53%. Как показывает это исследование, водная политика в провинции

Эрбиль должна будет улучшить управление спросом и предложением, а также выделить больше ресурсов для развития местных технологий опреснения.

Минимальный расход для ГЗР в маловодной август 2001 г. составил 51 м³/сек на водомерной станции Калак. Использование воды в промышленности провинции Эрбиль, как правило, происходит из подземных вод и является высоким из-за сочетания факторов, включая устаревшие технологические процессы, плохие методы рециркуляции и повторного использования, а также неудовлетворительную очистку сточных вод. Эффективность использования воды во всех промышленных целях должна быть оптимизирована, а осознание воды как дефицитного ресурса поощряться.

В исследовании мы использовали WEAP для представления притоков, участков спроса, резервуаров, линий передачи (отводов), обратных потоков, прибылей и убытков, а также для моделирования влияния этих компонентов системы на поставки к участкам спроса, рис. 4.

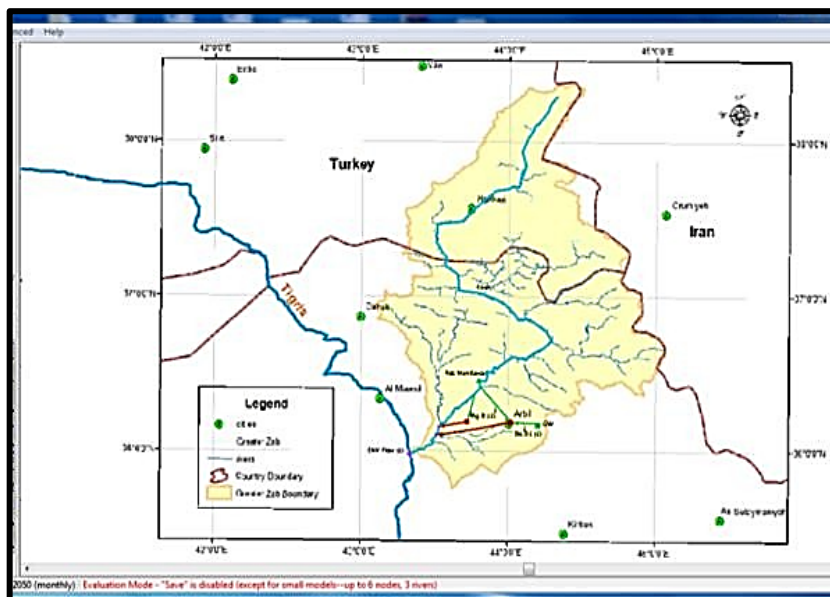


Рис. 4. Схема модели GZR WEAP

Разработка действующей и надежной модели систем водоснабжения и сельского хозяйства для GZRB является заключительным компонентом аналитического подхода. Для настройки и конфигурации модели использовался период разработки модели с использованием исторических данных с 2000 по 2016 год. После того, как модель GZRB WEAP была откалибрована и проверена по отношению к историческому периоду, она используется для прогнозирования при различных предположениях об использовании ресурсов и климате.

При анализе рассматривался перспективный плановый период с 2016 по 2050 год. Годовая потребность в воде для сельского хозяйства – 3500 м³/га, а рассчитанные орошаемые земли в провинции Эрбиль на 2015 год – 117110 га. GZRB включает в себя центры спроса города Эрбиль и близлежащих районов и подрайонов. Единый объект спроса также используется для представления бытового использования воды, где мы предполагаем, что (99745 га) находятся под активным орошением, используя (506 млн м³) в год. Годовое потребление воды для бытовых нужд на душу населения – 179 м³, годовая потребность в воде для орошения 3500 м³, она используется WEAP.

Таблица 4

Показывает удельные потребности в воде для орошения

| Год | Годовая потребность в оросительной воде (м ³) | Год | Годовая потребность в оросительной воде (м ³) |
|------|---|------|---|
| 2015 | 3500 | 2035 | 3200 |
| 2020 | 3400 | 2040 | 3150 |
| 2025 | 3300 | 2045 | 3100 |
| 2030 | 4300 | 205 | 3050 |

Вопрос о том, уменьшается ли количество осадков в GZRB в целом, широко обсуждался, в частности, после периода исключительной засухи с 1989 и 1999 по 2001 год, вызвавшей значительное истощение водных ресурсов. Однако кластеры засушливых лет являются нормальным статистическим явлением в регионах с высокой изменчивостью климата и не обязательно являются признаком изменения климата, как показано в таблице 5 и на рис. 5.

Таблица 5

Среднемесячный расход воды на ст. Калак (м³/с) за 2014 (сухой, влажный) год

| Месяц | Окт | Ноя | Дек | Янв | Фев | Мар | Апр | Май | Июн | Июл | Авг | Сен |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| Засушливый 1989 год | 67.2 | 83.4 | 102.6 | 82.2 | 60.9 | 242.1 | 312.9 | 246.5 | 96.1 | 38.1 | 33.8 | 35.1 |
| Влажный 1969 год | 168.7 | 308.3 | 836.5 | 603.6 | 554.2 | 1,646 | 1,781 | 1,632 | 698 | 351.5 | 227 | 180.4 |
| 2015 год | 202 | 233 | 265 | 242 | 250 | 412 | 393 | 338 | 239 | 182 | 154 | 138 |

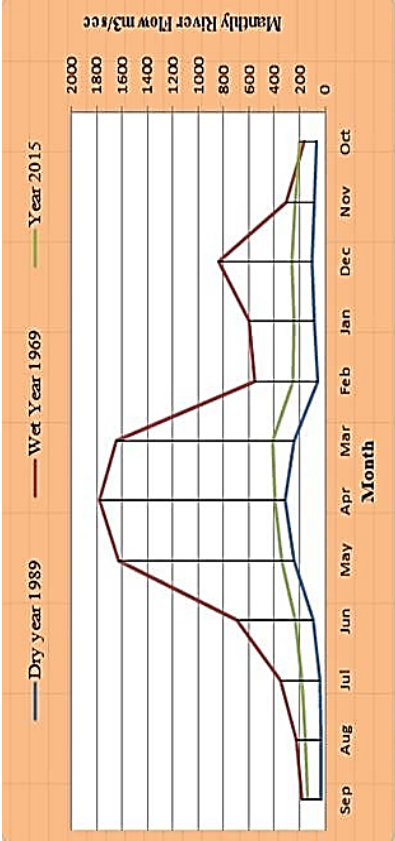


Рис. 5. Среднемесячный расход воды (м³/с) на ст. Калак (паводок и засуха)

Рассмотрим 3,4% как нормальный случай коэффициента годового прироста населения. Во-первых, модель запускалась как текущая ситуация, которая называется эталонным сценарием. Выходным результатом является водоснабжение, которое не может покрыть потребности в период с 2046 по 2050 годы в августе и сентябре. Это указывает на то, что бассейн сталкивается с проблемами, связанными с водными ресурсами и их доступностью. Таким образом, правительство должно тщательно продумать и разработать стратегический план для будущего поколения. Неудовлетворенная потребность в воде, общая потребность в воде для сельского хозяйства и бытовых нужд в августе и сентябре приведены в таблице 6.

Таблица 6

Показывает требуемое и достаточное водоснабжение

| Потребность в подаваемой воде в августе и сентябре с 2046 по 2050 год (млн м³) млн м³ | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Использование воды | 2046 | 2047 | | 2048 | | 2049 | | 2050 | | | | | | |
| | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | сен | |
| | 280.3 | 233.6 | 288.1 | 240.1 | 295.8 | 246.5 | 303.5 | 252.9 | 311.1 | 259.3 | | | | |
| | 57.7 | 50.2 | 58.4 | 50.8 | 59.2 | 51.5 | 59.9 | 52.1 | 60.6 | 52.7 | | | | |
| | 338 | 283.8 | 346.5 | 290.9 | 355 | 298 | 363.4 | 305 | 371.7 | 312 | | | | |
| Потребность в воде в августе и сентябре с 2046 по 2050 гг. | | | | | | | | | | | | | | |
| Использование воды | Неудовлетворенная потребность в воде в августе и сентябре с 2046 по 2050 год (млн м³) млн м³ | | | | | | | | | | | | | |
| | 2046 | 2047 | | 2048 | | 2049 | | 2050 | | | | | | |
| | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | сен | |
| | 2.7 | 3.1 | 9.8 | 9.1 | 16.9 | 15 | 23.9 | 20.8 | 30.9 | 26.6 | | | | |
| | 0.5 | 0.6 | 1.9 | 1.9 | 3.3 | 3.1 | 4.7 | 4.2 | 6 | 5.4 | | | | |
| Total | 3.2 | 3.7 | 11.7 | 11 | 20.2 | 18.1 | 28.6 | 25 | 36.9 | 32 | | | | |
| Общий объем поставок воды в августе и сентябре с 2046 по 2050 год (млн м³) млн м³ | | | | | | | | | | | | | | |
| Использование воды | 2046 | 2047 | | 2048 | | 2049 | | 2050 | | | | | | |
| | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | авг | сен | сен | |
| | 277.6 | 230.4 | 278.3 | 231 | 279 | 231.6 | 279.6 | 232.1 | 280.2 | 232.6 | | | | |
| | 57.2 | 49.5 | 56.5 | 48.9 | 55.8 | 48.4 | 55.2 | 47.8 | 54.6 | 47.3 | | | | |
| | 334.8 | 279.9 | 334.8 | 279.9 | 334.8 | 280 | 334.8 | 279.9 | 334.8 | 279.9 | 334.8 | 279.9 | 279.9 | |

Водоснабжения недостаточно для покрытия и удовлетворения потребности в засушливые месяцы (август и сентябрь), когда потребность в воде очень велика и достигает максимума около 37 млн м³ в 2050 году.

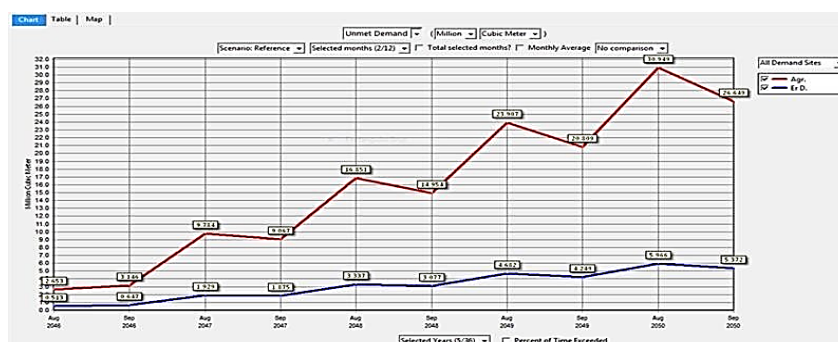


Рис. 6. Август и сентябрь 2046-2050 гг. неудовлетворенные дем. для Агри. и Дом. использование воды

Сценарий быстрого роста населения является одной из возможностей, которые могут произойти в будущем. Для этого сценария годовой коэффициент роста рассчитывается как высокий коэффициент 5%. В этом случае население в 2050 г. составило бы 10 млн человек после внесения всех данных. В результате водоснабжение не может покрыть спрос в период с 2032 по 2050 год как в августе, так и в сентябре [7: 1195].

Таблица 7

Иллюстрирует неудовлетворенный спрос на воду с 2032 по 2050 гг.

| Общая неудовлетворенная потребность в воде в августе и сентябре с 2032 по 2050 год (млн м³) млн м³ | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|
| Water Use | 2032 | | 2033 | | 2034 | | 2035 | | 2036 | | | |
| | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept |
| Agriculture | 28.6 | 24.5 | 56 | 47.3 | 83.7 | 70.3 | 111.4 | 93.4 | 131 | 109.7 | | |
| Domestic | 4.7 | 4.2 | 8.8 | 7.8 | 12.7 | 11.1 | 16.2 | 14.2 | 18.8 | 16.5 | | |
| Total | 33.3 | 28.7 | 64.8 | 55.1 | 96.4 | 81.4 | 127.6 | 107.6 | 149.8 | 126.2 | | |
| | 2037 | | 2038 | | 2039 | | 2040 | | 2041 | | | |
| Water Use | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| Agriculture | 150.6 | 126 | 170.1 | 142.2 | 189.6 | 158.4 | 208.9 | 174.6 | 237.7 | 198.6 | | |
| Domestic | 21.5 | 18.7 | 24.1 | 21 | 26.7 | 23.3 | 29.4 | 25.6 | 33.2 | 28.9 | | |
| Total | 172.1 | 144.7 | 194.2 | 163.2 | 216.3 | 181.7 | 238.3 | 200.2 | 270.9 | 227.5 | | |
| | 2042 | | 2043 | | 2044 | | 2045 | | 2046 | | | |
| Water Use | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| Agriculture | 266.4 | 222.5 | 295 | 246 | 323.6 | 270.1 | 352 | 293.8 | 378.1 | 315.5 | | |
| Domestic | 37 | 32.2 | 40.9 | 35.7 | 45 | 39.2 | 49.1 | 42.8 | 52.1 | 45.4 | | |
| Total | 303.4 | 254.7 | 335.9 | 281.7 | 368.6 | 309.3 | 401.1 | 336.6 | 430.2 | 360.9 | | |
| | 2047 | | 2048 | | 2049 | | 2050 | | 2051 | | | |
| Water Use | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| Agriculture | 404 | 337.1 | 429.8 | 358.6 | 455.5 | 380 | 481 | 401.2 | | | | |
| Domestic | 55.2 | 48.1 | 58.2 | 50.7 | 61.2 | 53.2 | 64.2 | 55.8 | | | | |
| Total | 459.2 | 385.2 | 488 | 409.3 | 516.7 | 433.2 | 545.2 | 457 | | | | |

| Потребность в водоснабжении в августе и сентябре с 2032 по 2050 год (млн м³) млн м³ | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Использование воды | 2032 | 2033 | | 2034 | | 2035 | | 2036 | | | | |
| | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept |
| сельское хозяйство | 315.4 | 262.8 | 344.9 | 287.4 | 374.4 | 311.9 | 403.5 | 336.3 | 423.5 | | 423.5 | 353 |
| Одомашненный | 52.7 | 45.8 | 54.7 | 47.6 | 56.8 | 49.4 | 58.9 | 51.2 | 61.1 | | 61.1 | 53.2 |
| Всего | 368.1 | 308.6 | 399.6 | 335 | 431.2 | 361.3 | 462.4 | 387.5 | 484.6 | | 484.6 | 406.2 |
| | 2037 | | 2038 | | 2039 | | 2040 | | 2041 | | | |
| Использование воды | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| сельское хозяйство | 443.5 | 369.5 | 463.2 | 386 | 482.9 | 402.3 | 502.3 | 418.6 | 531.4 | | 531.4 | 442.9 |
| Одомашненный | 63.4 | 55.1 | 65.8 | 57.2 | 68.2 | 59.3 | 70.8 | 61.5 | 74.3 | | 74.3 | 64.6 |
| Всего | 506.9 | 424.6 | 529 | 443.2 | 551.1 | 461.6 | 573.1 | 480.1 | 605.7 | | 605.7 | 507.5 |
| | 2042 | | 2043 | | 2044 | | 2045 | | 2046 | | | |
| Использование воды | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| сельское хозяйство | 560.3 | 466.9 | 588.9 | 490.4 | 617.4 | 514.5 | 645.7 | 538 | 672.2 | | 672.2 | 560.1 |
| Одомашненный | 77.9 | 67.8 | 81.8 | 71.2 | 86 | 74.7 | 90.2 | 78.5 | 92.8 | | 92.8 | 80.7 |
| Всего | 638.2 | 534.7 | 670.7 | 561.6 | 703.4 | 589.2 | 735.9 | 616.5 | 765 | | 765 | 640.8 |
| | 2047 | | 2048 | | 2049 | | 2050 | | 2051 | | | |
| Использование воды | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | Aug | Sept | | |
| сельское хозяйство | 698.5 | 582 | 724.6 | 603.8 | 750.5 | 634.4 | 776.3 | 646.8 | | | | |
| Одомашненный | 95.5 | 83.1 | 98.2 | 85.4 | 101 | 87.7 | 103.7 | 90.1 | | | | |
| Всего | 794 | 665.1 | 822.8 | 689.2 | 851.5 | 722.1 | 880 | 736.9 | | | | |

В этом сценарии экологические стоки рассчитываются с учетом месячного речного стока 50 м³/сек для нижнего течения реки Тигр. Это предлагается в качестве минимального стока реки в сухой сезон. Сценарий SEF является одной из возможностей, которые могут произойти в будущем. Для этого сценария годовой коэффициент роста рассчитывается как предлагаемый 3,4% и высокий коэффициент 5%. После ввода всех данных, требуемых программным обеспечением, запуск модели учитывает будущий рост населения для обоих сценариев SR и SHP. Водоснабжение не может покрыть спрос в течение 2030–2050 годов. Следовательно, надо разработать стратегический план, начиная с 2021 года, тщательно для будущего поколения, неудовлетворенного спроса на воду в августе и сентябре, как показано на рис. 7-8.

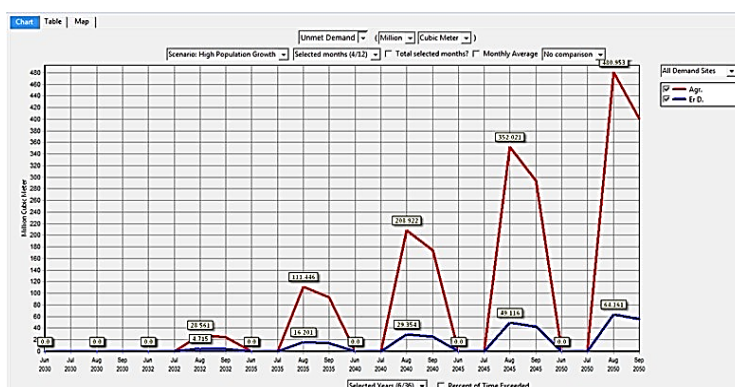


Рис. 7. Иллюстрирует неудовлетворенное количество воды с 2032 по 2050 гг.

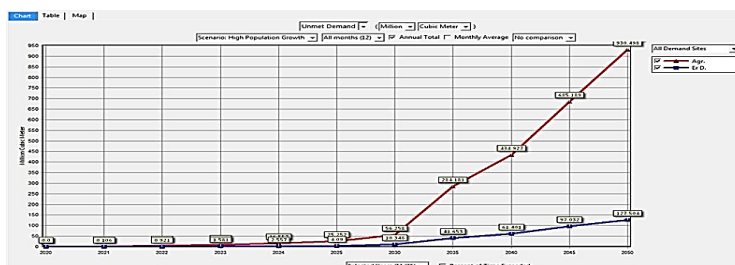


Рис. 8. Диаграмма неудовлетворенного спроса для SHPG, обязательный экологический поток

Результат для трех сценариев (SR, SHPG и SEF) продемонстрирован ниже на рис. 9-11 в дополнение к сравнению трех выше-приведенных сценариев.

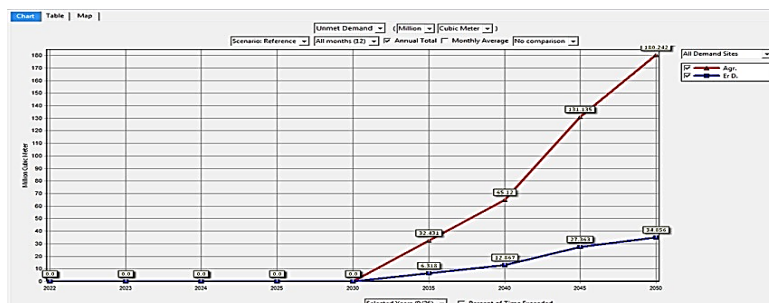


Рис. 9. Диаграмма неудовлетворенного спроса на SR, обязательный экологический поток

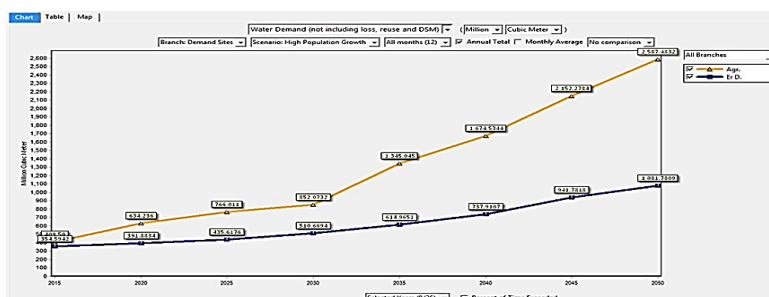


Рис. 10. Диаграмма водопотребления по секторам водопотребления (сельхоз. и дом.) для SHPG, и обязательный сток окружающей среды

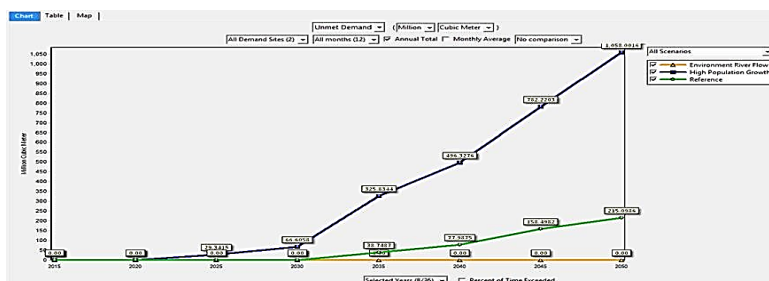


Рис. 11. Таблица неудовлетворенного спроса для трех сценариев (SR, SHPG и SEF), обязательный расход окружающей среды

Таблица 9

**Сценарий SR иллюстрирует секторы (Арг. и Дом.)
в случае месячного авен. окр. расход 50 млн м³**

| Сценарий CP Сектор бытового (месячный пр. расход окружающей среды 50 м³/сек.) | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Год / Годовой объем воды, млн м³ | | | | | | | |
| | 2021 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| Потребность в воде | 364 | 373.6 | 405.6 | 458.62 | 514.1 | 621.6 | 666.9 |
| Водоснабжение | 364 | 373.6 | 405.6 | 452.3 | 502.7 | 594 | 632 |
| Неудовлетворенная вода | 0 | 0 | 0 | 6.32 | 11.4 | 27.6 | 34.9 |
| Сценарий SHPG Сектор Бытового (ежемесячный пр. Окружающий расход 50 м³) | | | | | | | |
| Год / Годовой объем воды, млн м³ | | | | | | | |
| | 2021 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| Потребность в воде | 396 | 435.6 | 510.7 | 615 | 738 | 942 | 1082 |
| Водоснабжение | 395.9 | 431.5 | 500.4 | 573.3 | 676.6 | 845 | 954.5 |
| Неудовлетворенная вода | 0.1 | 4.1 | 10.3 | 41.7 | 61.4 | 97 | 127.5 |

Большая часть Ирака в настоящее время имеет ограниченный доступ к источникам чистой воды. Серьезные риски для окружающей среды и здоровья, связанные с загрязненной водой, неправильным обращением с твердыми отходами и удалением сточных вод, угрожают увеличить нагрузку на и без того перегруженную систему здравоохранения [5: 1273].

Кроме того, концентрация экономической и социальной деятельности в крупных городских центрах Ирака также привела к преобладанию малообслуживаемых районов в крупных иракских городах. Потери воды в системах водоснабжения и используемые технологии неэффективны и неквалифицированы. В расчете на душу населения водоснабжение становится более жестким.

Правительствам необходимо внедрить стратегическое планирование, которое может повысить эффективность водопользования и улучшить распределение ограниченных ресурсов между сельскохозяйственными, промышленными и местными районами [5: 1270].

Таким образом, планируется резерв для будущего использования воды. Управление и разработка долгосрочного стратегичес-

кого плана для GZRB очень важны для Ирака и провинции Эрбиль из-за роста аномального населения.

Список литературы

1. *Аль-Ансари Н.* «Управление водными ресурсами в Ираке: перспективы и прогнозы. Машиностроение», 2013, 5(6), р. 667-684.
2. Годовой отчет «ООН-водные ресурсы» (<http://www.unwater.org/publications/un-water-annual-report-2008>).
3. *Карим С.М. и Карим Т.Х.* «Повышение эффективности бороздкового орошения и продуктивности воды за счет улучшения проектирования и управления водными ресурсами в потрескавшейся почве», 2020, 51 (5), р.1276-1289.
4. *Кея Д.Р. и Карим Т.Х.* «Многомерные модели для прогнозирования эрозионной активности осадков по годовому количеству осадков и географическим координатам в регионе с неоднородным плювиальным режимом», 2020, 51 (5) р.1249–1261.
5. *Мохаммед К.М. и Карим Т.Х.* «Приоритизация водоразделов в провинции Эрбиль для управления эрозией почвы с помощью морфометрического анализа», 2020, 51 (5), р.1262–1275.
6. *Ринглер К. и Анвар А.* «Вода для продовольственной безопасности: вызовы для Пакистана», 2013, 38 (5), р. 505-514.
7. *Салливан К.* «Расчет индекса бедности воды. Мировое развитие», 2002, 30 (7), р. 1195-1210.
8. *Хамид Х.* «Сбор воды в провинции Эрбиль, Курдистан, Ирак: обнаружение подходящих участков с использованием географической информационной системы и дистанционного зондирования», 2013, 1, р. 30-38.
9. *Эртек А., Сенсой С., Гедик И. и Кючюкюмук К.* «График орошения на основе значений испарения с поддона для огурца, выращиваемого в полевых условиях. Сельскохозяйственное управление водными ресурсами», 2006, 81 (1-2), р. 159–172.

References

1. *Al-Ansari N.* Water Management in Iraq: Perspectives and Forecasts. Engineering”, 2013, 5(6), р. 667-684.
2. UN-Water Annual Report (<http://www.unwater.org/publications/un-water-annual-report-2008>).

3. *Karim S.M. and Karim T.H.* "Improving Furrow Irrigation Efficiency and Water Productivity through Improved Design and Management of Water Resources in Cracked Soil", 2020, 51(5), p. 1276-1289.
4. *Keya D.R. and Karim T.H.* "Multivariate models for predicting the erosion activity of precipitation by annual precipitation and geographical coordinates in a region with a heterogeneous pluvial regime", 2020, 51 (5) p.1249–1261.
5. *Mohammed K.M. and Karim T.H.* "Watershed Prioritization in Erbil Province for Soil Erosion Management with Morphometric Analysis", 2020, 51(5), p. 1262–1275.
6. *Ringler K. and Anwar A.* "Water for Food Security: Challenges for Pakistan", 2013, 38(5), p. 505-514.
7. *Sullivan K.* "Calculation of the Water Poverty Index. World Development", 2002, 30 (7), p. 1195-1210.
8. *Hamid H.* "Water Harvesting in Erbil Province, Kurdistan, Iraq: Finding Suitable Sites Using a Geographic Information System and Remote Sensing," 2011, 1, p. 30-38.
9. *Ertek A., Sensoy S., Gedik I. and Kyuchukyumuk K.* "Irrigation schedule based on pallet evaporation values for field grown cucumber. Agricultural management of water resources", 2006, 81 (1-2), p. 159-172.

OPTIMAL MANAGEMENT OF THE WATERS OF A SHORT TRIBUTARY OF THE TIGRIS RIVER

Hmeesh wisam Hafed, PhD student
Sinichenko E.K. , Associate Professor,*
Department of Civil Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia
sinichenko-ek@rudn.ru

Abstract. The Bolshoy Zab River is an international river shared by Iraq and Turkey. River basin planning makes it possible to identify the interactions of water users who compete for water within the river basin. The Water Resources Analysis and Assessment Planning (WEAP) model was applied to the basin to determine the optimal planning system (GZR) and plan the optimal operational policy.

The main problem with such planning is how the system meets future water needs. For this reason, the optimal monthly water consumption was modeled using the WEAP model of previous years.

Keywords: Bolshoy Zag River basin, water scarcity, climate change, transboundary catchment basins, water resources

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Канухин А.С., студент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

kanukhin.a@yandex.ru

Аннотация. В данной статье исследуются возможности использования генеративных моделей в области проектирования объектов капитального строительства и их интерьеров. В статье представлены практические и теоретические методы исследования для тестирования нескольких моделей, включая диффузионные генеративные модели и языковые генеративные модели-трансформеры. Результаты разделены на три группы: работа с изображениями, работа с текстом и написание программ. В статье показано, что генеративные модели могут упростить и ускорить работу дизайнеров. В целом, результаты свидетельствуют о том, что генеративные модели могут быть эффективно использованы для задач, не требующих высокой точности.

Ключевые слова: ИИ, проектирование, генеративные модели, диффузионные модели, ChatGPT, нейронные сети, архитектурный облик

Введение

Работа проектировщиков – многогранная сфера деятельности, сочетающая в себе самые различные виды операций. Современные нейронные сети, а именно генеративные модели глубокого обучения могут существенно изменить многие отрасли, в том числе и строительную. Генеративной называется такая модель глубокого обучения, целью которой является создание нового на основе данных, на которых модель обучалась [1]. Под моделью понимается некоторый шаблон, формализующий взаимосвязь между вводом и выводом [2]. С точки зрения рабочей области глубокое обучение рассматривается как подмножество машинного обучения и ИИ, и поэтому его можно рассматривать как функцию ИИ, которая имитирует обработку данных человеческим мозгом [3].

Цель работы

Цель данной статьи: показать возможности использования генеративных моделей для упрощения и ускорения работы людей всех профессий, связанных с проектированием объектов капитального строительства и их обустройством: архитекторов, инженеров-проектировщиков, дизайнеров интерьера и среды, градостроителей и т.п. В дальнейшем для простоты обозначения круга этих профессий мы будем использовать слово "проектировщики", поскольку рассматриваемые нами примеры в разной степени имеют отношения ко всем перечисленным.

Материалы и методы

В статье используются практические (тестирование нескольких моделей в части способности решать задачи, поставленные перед проектировщиком) и теоретические (высокоуровневый анализ полученных результатов и сравнение функционала разных генеративных моделей) методы исследования. В соответствии с рассматриваемыми аспектами работы результаты разделены на три группы: работу с изображениями при помощи диффузионных генеративных моделей, работу с текстом с использованием языковых генеративных моделей-трансформеров и написание программ при помощи последних. В этой работе не рассматриваются алгоритмы создания и обучения нейронных сетей, а лишь приводятся способы применения готовых обученных моделей, которые может использовать рядовой пользователь без специальных знаний. Более низкоуровневые аспекты в части работы используемых языковых моделей приведены в работе [4], в части работы диффузионных моделей [5].

Результаты

1. Работа с графическими изображениями.

Ключевым результатом творчества проектировщика является графическая информация. Диффузионные Text-to-Image (преобразующие текстовый запрос в изображение) и Image-to-Image (использующие в качестве запроса / части запроса другое изображение) модели позволяют создавать изображения ничем не хуже профессиональных рендеров за считанные секунды, без необходимости моделирования.

1.1. MidJourney

MidJourney является одной из наиболее популярных моделей генерации изображений. В настоящее время проект находится на стадии разработки Open-Beta, поэтому взаимодействие пользователя с нейросетью осуществляется только посредством канала или чат-бота на социальной платформе Discord. Для его использования необходимо отправить в чат команду `"/imagine"` и написать текст запроса на английском языке. При стандартных настройках MidJourney выдаст 4 разных изображения, каждое из которых можно увеличить или создать на его основе другое похожее изображение. Вид результата регулируется текстовым запросом, который помимо описания изображения может содержать различные параметры [6].

Данная модель отличается высокой простотой использования: она хорошо справляется с запросом в виде какого-либо отрывка из обычного текста, может помочь проектировщику быстро получить красивое изображение, которое можно использовать как при коммуникации с заказчиком, так и при процессе генерации идей, например, для изучения различных форм и паттернов. Рассмотрим несколько примеров взаимодействия с MidJourney для изучения её текущих возможностей.

1) Создание архитектурного облика

В порядке эксперимента было исследовано влияние текста запроса на результат при поиске архитектурного облика современного многоэтажного здания (рис. 1). Как было выяснено, MidJourney видит различие в тексте. Так, в первом случае отдано предпочтение более детальному описанию внешнего вида здания. Во втором – добавлена информация об объекте: год постройки, местоположение, которая отразилась не только на представлении самого здания, но и на окружающий фон. Помимо этого, программа понимает, насколько должно быть окрашено здание: в первом - цветные вставки, во втором – все здание. Однако количество этажей в зданиях модель отразила лишь приблизительно.



Рис. 1 Сравнение результатов по запросам с незначительными отличиями

2) Сравнение изображения, созданного с помощью MidJourney с реальным обликом здания

Для получения более полного представления о возможностях рассматриваемой модели было необходимо протестировать её на реальном проекте. С этой целью, из пояснительной записки раздела архитектурных решений по некому объекту было взято описание внешнего облика здания, включая использованные материалы. С помощью нейросети ChatGPT (рассматривается в статье позднее) текст был переведен и сокращён с минимальными смысловыми потерями. После чего он был введён в качестве запроса в MidJourney. Результат представлен на рис. 2.



Рис. 2. Сравнение сгенерированного изображения с фактическим проектом

3) Редактирование изображений

С помощью MidJourney можно «редактировать» изображения городской застройки. Нейросеть может использовать исходное изображение и на его основе сгенерировать похожее с учётом указанного в запросе, однако редактирование отдельных частей исходного изображения без его полного "переосмысления" не представляется возможным (рис. 3).



Рис. 3. Редактирование изображения

1.2 Dalle-2

Модель Dalle-2, продукт OpenAI, в отличие от MidJourney даёт более реалистичные изображения зданий (см. рис. 4) по состоянию на момент написания статьи, однако более требовательна к тексту запроса, требует более строгого стиля, хуже воспринимает естественный текст-описание. Взаимодействие с нейросетью осуществляется посредством сайта. В отличие от MidJourney у Dalle-2 существует возможность редактировать отдельные части изображения.

Запрос: A photo of a nine-storey gray building with coloured inserts and panoramic windows from the developer LevelGroup, in a modern style, with an iron front door and spacious hall.



Рис. 4 Генерация изображения с помощью Dalle-2

Например, для добавления бассейна к изображению частного дома, требуется выделить нужную область маской, после чего этот участок будет преобразован в соответствии с текстом запроса (рис. 5). Тем не менее, эта функция работает не во всех случаях.



Рис. 5 Редактирование отдельных частей изображения посредством Dalle-2

1.3 Stable Diffusion

Stable Diffusion (SD) является open-source моделью, с помощью которой можно генерировать изображения не только на сервере, но и на собственном компьютере. Однако запуск этой модели требует больше квалификации и менее удобен для рядового пользователя. В статье не рассматриваются возможности нейросети в части создания или редактирования изображений, а акцентируется внимание на особенностях. Исследователи из Стенфордского университета разработали ряд небольших моделей [7], которые можно использовать для редактирования изображений в качестве расширения к SD. Принцип работы этих моделей заключается в том, что они извлекают часть невидимой информации из фотографии, например, только контуры объектов или “NormalMap” (карту нормалей) из исходного изображения. Впоследствии эта часть информации становится неизменяемой основой создаваемого изображения, которая позволяет качественно редактировать изображения и добиваться конкретных результатов (рис. 6-7). Разработчики SD включили возможность установки этого расширения вместе со своей оригинальной моделью.

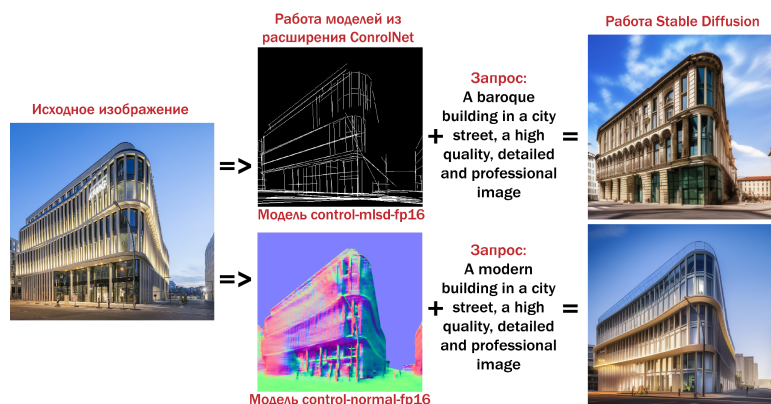


Рис. 6. Редактирование экстерьера здания с использованием текстового запроса и извлеченных из исходного изображения данных

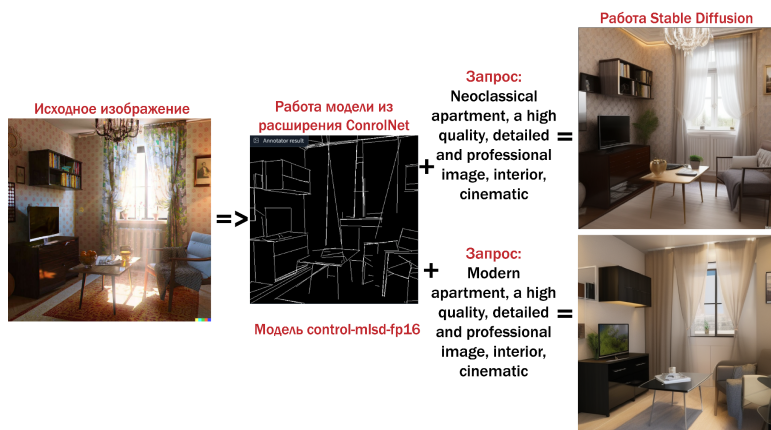


Рис. 7. Редактирование интерьера с использованием текстового запроса и извлеченных из исходного изображения контуров

2. Работа с текстовой информацией

Большая часть задач проектировщика связана с взаимодействием с текстовой и табличной информацией. Современные языковые генеративные модели способны решать некоторые из них. Наиболее популярной из доступных на момент написания этой

статьи является архитектура GPT-3.5 (Generative Pre-trained Transformer 3.5) [8].

В ноябре 2022 года был запущен чат-бот ChatGPT – вариант языковой модели GPT3.5, дополнительно натренированный на решение конкретных задач посредством диалога, а в марте 2023 через API стала также доступна модель gpt-3.5-turbo, аналогичная используемой в чат-боте [9]. Сторонними разработчиками было разработано расширение для браузера Chrome «GPT for Sheets™ and Docs™» дающее возможность рядовому пользователю использовать возможности модели в текстовом и табличном онлайн редакторах от Google, подобном Microsoft Word и Microsoft Excel соответственно. В данной работе рассмотрены примеры взаимодействия с обозначенной языковой моделью посредством этого расширения на примере разработанной таблицы с ведомостью объёмов работ по реальному объекту.

Задача № 1: заменить определенный текст в наименовании позиции ВОРа при помощи нейросети. Представим, что нам потребовалось отразить в таблице изменение огнезащитного материала металлических конструкций каркаса с «СОШ-1» на «ОЗК-01». Для усложнения задачи предположим, что необходимость замены материала зависит от ширины сечения трубы: материал огнезащиты требуется поменять только в случае, если ширина поперечного сечения квадратной трубы составляет более 100 мм.

Для решения задачи была использована функция «=GPT()», в которой первым и единственным обязательным параметром для ввода является текст запроса. В нашем случае мы обращаемся к ячейке с текстом задания. В качестве второго аргумента функции для выполнения этого задания выбираем текст из другой ячейки, в которой находится текст для редактирования (рис. 8).

По результатам выполнения задания степень возможности использования языковых моделей для решения практических задач подобного рода можно признать ограниченно-применимой, поскольку условие задачи в части изменения материала только в случае, когда ширина сечения менее 100 мм, выполнялось не всегда.

Задача № 2: Проверить соответствие итогового значения в таблице ВОРа записанной формуле расчёта. Зачастую при ручном подсчёте ведомостей объёмов работ возникают ошибки, связанные с различиями между столбцом с итоговым значением объёмов

и формулой, по которой вёлся расчёт. Ручная проверка времязатратна, а алгоритмизировать процесс подсчёта сложная задача, поскольку в столбце с формулами часто встречаются различные буквенные знаки. С помощью функций «=GPT()» было задано условие, по которому для столбца с формулой расчёта произведено арифметическое вычисление с помощью модели ChatGPT (рис. 9). Полученные результаты совпадали с действительностью и обладали достаточной точностью для выполнения проверок, но недостаточной для осуществления расчётов.

| H32 | | fx | | =GPT(\$H\$38;C32) | | Функция для отправки запроса | | | |
|-----|-----|----|---|---|------|------------------------------|---|--|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 30 | 3 | | | Устройство металлического каркаса здания | | | | Текст запроса (задание для ИИ) | Вы получишь текст. Измени исходный текст, после прочтения всех правил. Правила: 1) Если написано "ОЗК-01": выведи исходный текст без изменений. 2) Если в тексте идёт речь не про трубы или про трубы шириной поперечного сечения меньше 100 (например 80х4): выведи исходный текст. 3) Если в тексте идёт речь про трубы шириной поперечного сечения больше 100 (например 120х5) и в тексте написано "СОШ-1": скопируй текст, замени в нём "СОШ-1" на "ОЗК-01" и выведи. 4) Если в тексте нет упоминаний "СОШ-1" или "ОЗК-01": выведи исходный текст без изменений. 5) Марки стоек, например "Ст-1", "Сф-2" должны остаться без изменений. Исходный текст: |
| 31 | 3.1 | | | Профити стальные гнутые замкнутые по ГОСТ 30245-2003 | | | | Робит= $\sum L_i (m) \times p (кг/м)/1000$ | |
| 32 | | | | - труба квадратная 180х8 (стойки Ст-1) (Лобш.= 22,44п.м) - покрытие ОЗК-01 до R90 (толщина слоя $\delta=1,7$ мм, расход 2,72кг/м2) по грунту ГФ 021 (1 слой), покрыть эмалью ПФ115 (2слоя). | 1/м2 | 0,93/15,39 | | Робит= $22,44 \times 41,48 / 1000$ | - труба квадратная 180х8 (стойки Ст-1) (Лобш.= 22,44п.м) - покрытие ОЗК-01 до R90 (толщина слоя $\delta=1,7$ мм, расход 2,72кг/м2) по грунту ГФ 021 (1 слой), покрыть эмалью ПФ115 (2слоя). |
| 33 | | | | - труба квадратная 140х5 (Лобш.= 52,64п.м) - раскорки Р-4: L1= 25,31п.м - стойки Ст-2: L2= 27,33п.м - покрытие СОШ-1 до R90 (толщина слоя $\delta=18$ мм, расход 8,64кг/м2) | 1/м2 | 0,524/13,75 0,565/14,82 | | Робит= $(13,6+34,25+4,79) \times 20,69 / 1000$ Р1=25,31*20,69/1000 Р2=27,33*20,69/1000 | - труба квадратная 140х5 (Лобш.= 52,64п.м): - раскорки Р-4: L1= 25,31п.м - стойки Ст-2: L2= 27,33п.м - покрытие ОЗК-01 до R90 (толщина слоя $\delta=18$ мм, расход 8,64кг/м2) |

Рис. 8 Пример запроса для выполнения задачи по замене материала в тексте по заданному условию

| H6 | | fx | | =GPT(\$H\$5;G6) | | Функция для отправки запроса | | | |
|----|-----|----|---|---|----|------------------------------|---|--|--|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 5 | 1.1 | | | Арматура ГОСТ 34028-2016 | | | | Текст запроса (задание для ИИ) | Act as a calculator. You will be given a maths expression. You should calculate it and output the result without any text. Use "." as a decimal separator. Round to hundreths. |
| 6 | | | | - О12 А500С (L=11629,13 пм основная арматура верхней и нижней зоны, обрамляющая арматура) | т | 10,33 | | Робит=(9436,78+1135,15-1057,20)х0,888/1000 | 10,98 |
| 7 | | | | - О8 А240 (L=1495 пм поддерживающие фиксаторы) | т | 0,59 | | Робит=1495х0,395/1000 | 0,59 |
| 8 | 1.2 | | | Бетон по ГОСТ 26633-2015 | | | | Уобит. (м3) = S(m2) x h(m) | |
| 9 | | | | - Бетон кл. В20 W8 F1150 | м3 | 147,60 | | Уобит. = 492,0х0,3 | 147,60 |
| 10 | | | | - Бетонная подготовка кл. В7,5 | м3 | 47,61 | | Уобит. = 476,10х0,1 | 47,61 |
| 11 | 1.3 | | | Гидроизоляционная мембрана Техноэласт ЭПП | м2 | 1067,7 | | Собит. (м2) = S(m2) x 2(слоя) Собит.=538,35х2 | 1076,7 |
| 12 | 1.4 | | | Цементно-песчаная стяжка (δ=50мм) М200 | м3 | 23,81 | | Уобит. (м3) = S(m2) x h(m) Уобит. (м3)=476,10*0,05 | 23,81 |

Рис. 9. Пример осуществления проверки формул подсчёта объёмов

3. Написание программы с помощью ChatGPT

Различные программы способны автоматизировать и ускорять работу проектировщика, но их создание требует навыков программирования. ChatGPT позволяет писать код на разных языках программирования. Рассмотрим использование ChatGPT на примере написания программы для вычисления требуемой длины анкеровки по формуле 10.1 из [10] на языке VBA для использования в AutoCAD. Для контроля правильности и работоспособности кода задание давалось частями на английском языке. Изначальный запрос и результат см. на рис. 10. На первый запрос был написан код из 15 строк. Постепенно код усложнялся, ChatGPT давались запросы переписать код, добавив списки соответствия с табличными данными по арматуре и бетону. Итоговый код содержал 105 строк, конечный вид программы см. на рис. 11.

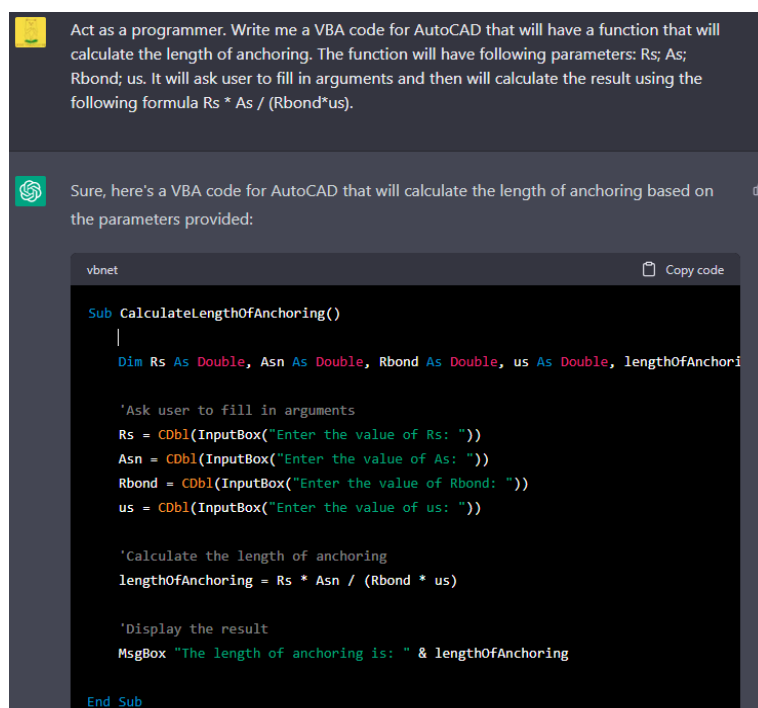


Рис. 10. Использование ChatGPT для написания программы

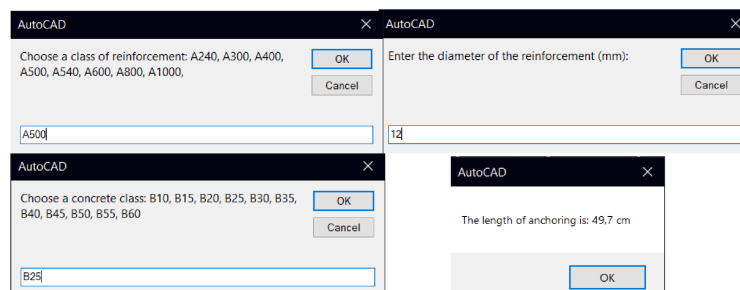


Рис. 11. Работа написанной ChatGPT программы

Обсуждение

В части работы с изображениями ИИ ещё долго не сможет создавать чертежи или BIM-модели, поскольку их разработка является комплексной, трудно поддающейся автоматизации задачей, т.к. основной особенностью чертежа является его точность. В то время как результат работы существующих моделей является не только не точным (модели не позволяют создавать чертежи в масштабе), но и не реплицируемым (на один и тот же запрос в разное время модель выдает разные результаты), в той части работы, которая не требует точности, например, разработка рендеров планируемого здания/конструкции при взаимодействии с заказчиком на этапе разработки концепта или на ранней стадии разработки проектной документации существующие модели могут значительно ускорить и одновременно с этим улучшить качество принимаемых проектных решений.

Касаясь работы с текстом основной проблемой является недостаточная точность выполнения задач, во многом связанная с относительно плохой степенью натренированности модели GPT-3.5-Turbo при работе с русским языком, связанные с особенностями токенизации кириллицы [11]. В части написания программ модель хорошо справляется с поставленной задачей, однако является лишь инструментом для работы, поскольку необходимо понимание общей логики программирования для составления грамотного запроса.

В ближайшие годы взаимодействие с моделями, основанными на нейронных сетях, плотно войдёт в рутину многих специальностей, а Prompt Engineering (умение формулировать запросы для нейронных сетей) станет безусловной частью компьютерной грамотности в связи с появлением ее во многих вакансиях.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения генеративных моделей проектировщиками для задач анализа или иных задач, не требующих высокой точности исполнения.

Список литературы

1. Generative and Discriminative Models // LearnOpenCV URL: <https://learnopencv.com/generative-and-discriminative-models/#GenerativeModelling> (дата обращения: 01.03.2023).
2. Алпайдин Э. Машинное обучение: новый искусственный интеллект. – MIT Press, 2017. – 208 с.
3. Sarker I.H. Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. SN COMPUT. SCI. 2, 420 (2021).
4. Radford A., Narasimhan K., Salimans T., Sutskever I. Improving Language Understanding by Generative Pre-Training // OpenAI. – 2018. – 12 с. – (Препр. / OpenAI).
5. Alammur J. The Illustrated Stable Diffusion // 2022. – (Препр. / GitHub).
6. Parameter List // MidJourney URL: <https://docs.midjourney.com/docs/parameter-list> (дата обращения: 01.03.2023).
7. Zhang L., Agrawala M. Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models – Stanford University, 2023 - (Препр. arXiv:2302.05543v1).
8. Обзор ChatGPT с примерами использования в различных задачах // Хабр URL: <https://habr.com/ru/post/708646/> (дата обращения: 01.03.2023).
9. Chat Completions // OpenAI URL: <https://platform.openai.com/docs/guides/chat> (дата обращения: 01.03.2023).
10. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции.
11. Почему Chat GPT говорит по-русски с нейронным акцентом? Специфика токенизации кириллицы нейронной сетью от Open AI // Хабр URL: <https://habr.com/ru/post/716460/> (дата обращения: 01.03.2023).

APPLICATION OF DEEP GENERATIVE MODELS IN THE DESIGN OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Kanukhin A., student
RUDN University, Moscow, Russia
kanukhin.a@yandex.ru

Abstract. This article explores the possibilities of using generative models in the design of capital construction facilities and their interiors. The article presents practical and theoretical research methods for testing several models, including diffusion generative models and generative transformers-based language models. The results are divided into three groups: working with images, working with text and writing programs. The article shows that generative models can simplify and speed up the work of designers. However, the accuracy of the models needs to be improved. In general, the results indicate that generative models can be effectively used for tasks that do not require high accuracy.

Keywords: AI, architectural design, generative models, diffusion models, ChatGPT, neural networks, architectural appearance

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ И НАДЕЖНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРЕДЕЛЬНЫХ УРОВНЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Айдемиров К.Р., к.т.н., доцент,
Гасанов Р.Г., ст. преподаватель
Дагестанский государственный технический университет,
Махачкала, Россия
ruslan.gasanovich@mail.ru*

Аннотации. Цель. Целью данной статьи является разработки методики расчета живучести и надежности сооружений с дефицитом сейсмостойкости с учетом развития пластических деформаций при сейсмическом воздействии. **Метод.** Метод исследования основан на анализе зданий, находящихся на стадии разрушения и образования пластических шарниров при воздействии максимального расчетного землетрясения. **Результат.** Для существующих методов расчета зданий на сейсмическое воздействие была получена модель расчетного воздействия на упругопластические многомассовые системы и предложена аппроксимирующая зависимость для максимального уровня сейсмического воздействия. **Вывод.** Предлагаемая модель является наиболее рациональной для расчета зданий на максимальные расчетные землетрясения и обеспечивает живучесть и надежность при образовании пластических шарниров.

Ключевые слова: живучесть, упругопластическая система, многомассовая система, надежность, предельный уровень, максимальное перемещение, пластический шарнир, образование трещин

Задачи определения реакции (перемещения, скорости, ускорения) многоэтажных зданий и сооружений при землетрясениях чаще всего сводятся к расчету консольных систем с n -степенями свободы на вынужденные колебания, возбуждаемые кинематически за счет перемещения грунта, как это показано на рисунке 1. При этом различается три подхода к анализу реакции. Они отличаются формой представления сейсмических колебаний грунтов, целью решаемой задачи и объемом представляемой исходной информации. Первый метод – это так называемый спектральный метод [1, 3]. Для линейных систем с конечным числом степеней свободы в начале

методом спектров реакции определяют максимальные реакции по каждой из главных форм колебаний. Затем максимальную реакцию соответствующего уровня находят извлечением квадратного корня из суммы квадратов реакции по каждой главной форме. Эта процедура является несколько упрощенной, действительная реакция может иметь заметное отклонение от предсказуемой.

Следующий метод также основан на представлении сейсмических колебаний грунтов в виде реальной или искусственной акселерограммы [4, 5, 16]. При этом реакцию сооружения находят интегрированием во времени исходной системы дифференциальных уравнений. В случае реальной акселерограммы [2, 22, 25] реакция сооружения оценивается по одной записи, а при смоделированных на ПК искусственных акселерограммах представляется возможность оценить вероятностное распределение реакции по множеству воздействий, отличающихся характеристиками некоторых параметров колебаний, то есть получить вероятностные распределения выходных параметров.

Преимущество метода пошагового интегрирования заключается в его широкой применимости для сложных расчетных моделей сооружений, а также в случае нелинейных и упругопластических колебаний [7, 8, 18]. Недостатком его является большой расход машинного времени до получения вероятностных распределений реакции с достаточной обеспеченностью.

Третий метод – это метод случайных колебаний, который позволяет получить аналитические оценки вероятностных характеристик реакции сооружения. Они зависят от динамических характеристик сооружения и вероятностного описания колебания грунтов при землетрясении.

Рассмотрим консольную модель сооружения и предположим, что массы сосредоточены в уровнях жестких перекрытий, как это показано на рисунке 1.

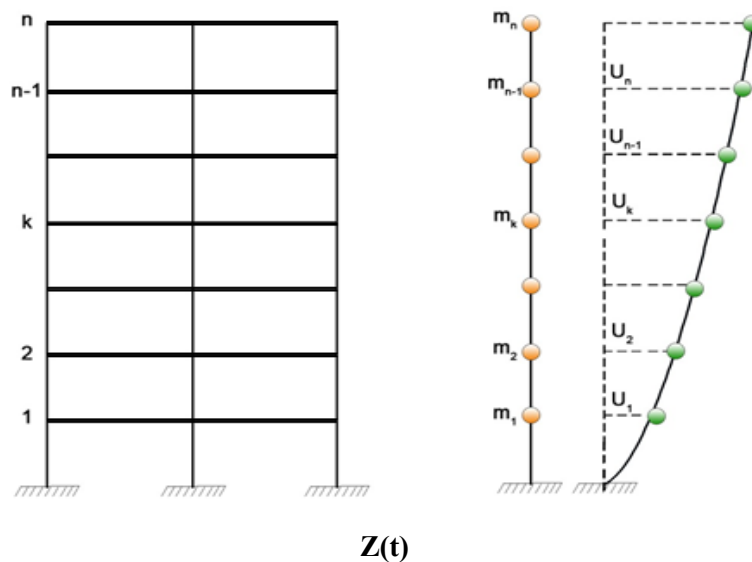


Рис. 1. Расчетная динамическая модель сооружения, представленная в виде консольного стержня с сосредоточенными массами

Для системы с n степенями свободы матричное уравнение линейных сейсмических колебаний и его решение дано в работах [10, 14, 20]:

$$\mathbf{M}\mathbf{U}'' + \mathbf{C}\mathbf{U}' + \mathbf{K}\mathbf{U} = -\mathbf{M}\{\mathbf{1}\}Z''(t), \quad (1.1)$$

где \mathbf{M} , \mathbf{C} , \mathbf{K} – соответственно матрица масс демпфирования и жесткостей;

\mathbf{U} , \mathbf{U}' , \mathbf{U}'' – векторы перемещений, скоростей и ускорений масс;

$Z''(t)$ – ускорение перемещения грунтов основания при землетрясении;

$\{\mathbf{1}\}$ – единичный вектор-столбец.

Переходя в (1.1) от геометрических координат \mathbf{U} к обобщенным – \mathbf{Y} в форме $\mathbf{U} = \Phi\mathbf{Y}$, а также умножив обе части уравнения (1.1) на транспонированный вектор Φ^T , получаем уравнение равновесия в обобщенных перемещениях:

$$\Phi^T M \Phi Y'' + \Phi^T C \Phi Y' + \Phi^T K \Phi Y = -\Phi^T M \{1\} Z''(t), \quad (1.2)$$

где Y – вектор обобщенных перемещений, Φ - матрица столбец векторов собственных форм колебаний $\Phi (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

С учетом условий ортогональности по отношению к матрице масс M :

$$\Phi^T K \Phi = \Omega^2; \quad \Phi^T M \Phi = 1 \quad (1.3)$$

Здесь Ω – диагональная матрица частот собственных колебаний; 1 -единичная матрица.

С учетом (1.3) уравнение (1.2) принимает вид

$$Y'' + \Phi^T C \Phi Y' + \Omega^2 Y = -\Phi^T M \{1\} Z''(t). \quad (1.4)$$

Предполагая, что условие ортогональности применим и к матрице затухания, система уравнений (1.4) разделяется на уравнений в главных координатах

$$y''_i(t) + 2\xi_i \omega_i y'_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = -F_i Z''(t), \quad (1.5)$$

где $i=1, 2, \dots, n$.

Здесь ξ_i – коэффициент затухания (доля критического затухания) для i -ой формы колебаний;

$F_i Z''(t)$ -обобщенное ускорение колебаний грунтов.

Перемещение k -той массы $u_k(t)$ определяют в виде

$$u_k(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) \varphi_{ik} \quad (1.6)$$

Компонента вектора собственных форм φ_{ik} находим в виде [6]

$$\varphi_{ik} = \sin K \mu_i, \quad (1.7)$$

где μ_i определяется из частного уравнения n -ой степени

$$C_n^m 2^n x^n - C_{n-1}^0 2^{n-1} x^{n-1} + \dots + (-1) = 0 \quad (1.8)$$

Здесь C_n^m – число сочетаний из n по m ; $x = \cos \mu_i$.

Собственную частоту, соответствующую i -той форме колебаний определяют из условия:

$$\omega_i^2 = \frac{2K_k}{M}(1 - \cos \mu_i), \quad (1.9)$$

где K_k – жесткость системы на k -том уровне.
Величину F_i при этом находят в виде

$$F_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sin K_k \mu_i}{\sum_{k=1}^n \sin^2 K_k \mu_i}. \quad (1.10)$$

Решение уравнения (1.5) получаем при помощи интеграла Дюамеля. При нулевых начальных условиях

$$y_i(t) = -\frac{F_i}{\omega_i} \int_0^t Z''(\tau) e^{-\xi_i \omega_i(t-\tau)} \sin \omega_i(t-\tau) d\tau, \quad (1.11)$$

$$y_i''(t) = -\omega_i F_i \int_0^t Z''(\tau) e^{-\xi_i \omega_i(t-\tau)} \sin \omega_i(t-\tau) d\tau. \quad (1.12)$$

Интегрирование (1.11) и (1.12) обычно производят с использованием.

Для оценки сейсмической реакции и надежности даже упругих систем мы имеем довольно сложные аналитические выражения. Для упругопластических многомассовых систем задачи оценки надежности могут быть решены только методом статистических испытаний на ЭВМ [2,4]. Тем не менее, аналитические методы оценки надежности имеют определенные преимущества перед численными, особенно если речь идет о высоких уровнях надежности, так как при применении численных методов здесь требуется большое число реализаций задачи на ПК.

Для сравнения вариантов конструктивного решения зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, оценки эффективности и областей рационального применения тех или иных систем сейсмозащиты по критерию надежности, а также для предварительных оценок надежности систем при сейсмических нагрузках, определенных по нормам проектирования, приближенные методы расчета надежности упругопластических систем являются незаменимыми.

Ниже нами рассмотрен также расчет надежности адаптивных систем сейсмозащиты, как хрупко выключающимися элементами, так и упругопластическими связями. Определены увязанные с нормами проектирования расчетные сейсмические нагрузки, обеспечивающие эффективные переходы системы в благоприятные состояния при реализации адаптивных свойств.

Известно, что при практических расчетах сооружений на сейсмические воздействия следует придерживаться основных положений свода правил СП14.13330.2018 «Строительства в сейсмических районах». Но в нем не приведена методика оценки надежности зданий и сооружений, которая является необходимой для определения соответствия надежности объекта нормативной или оптимальной.

Известно, что сейсмические воздействия могут быть представлены в виде множества спектров реакции Φ_{sj} [4,19], где огибающая спектров соответствует графику β_i [5,15]. Для получения множества среднеквадратических спектров реакции $\sigma_s[T_i; T_j]$ воспользуемся походом, предложенным в работе [1].

Учитывая, что коэффициент динамичности есть отношение нормированных значений ускорения колебания системы $\ddot{y}(T_i)$ с периодом собственных колебаний T_i к ускорению колебаний грунтов $\ddot{Y}_{гр}$, при воздействии землетрясения с интенсивностью I будем иметь

$$\beta(T_i) = \ddot{y}(T_i)/\ddot{Y}_{гр} = \sigma_{\ddot{y}}(T_i)/\sigma_{\ddot{Y}_{гр}}, \quad (1.13)$$

где: $\sigma_{\ddot{y}}(T_i)$ – среднеквадратическое значение ускорения системы;

$\sigma_{\ddot{Y}_{гр}}$ – среднеквадратическое значение ускорений колебания грунтов.

Приближенно можно принять [41]

$$\sigma_{\ddot{Y}_{гр}} = Ag/[2\ln(2t/T_j)]^{1/2}, \quad (1.14)$$

где: A – коэффициент, значения которого принимаются по [3, 7, 8] в зависимости от расчетной сейсмичности;

t – эффективная продолжительность сейсмического воздействия предоставляемого в виде стационарного случайного процесса;

T_j – преобладающий период сейсмических колебаний грунтов;

g – ускорение силы тяжести.

Среднеквадратичное значение сейсмической реакции (ускорения) системы с периодом T_i при сейсмическом воздействии с преобладающим периодом T_j определяем в виде:

$$\sigma_{ij} = Ag\beta_{ij}/[2\ln(2t/T_j)]^{1/2} \quad (1.15)$$

где β_{ij} – расчетный коэффициент динамичности для i -той системы при j -том воздействии.

В работе [6] кривые β_{ij} аппроксимированы в виде

$$\beta_{ij} = \theta_{ij}\beta_i \quad (1.16)$$

где: β_i – коэффициент динамичности для i -той системы [2];

θ_{ij} – функция аппроксимации спектра упругой реакции имеющая вид:

$$\begin{aligned} \theta_{ij} &= a + (c - a)T_i/T_j, \text{ при } T_i \leq T_j \\ \theta_{ij} &= T_j/T_i, \text{ при } T_i > T_j. \end{aligned} \quad (1.17)$$

Здесь $a=1/\beta_{\max}$ [9]. Коэффициент c по условию аппроксимации принимается равным единице.

При проведении расчетов с применением ПК θ_{ij} удобно представить в виде:

$$\theta_{ij} = [a + (c - a)T_i/T_j]\eta(T_j - T_i) + (T_j/T_i)\eta(T_i - T_j)\text{sign}(T_i - T_j), \quad (1.18)$$

где $\eta(T)$ и $\text{sign}(T)$ – единичные функции:

$$\eta(T) = \begin{cases} 1 & \text{при } T \geq 0 \\ 0 & \text{при } T < 0 \end{cases}$$

$$\text{sign}(T) = \begin{cases} 1 & \text{при } T > 0 \\ 0 & \text{при } T = 0 \\ -1 & \text{при } T < 0 \end{cases}$$

Таким образом, по графикам коэффициентов динамичности или по региональным графикам β_i по вышеприведенной методике могут быть определены среднеквадратические значения сейсмической реакции линейных систем для оценки их надежности.

При расчете сейсмических нагрузок по СП [11, 23] в конструкциях зданий и сооружений учитывается образование трещин и пластических деформаций. Для этого сейсмические нагрузки, соответствующие упругой модели [12, 21] умножают на понижающий коэффициент K_1 . Фактически K_1 есть коэффициент перехода от упругого спектра реакции к нормированному неупругому спектру реакции, и играет роль обратной величины коэффициента податливости μ

$$\mu = 1/K_1. \quad (1.19)$$

Зависимость «Сила - перемещение» для упругопластических систем приближенно описывают билинейной диаграммой (рисунок 2), где первая линейная часть, соответствует упругой работе системы, а вторая- упругопластической работе.

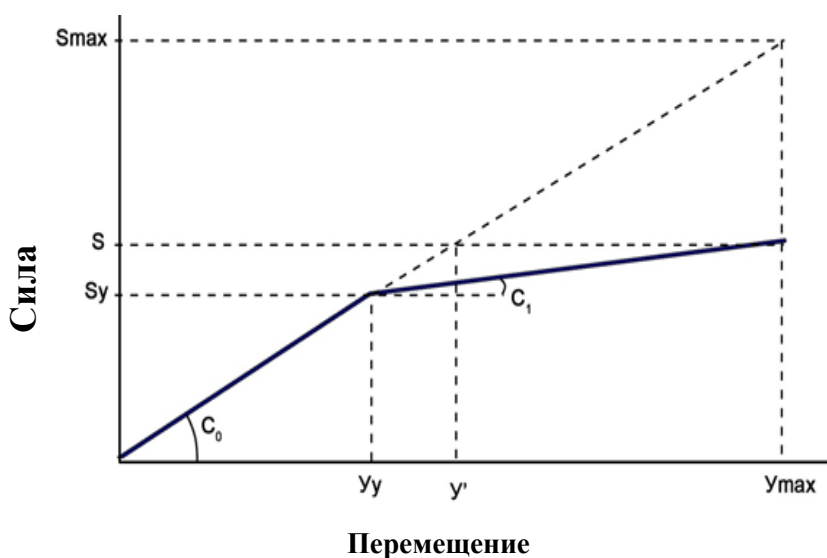


Рис. 2. Зависимость «Сила-перемещение» для упругопластической системы

При этом коэффициент податливости упругой силы S_{\max} , соответствующую максимальному перемещению y_{\max} , к силе $-S$, относящуюся к заданной величине перемещения $-y'$ (рисунок 2).

$$\mu = S_{\max}/S = Y_{\max}/Y'. \quad (1.20)$$

Как показано в работах [15,21], максимальные перемещения упругих и упругопластических систем примерно одинаковы при отношении жесткостей $r = C_1/C_0 \geq 0,2$.

Сравнение максимальных перемещений упругих и неупругих систем с приблизительно одинаковыми частотами собственных колебаний и параметрами затухания показывает, что они близки, когда коэффициенты податливости не превышают 4-5. Таким образом, предельные уровни реакции упругопластических систем могут быть определены допуская равенство их максимальных перемещений к максимальным перемещениям упругих систем.

В нормах строительства [17,19] для зданий с металлическими и железобетонными каркасами K_1 меняется в интервале 0,22-0,4.

По рисунку 2 путем несложных геометрических выкладок можно определить значение реакции системы $-S_y$, соответствующее ее переходу из упругой стадии в упругопластическую стадию:

$$S_y = S(1 - \mu r)/(1 - r) \quad (1.21)$$

где: $\mu \times r < 1$; $S = S_{\max}/\mu$.

Соответственно $Y_y = S_y/\omega_0^2$,

где ω_0 – частота собственных колебаний системы в состоянии упругой работы.

Максимальное перемещение упругопластической системы

$$Y_{\max} = S_{\max}/\omega_0^2 = S\mu/\omega_0^2 \quad (1.22)$$

При значениях μ определенных по (1.19), Y_{\max} будет предельным уровнем перемещений упругопластической системы.

Элементы сейсмозащиты вводятся в конструктивную систему зданий и сооружений для обеспечения адаптации и достижения высоких уровней надежности. Как было показано выше, живучесть и надежность зданий, рассчитанных на нормативные нагрузки, при преобладающих периодах воздействий близких к периодам их собственных колебаний, как правило, не обеспечивается. Поэтому в данной работе исследуются вопросы обеспечения высоких уровней надежности зданий путем введения в их структуру элементов сейсмозащиты. Для того чтобы оценить, как запроектировать эти элементы и как конструктивно решить систему сейсмозащиты, проведены ряд расчетов, результаты которых даны ниже. Рассмотрены вероятности состояний системы с хрупко выключающимися элементами при предельной расчетной нагрузке, соответствующей начальной системе по методике СП [23, 24]. Эта же нагрузка принимается и качестве предельной и для гибкой упругой конечной системы.

Таким образом, Предложенная в данном разделе методика позволяет произвести оценку надежности систем с разными вариантами конструктивного решения и выбрать по критерию максимума живучести и надежности лучшую из них, а также определить вероятности отказов существующих зданий с дефицитом сейсмостойкости для оценки сейсмического риска.

Список литературы

1. *Айзенберг Я.М.* Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. – М. : Стройизд, 1976. – 232 с.
2. *Абакаров А.Д.* Надежность и сейсмостойкость сооружений с резервированием: Автореферат диссертации доктора технических наук: 05.23.17/ А. Д. Абакаров. – М., 1993 – 39 с.
3. *Болотин В.В.* Методы теорий вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. – М. : Стройиздат, 1982. – 351 с.
4. *Клаф Р.* Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен // Пер. с англ. – М. : Стройиздат, 1979. – 320 с.
5. *Бородин Л.А.* О расчете упругопластических систем при сейсмическом воздействии / Л. А. Бородин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. № 1. – С. 68-72.

6. *Смирнов А.Ф.* Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружения / А. Ф.Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашенков, Н. Н. Шапошников. – М.: Стройиздат, 1984. – 416 с.
7. *Поляков С.В.* Сейсмостойкие конструкции зданий: учебное пособие для вузов / С. В. Поляков. – М: Высш. школа, 1983. – 280 с.
8. *Абакаров А.Д., Гасанов Р.Г.* Оценка надежности и живучести систем с учетом взаимосвязи элементов при сейсмическом воздействии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (2): 118-125.
9. *Абакаров А.Д., Гасанов Р.Г.* Расчет надежности рамных систем при сейсмическом воздействии с оценкой живучести в процессе образования пластических шарниров в узлах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):123-130.
10. *Аугустини Г.* Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугустини, А. Баратта, Ф. Кашиати. – М. : Стройиздат, 1988. – 584 с.
11. *Райзер В.Д.* Теория надежности сооружений. – М.: АСВ, 2010. – 384 с.
12. *Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П.* Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
13. *Райзер В.Д.* К проблеме живучести зданий и сооружений / В. Д. Райзер // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 5. – С. 77-78.
14. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособ. для вузов / В. Е. Гмурман. – Изд. 9-е, стер. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.
15. *Линдквист Б., Доксум К.А.* (ред.) Математические и статистические методы в надежности. – Сингапур: World Scietific Publishing, 2003. – С. 548.
16. *Антонов А.В.* Статистические модели в теории надежности: учеб. пособие / А. В. Антонов, М. С. Никулин. – М.: Абрис (Высш. шк.), 2012. – 390 с. : ил.
17. *Антонов А.В., Поляков А.А., Чепурко В.А.* Модель анализа надежности объектов с неполным восстановлением // Надежность. – 2011. – No 3(38). – С. 33-41.

18. Кудишин Ю.И., Дробот Д.Ю. К вопросу о живучести строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 2 (217). – С. 36-43.
19. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 4. – С. 5-9.
20. Грачев В.Ю., Вершинина Т.А., Пузаткин А.А. Непропорциональное разрушение. Сравнение методов расчета. Екатеринбург, Издательство «Ажур», – 2010. – 81 с.
21. Волкова В.Н., Данилов А.А. Теория систем. – М.: Высшая школа. – 2006. – 513 с.
22. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : АСВ, 2007. – 256 с.
23. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Eng. Struct. 2018. Vol. 173. P. 122–149.
24. Abdelwahed B. A review on building progressive collapse, survey and discussion // Case Studies in Construction Materials. 2019. Vol. 11.
25. Bagdonavicius V., Nikulin M. Model Buildings in Reliability. In: Probabilistic and Statistical Models in Reliability, (eds. N. Limnios and D. Ionescu). – Boston: Birkhauser, 1999. – P. 51–74.

METHODS FOR ASSESSING THE SURVIVABILITY AND RELIABILITY OF ELASTIC-PLASTIC SYSTEMS AT LIMITING LEVELS OF SEISMIC IMPACT

Aidemirov K.R., Gasanov R.G.

Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Abstract. Aim. The purpose of this article is to develop a methodology for calculating the survivability and reliability of structures with a deficiency of seismic resistance, taking into account the development of plastic deformations under seismic impact. Method. The research method is based on the analysis of buildings that are at the stage of destruction and the formation of plastic hinges under the influence of the

maximum design earthquake. Result. For the existing methods of calculating buildings for seismic impact, a model of the calculated impact on elastic-plastic multi-mass systems was obtained and an approximating dependence for the maximum level of seismic impact was proposed.

Conclusion. The proposed model is the most rational for designing buildings for maximum design earthquakes and provides survivability and reliability in the formation of plastic hinges.

Keywords: survivability, elastoplastic system, multi-mass system, reliability, limit level, maximum displacement, plastic hinge, cracking

A STUDY OF RETICULATED SHELLS FOR STRUCTURES

*Qais Qais Abdulrahman Ali**, Ph.D. student,
Tupikova E.M., Candidate of Science,
Department of Civil Engineering, RUDN University, Moscow, Russia
*qaiseng@gmail.com

Abstract. A reticulated shell is one of the conventional long-span space structures, prone to progressive collapse under a severe earthquake because of its unique single-layer feature. Single-layer reticulated shell structures are widely used, but their stability performance is not ideal. Moreover, they are sensitive to structural damage and imperfections, while the existing conventional design methods of increasing the cross-section, strengthening corrosion protection, and densifying the structural grid are not economical. The main objective of this paper is to understand the impact of reticulated shells in construction and its challenges to identify ways in which reticulated shells can be improved for more common use in construction. mesh load-bearing shells have become quite often used as the main frame for high-rise buildings, due to their structural efficiency and unique geometry, which make it possible to embody the most extraordinary architectural solutions both in the shape of the building itself and in its layout.

Keywords: reticulated shells, structures, hyperbolic paraboloid, structural grid, spatial structures

Introduction

Thin shells, as well as long-span structures, spatial grids, tensegrity systems, and tall buildings, among other systems, are related to “special structures” [1]. Shells are form-resisting structures, as they mainly resist loads because of their form rather than the amount of their material (cross-section). Because of their special qualities, shells are used wherever high efficiency is required, such as to cover long spans with high resistance and minimum material [2]. Felix Candela fomented the surge in popularity of shell structures in the 1950s, and his works launched the modern shell era by attracting the attention of architects and structural engineers [1]. In 1951 Candela built an 11 m span and 15 mm thickness hyperbolic paraboloid shell in Mexico [3–5], which was an

innovative project at this time. Candela's built hyperbolic paraboloid shells show that was possible to minimize workforce and material resources [6]. Despite this, the widespread building of thin reinforced concrete shells ended abruptly at the end of the 1960s [7], and many times the use of large span shell structures has lost its popularity compared to the peak of their construction in the 1950–1960s [8].

The first reticulated shells in the world were used by the Russian engineer and inventor Vladimir Shukhov. It was he who in 1922 designed and built a 150-meter hyperboloid tower on Shabolovka in Moscow. The inventor had a landmark - the Eiffel Tower with a height of 325 m and a mass of 7300 tons. Shukhov managed to reduce the consumption of metal per unit height of the structure by 14 times relative to the tower in Paris. However, despite the Russian origin of reticulated shells, today they are rarely used in Russia. One of the latest objects built was a radio and television tower in Moscow on the territory of the Oktyabrsky Radio Center, while in Europe, America, and Asia, buildings and structures for various purposes are being actively erected using reticulated shells - the British Museum and the Gerkin skyscraper in London, mesh domes of scientific centers in Canada, the opera house in Beijing, etc.

Reticulated metal constructions were first demonstrated at the All-Russian Industrial and Art Exhibition held in Nizhny Novgorod in 1896 – a showcase of Russia's achievements in crafts and industry [9].

Shukhov's pavilions and some exhibition objects were erected, all of them using reticulated shells. Shukhov had an excellent opportunity to demonstrate his new reticulated building constructions to specialists around the world [10]. This impressive series of structures consisted of four pavilions with hanging covers covering a total area of about 10,160 m² and four pavilions with netted (convex) covers with a total covering an area of 16,910 m². This row was rounded off by a grid structure of the latest type – a water tower in the form of a hyperboloid. The world's first hyperboloid structure, the famous water tower (see Figure 1), was transported to the village of Polibino in late 1896 after the Exhibition and remained there until recently.



(a)



(b)

Fig. 1. The world's first mesh hyperboloid tower:
a) at the All-Russian Exhibition in 1896; b) currently

At the dawn of the industry, reticulated shells were used in their simplest geometric forms - geodesic domes. This was due to the relative simplicity in the calculation of individual structural elements. The first geodesic domes were designed by Richard Fuller in the 1940s last century. Fuller decomposed the dome structure into triangles, the sides of which are located on geodesic lines connecting two points on a curved surface. This design made it possible to cover the maximum possible space using the least amount of building materials. The works of R. Fuller brought results: the world community drew attention to a new promising type of structures, which made it possible to create several interesting projects in the following decades, including:



**Fig. 2. Exhibition pavilion USA
"Expo-67" in Montreal
(height 62 m, diameter 76 m).
1967**



**Fig. 3. St. Louis, USA.
Geodesic dome "Klimatron",
used as a greenhouse
of the botanical garden
(height 21 m, diameter 53 m).
Made in aluminum structures.
1960**

A new vector for the development of the industry was set relatively recently, in connection with the improvement and widespread introduction of computer technology.

The emergence of new computer-aided design systems (CAD) and programmable machine tools (CNC) made it possible to go beyond the simplest configurations of reticulated shells, to build not only geodesic domes but also to give objects a variety of shapes. Huge amounts of data can now be processed automatically, and many structural elements of the same type, which nevertheless differ in a small range of parameters, can be created in a semi-automatic mode using CNC with minimal human intervention.

The hyperbolic paraboloid (hypar) has been known in mathematics since the 17th century and first appeared in architecture at the end of the 19th century [3]. Mathematically synclastic surfaces have positive Gaussian curvature K , while the anticlastic (hyperbolic) surfaces have negative curvature K . Both synclastic and anticlastic surfaces are of double curvature. Double curvature surfaces, if properly restrained, can work only as membranes, irrespective of the applied loads. This singularity can be seen by comparing the failure of cylindrical and spherical vaults under vertical loads; the first will fail in bending, the second in tension.



Fig. 4. An example of projects of reticulated shells of arbitrary configurations

The hyperbolic paraboloid is a twice-ruled surface of negative Gaussian curvature [11] and is categorized as an anticlastic surface [12]. This anticlastic ruled surface could be generated by straight lines. Therefore, this shell-shaped structure is simpler to build [13, 14]. It is important to consider that the hyperbolic paraboloid shell may be stable in the most critical range due to negative Gaussian curvature since there are also fibers in tension that stabilize the shell [15].

The research [16, 17] proposed a system of calculation equations for the application, including equilibrium equations, and physical and

geometric equations in non-orthogonal curvilinear coordinates, which can be used if the middle surface of the shell is not specified in the lines of curvature. These systems for shells in lines of curvature become identical. However, the calculation equations for shells with analytical middle surfaces given in non-orthogonal curvilinear coordinates were applied only to calculate straight [18] and developing [19] helicoids.

The range of shells specified in the lines of curvature for which analytical solutions have been obtained to determine the parameters of the stress-strain state is much wider.

Geometry definition of the hyperbolic paraboloid (hypar) shell. A hyperbolic paraboloid is a surface whose general equation in Cartesian coordinates (x, y, z) satisfies the equation: $z = (x/a)^2 - (y/b)^2$ $z = (x/a)$. According to [11], the explicit (canonical) equation of a hyperbolic paraboloid has the following form:

$$z = \frac{x^2}{2p} - \frac{y^2}{2q}, \quad p > 0, q > 0. \quad (1)$$

The formula (1) shows that hyperbolic paraboloids can be generated by the translation of a mobile parabola $y^2 = -2qz$ along a fixed parabola $x^2 = 2pz$ or vice versa [11].

The use of space-rod structures is not a new technology: construction with their use has more than half a century of history. Reticulated shells were most often used in industrial construction, where it was required to cover spans of more than 30–40 m with minimal metal costs.

Reticulated shells are not the only option for the construction of spatial structures, however, the inherent properties of such structures set them apart from the rest. A detailed monograph on the types and applicability of load-bearing structures and a description of their overall performance in the static formulation has been discussed [20].

Even though the scientific and technical literature describes many examples of the use of thin shells in the form of canonical surfaces, such as a paraboloid of revolution [21], a one-sheeted hyperboloid of revolution [22], a conoid [21, 23], an ellipsoid of revolution [21], an elliptical paraboloid [24], conical surfaces [25], etc., architects are increasingly using thin-walled and single-layer steel reticulated shells in the form of analytically unspecified surfaces. This is facilitated by the widespread use of numerical methods for defining surfaces and the

development of numerical methods for calculating shells using the FEM. In these cases, it is required to specify the middle surfaces of shells using reference points, in contrast to the analytical task of surfaces [26].

A lot of experience has been accumulated in the field of calculation, design, and construction of shells of a simple canonical form, but these shells can no longer satisfy all the needs of society. The construction of buildings and structures with large spans or complex geometric shapes is an indicator of the high level of achievements in building science [27]. The purpose of this paper is to study the impact of reticulated shells in construction, to identify the disadvantages and advantages of reticulated shells, and a general study to enable easy access to information for researchers.

Properties of mesh shells

A characteristic feature of reticulated shells is the absence of load-bearing structures in the form of various columns, beams, and ceilings. The structure is self-supporting and, in most cases, has higher load-bearing properties compared to other types of structures. This is due to the uniform distribution of loads on all the rods of the structure, which virtually eliminates brittle fractures. Structures based on a geodesic dome, in addition to high bearing properties, also have good aerodynamic performance, which expands the range of their application.

The assembly of reticulated shells is carried out in a faster time and requires an order of magnitude fewer labor resources compared to traditional structures. Installation does not require special construction equipment, equipment, and fixtures - the main working tool is a wrench.

Membrane materials are often used to cover dome structures. The membrane is a high-tech, universal coating. Such coatings are convenient for transportation and installation, compact, and non-flammable. In the harsh Russian climate, it is possible to use insulated membranes. In addition to membranes, steel sheets, sandwiches, etc. cut in triangles can be used for coating. They are fastened together with bolted and riveted joints.

The glazing of shells has received the wide application. Such a coating is the most attractive from an architectural and aesthetic point of view, however, the use of glass as a building envelope always leads to an increase in cost and an increase in metal consumption due to a decrease in the tolerances for movement of structural elements and settlement.

A reticulated shell structure is a basic type of large spatial structure. And it is widely used in engineering due to its attractive architectural performance and good load-bearing capacity. Because the membrane force is the main resistance force of the reticulated shell structures under loads, the stability behavior of this type of structure is a controlling factor in the analysis and design. The stability behavior includes static stability and dynamic stability. In the past decades, the static stability of the reticulated shell structures has been extensively studied, and a lot of research results have been got [28-31].

Due to its aesthetic beauty, lightweight, high ductility, good recycling capacity, as well as easy assembly, the reticulated shell, a popular type of space structure, has been tremendously improved during recent decades. The reticulated shell is commonly applied in exhibition halls, rail stations, airports, and sports gymnasiums such as large-scale public buildings. The collapse of such structures in an event of a severe earthquake may result in serious casualties and property loss. The correct prediction of the dynamic response of reticulated shells has recently become a subject of great significance for researchers.

In past studies, the conventional Prandtl-Reuss material model, in which the elastic-perfectly plastic stress-strain relations are derived according to the von Mises yield criterion and the relevant flow rule [32], is frequently exploited to characterize the material behavior in numerical simulation of dynamic response for these structures. However, the members of reticulated shells are imposed by three-dimensional loading cyclically and the plasticity of the material develops so severely that the effects of damage accumulation on material properties should be considered. Therefore, it is expected to propose a constitutive model considering material damage for circular steel tubes of reticulated shells.

Buckling analyses of several reticulated shell structures are carried out using both an approximate equivalent shell analysis and a discrete analysis which is essentially exact [33].

Single-layer reticulated shells have been widely used in structures for their lightweight, aesthetics, and ability to span large spaces [34]. Based on the configuration of reticulation, traditional single-layer reticulated shells can be classified as radial ribbed, Schwedler, Lamella, Kiewitt, geodesic, three-way latticed, two-way latticed, etc., ref. [35]. However, these traditional single-layer reticulated shells have significant stability issues under external loads (including wind loads), compared with

other common structural types. The stability performance of single-layer reticulated shells was found to be closely related to structural imperfection and damage.

In practice, most spatial structures have a supporting frame called, a “substructure”. During an earthquake, the effects of seismic ground motions act on the base of these substructures, and then these effects are transmitted up into the main reticulated shell structure. In this respect, an accurate and realistic investigation of the behavior of earthquake-resistant spatial structures would be achieved if the reticulated shell structure and the supporting frame (substructure) are considered as an integral whole. To date, there are only a few papers published concerning this issue [36-38].

Problems of Design of Buildings and Structures Using Reticulated Shells

Reticulated shells are load-bearing building structures that are made of metals, composite materials, or wood. Today, the shells are relevant for the world's progressive architecture in the style of deconstructivism and "hi-tech". The advantage of mesh shells is the ability to cover large spans or achieve a unique shape and architectural expressiveness of building elements – facades and roofs.

One of the reasons why reticulated shells are not so often designed is the complex modeling of structures in computational systems. It is important to consider the geometric and physical nonlinearity in the operation of shells under the action of loads to obtain the most reliable picture and the stability of spatial structures [39]. To date, the issue of studying methods for modeling reticulated shells with the help of software and computer systems is relevant. To do this, it is necessary to consider the main modern methods of shell modeling - discrete and continual.

In the discrete model, ribs are represented as shells, beams, or 3D finite elements. Today, with the help of the model, those problems can be successfully solved in which restrictions are imposed on critical forces or moments. The reason is the computing capabilities of modern computers. Finite element modeling software packages – ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, etc. – allow you to use programming to generate mesh models. Another way is to develop a model in visual programmable editors, for example, in Rhinoceros 3D, which also allows you to create models of any shape with the help of programming and subsequently

export them to calculation systems. These programs help in a short time to determine the degree of influence of the network structure parameters on the critical force or moment.

The continuum model of the retina is characterized by often-spaced ribs. This system is conditionally replaced by a solid shell, the stiffness of which takes an average value. It depends on the layout and stiffness of the generating ribs. When using the continuum model, the reticulated shell is described by the traditional equations of orthotropic shells. In this case, the issue of constructing a correct mathematical model of a continuum shell with the most accurate geometric and physical properties of a real shell is relevant [40].

The disadvantages of reticulated shells with star-shaped nodal details are the use of only thin-sheet roofing material; the need to arrange a warm roof and suspended ceiling in heated rooms. Due to the method of fastening the panels of the roofing material, which are fastened with screws directly through the panel to the frame rods with some overlap, further maintenance, and repair of the reticulated shell is difficult, while tightness is achieved by smearing the joints with waterproofing mastics, which increases the complexity of manufacturing the shell and reduces its reliability from leaks. The used cross-sectional profiles of the frame rods do not provide for the possibility of attaching rigid roof panels, which greatly complicates the manufacture of translucent coatings or the arrangement of translucent openings [41].

Construction of computational models of mesh shells

The load-bearing capacity of a reticulated shell is influenced by two main factors: the shape of the shell itself and the shape of the elements forming it. The change in the shape of the formations in the mesh directly affects the critical loads, internal stresses, and natural frequencies of oscillation.

All research in the field of reticulated structures can be classified into one of two directions: research based on a discrete computational model and research based on a continuum computational model [42]. The works belonging to each of these two directions successfully complement each other.

Following the discrete computational model the reticulated shell is considered a spatial rod system. As the number of nodes and rods increases, the difficulty of numerical implementation of such a scheme

significantly increases. These circumstances have led to the development of various approaches to the calculation of complex rod systems based on discrete models. Among them, the most effective methods are the super element method, the substructure method, the "condensation" method, the generalized unknown method, and the discrete finite element method, making it possible to lower the order of the solving system of equations and considered [43 - 49].

The continuum model is used to calculate mesh shells when the distance between nodes is quite small compared to the size of the system. Some equivalent continuous shell is taken as the calculation model. In this case, an important question is the question of building a correct mathematical model of the continuum shell, whose characteristics represent the geometrical and physical properties of the real lattice system as accurately as possible.

Both approaches to the task of computational reticulated shell models have certain advantages and disadvantages. The application of the discrete mesh shell model is necessary when the mesh step is highly sparse and when the continuum model does not allow to obtain of correct results.

An advantage of the continuum model over the discrete model is the possibility of using the theory of differential equations and differential geometry, which facilitates problem formulation and solution. In obtaining a solution based on a continuum model, the accuracy of the results depends on the density of the reticulated and the nature of external influences. The area of applicability of such a computational model is quite wide.

Discussion

The widespread use of reticulated shells is constrained by the difficulties of designing, modeling, and calculating such structures. It is necessary to introduce into the educational process new and typical software systems and related disciplines for the national engineering school to obtain in-depth knowledge in the field of programming and mathematical analysis. The training of new highly specialized engineering personnel will make it possible to put into practice the ideas of domestic architects, whose work is already highly rated at international competitions and forums.

Discrete and continuum models act as complementary methods for modeling reticulated shells. The discrete model shows reliable results

with a sparse reticulated size or a small number of finite elements. The continuum model is more suitable for a densified grid and allows using the theory of differential equations to simplify the solution of the problem.

Conclusion

The purely geometrical shape of the hyperbolic paraboloid is relatively easy to work with, both from structural analysis and design viewpoint. However, the effects of the bending stresses that are generated for the given geometry must be considered. These bending stresses should be dealt with rationally by adjusting the curvatures of the shell instead of increasing the cross-section [14].

Due to the difficulty in modeling and constructing reticulated shell structures, this shell type has become few in the world.

The unified stable bearing capacity of the modified structure allows engineers to consider its structural performance when choosing a model with high accuracy and thus make more effective model selection decisions.

References

1. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirrniran A., Tripeny P. Special structures: past, present, and future. *J. Struct. Eng.* 2002;128(6):691–709. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2002\)128:6\(691\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2002)128:6(691)).
2. Ramm E., Mehlhorn G. On shape finding methods and ultimate load analyses of reinforced concrete shells. *Eng. Struct.* 1991;13(2):178–198. [http://dx.doi.org/10.1016/0141-0296\(91\)90050-M](http://dx.doi.org/10.1016/0141-0296(91)90050-M).
3. Aleshina O., Cajamarca D., Barbecho J. Numerical comparative analysis of a thin-shell spatial structure for the Candela's Cosmic Rays Pavilion. *Adv. Astronaut. Sci.* 2021;174:741–752.
4. Pérez-Peraza J. Reminiscences of cosmic ray research in Mexico. *Adv. Sp. Res.* 2009;44(10):1215–1220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2008.11.031>.
5. Minor A. Up-and-down journeys: the making of Latin America's uniqueness for the study of cosmic rays. *Centaurus.* 2020;1–23. <http://dx.doi.org/10.1111/1600-0498.12335>.
6. Mendoza M. Felix Candela's first European Project: The John Lewis Warehouse, Stevenage New Town. *Archit. Res. Q.* 2015;19(2):149–60. <http://dx.doi.org/10.1017/S1359135515000251>.

7. *Krivoshapko S.N., Hyeng C.A.B., Mamieva I.A.* Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *Int. J. Recent Res. Appl. Stud.* 2014;18(2):95–108.
8. *Krivoshapko S.N., Mamieva I.A.* Analytical surfaces in the architecture of buildings, structures and components. Moscow: LIBROKOM Publ.; 2011. (In Russ.).
9. *Виноградова Т.П., Авдеев С.Н.* Нижегородские открытия. Код Шухова. – Нижний Новгород: ООО «Издательство «Покровка 7», 2013. – 144 с.
10. *Петропавловская И.А.* Металлические конструкции академика В.Г. Шухова – М.: Наука, 1990. – 112 с.
11. *Krivoshapko S.N., Ivanov V.N.* Encyclopedia of analytical surfaces Switzerland: Springer International Publishing AG; 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-11773-7>.
12. *Farshad M.* Design of hyperbolic paraboloid shells. In: *Design and Analysis of Shell Structures*. Switzerland: Springer-Science+Business Media, B.V.; 1992. p. 215–247.
13. *Oliva Quecedo J., Antolin Sanchez P., Cámara Casado A., Goicolea Ruigómez J.M.* Finite element model analysis of works authored by Felix Candela. *Hormigón y Acero*. 2011;(1):61–76.
14. *Rippmann M.* Funicular shell design geometric approaches to form finding and fabrication of discrete funicular structures. PhD Thesis. Zurich; 2016.
15. *Bischoff M., Ramm E., Irslinger J.* Models and finite elements for thin-walled structures. In: *Encyclopedia of Computational Mechanics Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.; 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119176817.ecm2026>.
16. *Goldenveizer A.L.* Theory of elastic thin shells. - Moscow: GTTI, 1953. 544 p.
17. *Krivoshapko S.N.* Two types of calculation equations for shells in arbitrary curvilinear coordinates. 2017. No. 1. S. 15-22.
18. *Rynkovskaya M., Ivanov V.* Analytical method to analyze right helicoid stress-strain // *Advanced Structured Materials*. 2019. Vol 92. Pp. 157-171.
19. *Krivoshapko S.N.* Static analysis of shells with developable middle surfaces // *Applied Mechanics Reviews*. Vol.51. No12, Part 1. December 1998. Pp. 731-746.

20. *Энгель Х.* Несущие системы; пер. с нем. Андреевой Л.А. – М.: АСТ, 2007. – 344 с.
21. KrasicSonja. Geometrijske PovršiuArhitekturi. – Gradevinsko-arhitektonskifakultetUniverzitetuNišu, 2012. 238 p.
22. *Krivoshapko S.N., Mamieva I.A.* Rod systems in the form of a one-sheeted hyperboloid of revolution // *Montazhnye i spetsialnye raboty v stroitelstve*. 2011;(11):19–23. (In Russ.).
23. *Das S.H., Chakravorty D.* Bending analysis of stiffened composite conoidal shell roofs through finite element application // *Journal of composite materials*. 2011. 45(5). Pp 525-542.
24. *Krivoshapko S.N., GbaguidiAïssè G.L.* Geometry, static, vibration and buckling analysis and applications to thin elliptic paraboloid shells // *The Open Construction and Building Technology Journal*. 2016.10(1). P. 576-602 [DOI: 10.2174/1874836801610010576].
25. *Mamieva I.A., Razin A.D.* Symbol spatial structures in the form of conic surfaces. *Industrial and Civil Engineering*. 2017. No. 10. S. 5-11.
26. *Romanova V.A.* Features of the image of the process of surface formation in the AutoCAD CAD system. 2012. No. 4. P. 3-5.
27. *Krivoshapko S.N., Mamieva I.A.* Outstanding spatial structures of the last 20 years // *Montazhnye i spetsialnye raboty v stroitelstve*. 2012;(12):8–14. (In Russ.).
28. *Shen S.Z. et al.* Stability of Reticulated Shells. Science Press, Beijing, China, 1995.
29. *Fujimoto M. and Imai K. et al.* Buckling Experiment of Single-layer Two-way Grid Cylinder Shell Roof under Centrally Concentrated Loading. *Space Structures 5*, Thomas Telford, London, 2002.
30. *Chen W., Fu G. and He Y.* Geometrically Nonlinear Stability Performance for Patial Double Layer Reticulated Steel Shell Structures. *Space Structures 5*, Thomas Telford, London, 2002.
31. *Zeinoddini M., Parke G.A.R. and Disney P.* “The Stability Study of an Innovative Steel Dome,” *Int. J. Space Struct.* vol. 19, no. 2, pp. 109-125, 2004.
32. *Chen W.F. and Han D.* (eds.) Plasticity for Structural Engineers (Springer-Verlag, New York, 2012).
33. *Steven E. Forman and John W. Hutchinson.* “Buckling of Reticulated Shell Structures”, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 6, No. 7, July 1970, pp.909-932, doi:10.1016/0020-7683(70)90004-1

34. *Ke C.* Struct. concepts of public buildings in Japan. *ArchiCreation* 2002, 7, 18–27.
35. *Dong S.* Continuous analysis method of reticulated spherical shell. *J. Build. Struct.* 1988, 9, 1–14.
36. *Sadeghi A.* Horizontal Earthquake Loading and Linear/Non-linear Seismic Behavior of Double Layer Barrel Vaults. *International Journal of Space Structures*, Vol. 19, No.1, pp. 235-244, 2004.
37. *Thkeuchi T. and Orawa T. et al.* Response Evaluation of Medium Span Lattice Domes with Substructures Using Response Spectrum Analysis. *Proceedings of the IASS*, 2004.
38. *Jianheng S., Hongmei L. and Rahimi A. Noshnagh.* Earthquake Effects on Single-layer Lattice Domes with Supporting Frames. *Proceeding of IABSE-IASS2011*, London, 2011.
39. *Petrenko F.I.* Calculation of mesh shells of negative Gaussian curvature taking into account geometric and physical nonlinearity. Dissertation abstract [Electronic resource]. URL: <https://dlib.rsl.ru/01006657918>.
40. *Lopatin A.V., Barylnikova E.A.* Finite element modeling of mesh cylindrical shells. [Electronic resource] // *Reshetnev readings*. – 2010. – Т. 1. – No 14. – S. 22-23.
41. *Kesaev Vladimir Valerievich.* Patent: <https://findpatent.ru/patent/229/2292429.html>.
42. *Амосов А.А.* Приближенная трехмерная теория толсто-стенных пластин и оболочек // *Строительная механика и расчёт сооружений*, 1987, № 5, с. 37-42.
43. *Андронов В.А.* Применение метода дискретных конечных элементов к решению задач статики динамики сложных стержневых систем регулярной и квазирегулярной структуры: Дисс. канд. техн. наук. – Волгоград, 1986. – 240 с.
44. *Андронов В.А., Гуров О.В.* Решение задач устойчивости сетчатых оболочек вращения методом дискретных конечных элементов // *Проблемы теории пластин, оболочек и стержневых систем: Межвузовский научный сборник СГТУ*, 1998, с. 26-31.
45. *Гуров О.В.* Решение статических задач устойчивости сетчатых пластин и оболочек с использованием метода дискретных конечных элементов: дисс. канд. техн. наук. – Череповец, 1997. – 178 с.
46. *Игнатьев В.А.* Расчет стержневых пластинок и оболочек. Метод дискретных конечных элементов. – Саратов: Изд-во СГУ, 1988. – 156 с.

47. *Игнатьев В.А., Соколов О.Л., Альтенбах И., Киссинг В.* Расчет тонкостенных пространственных конструкций пластинчатой и пластинчато– стержневой структуры. – М.: Стройиздат, 1996. – 560 с.

48. *Карпов В.В., Игнатьев О.В.* Конструктивно–ортоотропная схема ребристой оболочки, учитывающая сдвиговую и крутильную жесткость перекрестной системы ребер. – Волгоград: ВолгИСИ, 1992. – 7с.

49. *Карпов В.В., Игнатьев О.В.* Устойчивость пологих оболочек с изломами срединной поверхности и подкрепленных перекрестной системы ребер. – Волгоград: ВолгИСИ, 1992. – 8 с.

50. *Ohmori H., Yamamoto K.* Shape optimization of shell and spatial structure for specified stress distribution. Mem. Sch. Eng. Nagoya Univ. Japan. 1998;50(1):1–32.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ

*Кайс Кайс Абдулрахман Али **,

Тупикова Е.М.

Департамент строительства,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**qaiseng@gmail.com*

Аннотация. Сетчатая оболочка – одна из традиционных длиннопролетных пространственных конструкций, склонная к постепенному разрушению при сильном землетрясении из-за своей уникальной однослойной особенности. Однослойные сетчатые оболочки широко используются, но их характеристики устойчивости не идеальны. Более того, они чувствительны к структурным повреждениям и недостаткам, а существующие традиционные методы проектирования, такие как увеличение поперечного сечения, усиление антикоррозийной защиты и уплотнение структурной сетки, неэкономичны. Основной целью данной работы является понимание влияния сетчатых оболочек в строительстве и его проблем для определения путей улучшения сетчатых оболочек для более широкого использования в строительстве. Сетчатые несущие оболочки стали довольно часто использоваться в качестве основного каркаса

высотных зданий, благодаря своей конструктивной эффективности и уникальной геометрии, позволяющей воплощать самые необычные архитектурные решения как в форме самого здания, так и в его планировке.

Ключевые слова: сетчатые оболочки, структуры, гиперболический параболоид, конструкционная решетка, пространственные сооружения

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНОИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Вагурина Ю.А., студент

Департамент строительства,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. За последние двадцать лет, с ростом технологий, значительно возросло число зданий, возведенных в стиле параметрической архитектуры. Этот стиль стал важным направлением в мировой архитектуре, сочетающий в себе знания из различных отраслей, таких как физика, скульптура, биология, математика. В параметрической архитектуре активно используются поверхности для формирования зданий, сооружений и конструкций. Решение вопросов построения и расчета являются ключевой задачей современной инженерии. Статья посвящена обзору коноидных поверхностей. Описаны виды коноидов и их математические функции, использование в строительстве. Приведены примеры реализованных проектов с конструкциями, в которых использованы данные линейные поверхности.

Ключевые слова: линейные поверхности, коноид, коноидные поверхности, параметрическая архитектура, строительство

Введение

Значительный рост интереса к проектированию объектов с нестандартными формами, неограниченными рамками стандартов строительства, дает почву для новых исследований различных аналитических поверхностей, их свойств и дальнейшего применения, что делает выбранную для исследования тему актуальной [1].

Цель работы – привлечение внимания к потенциалу использования коноидальных поверхностей в архитектуре и строительстве, проиллюстрировать целесообразность их применения в проектировании городской архитектуры.

Линейная поверхность – это непрерывное множество последовательных положений прямой линии в пространстве, перемещающейся по определенному закону. Такие поверхности можно найти в различных областях науки, например, в геометрии, механике, оптике, геологии, биологии и др. [2-4].

В данной статье рассматриваются коноиды и их воплощение в архитектуре и строительстве.

Коноид – это одна из поверхностей Каталана, у которой образующие пересекают фиксированную прямую - ось коноида и криволинейную образующую. Поверхность Каталана- вид линейчатой поверхности, прямолинейные образующие которой параллельны одной и той же плоскости параллелизма. Иначе говоря, коноид – это поверхность, которая образуется путем перемещения прямолинейной образующей вдоль непересекающихся направляющих прямолинейной и криволинейной формы. В некоторых источниках можно найти другое название коноидов- клиновидные поверхности [5].

Прямой коноид – коноид, у которого ось коноида, фиксированная прямая, перпендикулярна плоскости параллелизма. А. Гауди впервые использовал такую поверхность в своей работе, поэтому архитекторы иногда называют ее «поверхностью Гауди» [6].

Коноиды представляют интерес для многих научных исследований за счет своих физических, эргономических и экономических характеристик. Так коноидные поверхности можно встретить в аэродинамике, физике, математике, биологии, космической инженерии и др. В период с 2010 по настоящее время можно найти множество исследований связанных с изучением свойств коноидных поверхностей, собственных колебаний и динамических задач, связанных с ними [7].

Физические свойства коноида

Одним из наиболее часто встречающихся случаев применения коноидов в архитектуре и строительстве является создание крыш зданий, это обусловлено симметричностью коноидальных фигур относительно оси коноида, симметричность относительно оси образующей [8].

Поверхность коноида имеет различную кривизну в разных точках. Наибольшая кривизна достигается при максимальном удалении от оси коноида, минимальная при приближении к прямой направляющей, что также помогает архитекторам создавать разнообразные формы [9].

Эргономичность форм, конструкций с использованием коноидальных поверхностей, например, шедовых крыш, позволяет грамотно перераспределять тепловую энергию и солнечный свет

без прямого попадания лучей внутрь здания. Такое конструктивное решение может быть полезно при проектировании картинных галерей, где особое внимание уделяется попаданию солнечных лучей в помещение.

Механические свойства коноидов

Механические свойства коноида очень сильно зависят от материала возводимой конструкции и геометрических параметров поверхности, таких как радиус кривизны, покрываемая площадь, толщина оболочки и др. Инженеры и архитекторы используют коноиды для создания жестких и прочных конструкций, таких как крыши, купола, благодаря их способности выдерживать большие нагрузки при минимальной деформации и максимальной устойчивости [10].

Грамотно подобранный материал для изделий и параметры самой коноидальной формы значительно могут повысить прочность и устойчивость конструкции.

Благодаря равномерному пересечению узлов пересечения образующей с направляющими линиями использование регулярных коноидов может дополнительно повысить их несущую способность и упростить организацию узловых соединений элементов конструкции.

Аналитическое задание коноида в пространстве

В зависимости от формы направляющей кривой, ориентированности в пространстве оси коноида и взаимного расположения направляющих и образующих можно получить различные поверхности. Так принято выделять следующие виды коноидов: коноид с направляющей окружностью, параболический коноид, цепной коноид, прямой коноид с направляющей параболой, ось которой параллельна оси коноида, коноид Пюккера, коническая кромка Уоллиса, коноид Циндлера, эвольвентный коноид, прямой геликоид [11].

Общее параметрическое уравнение коноидальной поверхности имеет вид [12]:

$$\begin{aligned}x &= x(u, v) = x_0 h(v) + u[f(v) - x_0 h(v)] \\y &= y(u, v) = y_0 h(v) + u[g(v) - y_0 h(v)] \\z &= z(v) = h(v),\end{aligned}$$

где за точку пересечения координатных осей Ox , Oy и Oz принята точка пересечения фиксированной плоскости параллелизма P и оси коноида AB , плоскость P принять за координатную плоскость ($z=0$), введен направляющий вектор прямой AB : $\{x_0, y_0, 1\}$, а уравнение направляющей кривой C принято в виде $r(v)=\{f(v), g(v), h(v)\}$ [13].

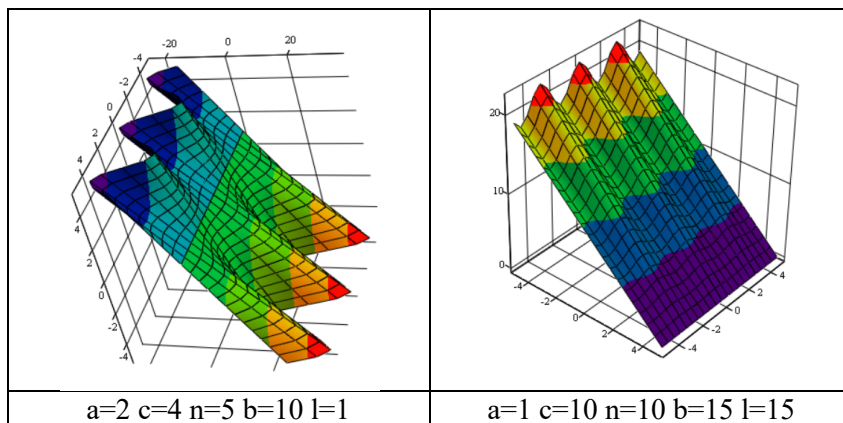
При помощи параметрических уравнений коноид также можно задать следующим образом

$$\begin{aligned} x &= x(u, v) = u \cos(v) + \alpha f(v) & y &= y(u, v) = u \sin(v) + \beta f(v) \\ z &= z(v) = \gamma f(v) \end{aligned}$$

где $\{\alpha \ \beta \ \gamma\}$ -единичный вектор, задающий направление оси координат; $f(v)$ -некоторая функция. Если принять $\alpha=\beta=0$, а $\gamma=1$, то получим прямой коноид, а если к этому условию добавить $f(v)=\alpha v$, то получим прямой геликоид [14].

Предположив, что прямая AB совпадает с координатной осью Oz , а кривая C лежит в плоскости $x=l$, где l расстояние от оси коноида до плоскости криволинейной направляющей C , заданной уравнением $C=f(z)$, тогда коноидальную поверхность можно задать в явной форме $y=xf(z)/l$ [15]. При подстановке в это уравнение различных значений C можно получить различные виды коноидных поверхностей. Так при задании прямого синусоидального коноида в явной форме в Mathcad можно получить:

$$z(x, y) := \frac{l - x}{l} \left(a \cdot \cos \left(\frac{n \cdot \pi \cdot y}{b} \right) + c \right)$$



Для ознакомления приведем некоторые другие явные уравнения коноидов:

Коноид Плюккера:

$$z(x, y) := \frac{2 \cdot a \cdot x \cdot y}{x^2 - y^2},$$

где a – произвольная константа.

Параболический коноид:

$$z(x, y) := \frac{-xc}{a} \left(1 - \frac{4 \cdot y^2}{d} \right),$$

где c – координата вершины параболы, a – координата по оси x , d – ширина коноида.

Коноид с направляющей окружностью:

$$z(x, y) := \frac{x}{l} \left(a - f - \sqrt{a^2 - y^2} \right),$$

где a – радиус направляющей окружности, f – расстояние от вершины окружности, лежащей в плоскости $x=l$ (расстояние между направляющими).

История использования коноида и примеры

Благодаря архитекторам, которые старались добиться уникального внешнего вида для своих работ, в истории достаточно примеров использования коноидных поверхностей. К самой ранней постройке можно отнести церковь Сан-Карло алле Куатро Фонане в Риме, где при строительстве фасада использовалась коноидная форма. Автором этого памятника архитектуры 17 века является Франческо Борромини.

Коноидные оболочки также нашли свое применение в промышленности. В период 1950-1960 годов они активно использовались во Франции, Италии, странах восточной Европы и СССР для покрытий промышленных зданий пролетом до 60 м.

Работы Антонио Гауди являются одними из самых известных в мире [16]. Как уже упоминалось ранее он первым разработал и применил поверхность коноида в качестве перекрытия приходской школы при Искупительном храме Святого Семейства в 1909-1910 годах (рис. 1). Это небольшое строение заложило основу для дальнейшего проектирования создания подобных элементов.

Испанский архитектор С. Калатрава применил разработки А. Гауди в своей скульптуре «Волна» (рис. 2), которая расположена рядом с музеем искусства Медоуса на территории Южного методистского университета в Техасе. Такая же задумка была воплощена чуть позднее С. Калатравой в 250-метровой движущейся композиции из труб «Стена Нации», расположенной в Афинах.



Рис. 1. Приходская школа при храме Святого Семейства

[<https://krovlirossia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/>]

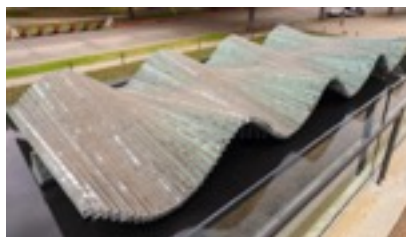


Рис. 2. Скульптура «Волна» С. Калатрава

[<https://www.dreamstime.com/photos-images.html>]



Рис. 3. Олимпийский стадион в Мюнхене

[<https://www.go2munich.ru/olimpijskij-stadion-myunhen-olympiastadion-munchen/>]



Рис. 4. Музей

Гуггенхейма в Абу-Даби

[<https://pajournal.com.ua/ru/news/v-2026-godu-guggenhajma/>]

В середине 20 века, благодаря развитию технологий строительства, производству новых материалов, а также моде на такие архитектурные стили как деконструктивизм, экспрессионизм и постмодернизм, коноидная форма начала пользоваться популярностью. Большое количество архитекторов вдохновлялось новыми, необычными формами, что послужило появлению экспрессивных проектов. Такие сооружения как Олимпийский стадион в Мюнхене (рис. 3), где коноидная форма поддерживается конструкцией из висячих стальных тросов, которые составляют массив в виде перекрытий-оболочек, а также концертный зал Multihalle в Мангейме, стали достижением архитектора Фрая Отто, за что тот посмертно стал лауреатом Притцкеровской премии.



Рис. 5 Дом Жюль Грегори
[http://www.midcenturia.com/2011/01/architect-jules-gregory-house_08.html]

Следующим, не менее ярким примером служит Музей Гугенхайма в Абу-Даби (рис. 4). Коноидальные и другие оболочки покрыты стальными листами, составляющие фасад здания, благодаря чему оно отражает свет и создаёт ощущение «танцующей» архитектуры.

Благодаря своему эстетическому виду и эксплуатационным характеристикам, пропусканию света, оптимальному естественному удалению газов и задымлений из покрываемых пространств шедовые крыши на основе коноидных форм стали использоваться в небольших общественных зданиях и в частном гражданском строительстве. Так в 1966 году в Нидерландах было построено несколько десятков зданий с деревянными шедовыми коноидами, которые используются по сей день, Архитектор Жюль Грегори возвел для себя

частный дом с покрытием на основе синусоидального коноида в Ламбервилле, Нью-Джерси, США (рис. 5).

Таким образом коноиды используются в архитектуре и строительстве как способ создания органических плавных форм, которые хорошо подходят для окружающей среды и функции здания или сооружения.

В России примером использования коноидной поверхности служит здание автовокзала в г. Сочи, авторство архитектора В.М. Морозова. Коноид используется в качестве оформления крыши.

Заключение

С новыми технологиями и материалами, коноидальные поверхности становятся все более востребованы в самых различных сферах нашей жизни. Они имеют большой потенциал для дальнейших исследований и применения в новых перспективных проектах. Круг их применения очень широк, они могут найти свое применение от архитектуры и строительства до биологии и микроэлектроники. С их помощью можно создавать устойчивые, прочные и легкие конструкции, отвечающие нужным требованиям. Благодаря им создаются интересные архитектурные формы и детали. Их геометрическая форма может придать зданию величественный и привлекательный вид.

В целом, коноиды становятся важнейшим элементом современной архитектуры, которые помогают создавать арт-объекты, здания, сочетающие в себе высокие технические характеристики и эстетическое значение.

Список литературы

1. *Кравченко Г.М., Манойленко А.Ю., Литовка В.В.* Параметрическая архитектура // Инженерный вестник Дона. – 2018 г. – № 2 URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_223_kravchenko_manoylenko_litovka.pdf_c6c578c146.pdf.
2. *Рынкoвская М.И.* К вопросу расчета прямых геликоидальных оболочек по методу в.г. рекача // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2006. – № 2. – С. 63-66.
3. *Filipova J., Rynkovskaya M.* Carved monge surfaces as new forms in the architecture. MATEC Web of Conferences. "2016 the 3rd International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering, ICMME 2016" 2017. – С. 17006.

4. *Ермакова Е.В., Рынковская М.И.* Формирование пластики оболочек в концертном зале // Известия КГАСУ. Казань, 2019. – С. 53-56.
5. *Мамиева И.* Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // Academia. Архитектура и строительство 2020 г., с. 150–165. URL: <https://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201>
6. *Doležal J.* The story of a right wavelet conoid// WDS' 11 Proceedings of Contributed Papers, Part 1. – 2011. – P. 72-77.
7. *Кривошапко С.Н.* Применение коноида и цилиндроида при формообразовании зданий и сооружений оболочечного типа // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 5 (73). – С. 34–44.
8. *Кривошапко С.Н., Галишиникова В.В.* Архитектурно-строительные конструкции // Учебник для академического бакалавриата 2023 г. 460 с. ISBN 978-5-534-03143-0.
9. *Беляева З.В.* Моделирование пространственных конструкций // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 2015 г. 175 с. URL: https://pstu.ru/files/file/adm/dissertacii/belyaeva/dissertaciya_belyaeva_zv.pdf.
10. *Nartova L.G., Anamova R.R., Leonova S.A.* Modeling ideas for ruled surfaces and their implementation in applied geometry Journal of Physics: Conference Series To cite this article: L G Nartova et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1889 052017.
11. *Исмаил Таха Фархан, Имомназаров Т.С.* Теоретическая спецификация жесткой коноидальной крыши со сосредоточенной нагрузкой // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН 2018 г. № 3. URL: https://uniip.ru/wp-content/uploads/2018/11/2018-3_12s.pdf.
12. *Ильясова О.Б., Глухов В.И.* Формализованный аппарат конструирования линейчатых поверхностей // Омский научный вестник, 2008 г. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalizovannyi-apparat-konstruirovaniya-lineychatyh-poverhnostey>.
13. Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор // Рынковская М.И.: дисс. канд. техн. наук : 05.23.17 / Гос. ун-т путей сообщ. МПС РФ. Москва, 2013. – 217 с.

14. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* «Энциклопедия аналитических поверхностей» 328 с. 2019 г. ISBN: 978-5-397-00985-0.
15. *Joseph Cabeza-Lainez.* Architectural Characteristics of Different Configurations Based on New Geometric Determinations for the Conoid to the Special Issue Architecture: Integration of Art and Engineering) <https://doi.org/10.3390/buildings12010010>
16. *Лексина О.И.* Линейные поверхности как конструктивное, функциональное и художественное средство в архитектуре Гауди // Architecture and Modern Information Technologies, 2014 г.

References

1. *Kravchenko G.M., Manojlenko A.Y., U.Litovka V.V.* Parametricheskaya arhitektura [Parametric architecture], Inzhenernyj vestnik dona № 2, 2018.
2. *Rynkovskaya M.I.* On the issue of calculating straight helicoidal shells by the method of V.G. Rekacha // Structural mechanics of engineering buildings and structures. 2006. – No. 2. – P. 63-66.
3. *Filipova J., Rynkovskaya M.* Carved monge surfaces as new forms in the architecture. MATEC Web of Conferences. "2016 the 3rd International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering, ICMME 2016" 2017. – P. 17006.
4. *Ermakova E.V., Rynkovskaya M.I.* Formation of plastic shells in the concert hall // Izvestiya KSUAU. Kazan, 2019. – P. 53-56.
5. *Mamieva I.* Analiticheskie poverhnosti dlya parametricheskoj arhitektury v sovremennyh zdaniyah i sooruzheniyah. [Analytical surfaces for parametric architecture in modern buildings and structures] Academia. Arhitektura i stroitel'stvo, 2020, 150–165 с. <https://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201>.
6. *Doležal J.* The story of a right wavelet conoid// WDS' 11 Proceedings of Contributed Papers, Part 1. – 2011. – P. 72-77.
7. *Krivoshapko S.N.* Primenenie konoida i tsilindroida pri formoobrazovanii zdanii i sooruzhenii obolochecnogo tipa [The application of conoid and cylindroid in forming of buildings and structures of shell type]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction], 2017, no. 5 (73), pp. 34–44.
8. *Krivoshapko S.N., Galishnikova V.V.* Arhitekturno-stroitel'nye konstrukcii. Uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata [Architectural and building structures. Textbook for academic baccalaureate]2023. 460 с. ISBN 978-5-534-03143-0.

9. *Belyaeva Z.V.* Modelirovanie prostranstvennyh konstrukcij [Modeling of spatial structures Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences] 2015 г. 175 с. https://pstu.ru/files/file/adm/dissertacii/belyaeva/dissertaciya_belyaeva_zv.pdf.
10. *Nartova L.G., Anamova R.R., Leonova S.A.* Modeling ideas for ruled surfaces and their implementation in applied geometry Journal of Physics: Conference Series To cite this article: L G Nartova et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1889 052017.
11. *Ismael Taha Farhan, Imomnazarov T.S.* The theoretical specification of stiffened conoidal shell roof with pointload, Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN.
12. *Il'yasova O.B., Gluhov V.I.* Formalizovannyj apparat konstruirovaniya linejchatyh poverhnostej, Omskij nauchnyj vestnik [Formalized apparatus for designing ruled surfaces, Omsk Scientific Bulletin], 2008 <https://cyberleninka.ru/article/n/formalizovannyj-apparat-konstruirovaniya-linejchatyh-poverhnostey>.
13. *Krivoshapko S.N., Ivanov V.N.* «Enciklopediya analiticheskikh poverhnostej» [Encyclopedia of Analytical Surfaces] 328 с. 2019 г.
14. Bending and problems of calculating thin elastic shells in the form of straight and developing helicoids for a distributed load and settlement of one of the curvilinear supports. Rynkovskaya M.I., diss. cand. tech. Sciences: 05.23.17 / MIIT. Moscow, 2013. – 217 p.
15. *Joseph Cabeza-Lainez.* Architectural Characteristics of Different Configurations Based on New Geometric Determinations for the Conoid to the Special Issue Architecture: Integration of Art and Engineering) <https://doi.org/10.3390/buildings12010010>
16. *Leksina O.I.* Linejnye poverhnosti kak konstruktivnoe, funkcional'noe i hudozhestvennoe sredstvo v arhitekture Gaudi [Linear surfaces as a constructive, functional and artistic means in Gaudi architecture], Architecture and Modern Information Technologies, 2014.

ANALYSIS OF THE USE OF CONOIDAL SURFACES IN CONSTRUCTION

Vagurina Y.A.
Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. Over the past twenty years, with the growth of technology, the number of buildings erected in the style of parametric architecture has increased significantly. This style has become an important trend in world architecture, combining knowledge from various fields such as physics, sculpture, biology, mathematics. In parametric architecture, surfaces are actively used to form buildings, structures and structures. Solving the issues of construction and calculation are the key task of modern engineering. The article is devoted to the review of conoid surfaces. The types of conoids and their mathematical functions, use in construction are described. Examples of implemented projects with structures in which these linear surfaces are used are given.

Keywords: linear surfaces, conoid, conoid surfaces, parametric architecture, construction

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПО ДЕФОРМИРОВАННОЙ СХЕМЕ

Карсанова В.Р., студент

Департамент строительства,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. Цель: исследовать напряженно-деформированное состояние стержня под различными нагрузками с учетом физической и геометрической нелинейности, разработать алгоритм и его реализацию на языке программирования Python для такого расчета.

Методы: численный метод решения системы уравнений – метод конечных разностей, программирование на Python.

Результаты: произведены численные эксперименты, моделирующие работу под нагрузкой металлического стержня, получены значения напряжений и перемещений узлов стержня, построены графики распределения напряжений по сечению стержня при прохождении циклов расчета, графики перемещений узлов по длине стержня при прохождении циклов расчета, построены графики, отражающие характер работы материала (линейный/нелинейный в нескольких приведенных примерах).

Выводы: разработан алгоритм и его реализация для нелинейного расчета сжато-изгибаемых элементов, проведены численные эксперименты, приведены тестовые примеры, результаты наглядны и хорошо согласуются с теорией.

Ключевые слова: физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, расчет по деформированной схеме, язык программирования Python, напряженно-деформированное состояние, метод конечных разностей

Введение

В практике строительных расчетов часто возникает необходимость учета физической нелинейности материала, при больших нагрузках, заставляющих элемент работать в заупругой области. Также зачастую требуется проводить расчет по деформированной схеме, с учетом возникающих в процессе нагружения перемещений. Эти вопросы являются актуальными в современной строительной механике. Многие исследователи посвящают свои работы этой теме [1-5].

Проверка конструкции на прочность выполняется по недеформированной схеме сооружения. Проверка устойчивости выполняется по деформированной схеме. Оба расчета делают независимо друг от друга. Более точным считается расчёт сооружений по деформированному состоянию, называемый «деформационным расчётом» или расчётом по деформированной расчётной схеме. Работы [6-8] посвящены теме математического моделирования поведения конструкции при нелинейном расчете.

При нелинейном расчете принято считать, что схема изменяема во времени. Внутренние силы определяются из условий равновесия сооружения в деформированном состоянии, которое в свою очередь само зависит от внутренних сил. Взаимозависимость этих величин требует циклического расчета и пошагового уравнивания возникающих усилий.

Цель. Цель исследования – разработать алгоритм расчета сжато-изгибаемых элементов металлических конструкций, произвести численные эксперименты по расчету частных случаев, оценить результаты и их соответствие теории.

Методы. Задача решается при помощи метода конечных разностей – универсального и простого численного метода, применяемого в строительной механике.

Обработка большого количества данных при расчете обуславливает применяемый метод: реализация расчета на языке программирования Python.

Расчет циклический. Чем больше циклов пройдено, тем точнее расчет. Обработка большого количества данных при расчете обуславливает применяемый метод: реализация расчета на языке программирования Python. Для проверки адекватности результатов было выполнено несколько расчетов. Внешние усилия приняты различными в каждом случае. Был рассчитан алюминиевый ($E=70000$ МПа, $G=27000$ МПа, $\nu=0,33$) прутки прямоугольного сечения 12×12 мм² длиной 2000 мм с жесткой заделкой левого конца. В данной работе принята точность 10^{-2} . Циклы будут повторяться пока разница между внешними и внутренними усилиями больше принятого значения.

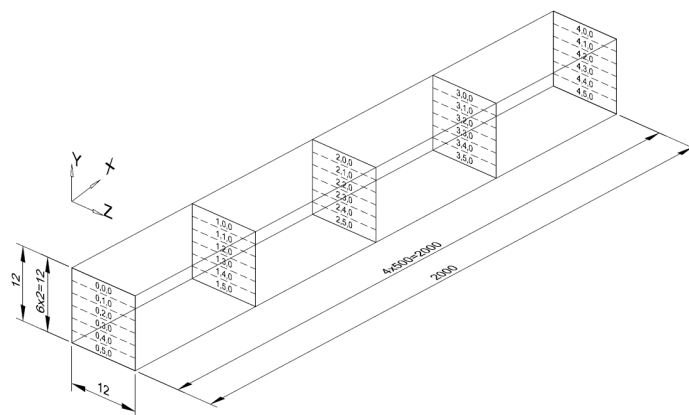


Рис. 1. Расчетная схема

Пример 1: стержень был рассчитан как центрально-сжатый. Приложенные усилия – продольная сила, равная 500 Н. Предполагается, что стержень будет работать в зоне линейных деформаций. По длине стержень был разбит на 4 сегмента, каждое сечение разбито на 6 сегментов по высоте см. рисунок 1.

Пример 2: стержень был рассчитан как изгибаемый. Приложенные усилия – точечная сила, равная 10 Н, приложенная поперек стержня к свободному концу стержня. По длине стержень была разбита на 50 сегментов, каждое сечение разбито на 120 сегментов по высоте. Нумерация сегментов аналогична первому расчету – см. рис. 1. Предполагается, что стержень будет работать в зоне линейных деформаций. Расчет также производился как проверочный.

Расчет 1 и расчет 2 были произведены для верификации метода и сверки значений перемещений и усилий со значениями, полученными методами сопротивления материалов.

Пример 3: приложенные усилия – стержень был рассчитан как сжато-изгибаемый. Продольная сила, равная 200 Н (сжатый стержень); поперечная сила, равная 10 Н. По длине стержень была разбита на 4 сегмента, каждое сечение разбито на 6 сегмента по высоте – см. рис. 1. Предполагается, что стержень будет работать в зоне пластических деформаций. Приведенный пример является реализацией алгоритма расчета сжато-изгибаемого стержня согласно [1].

Результаты. На рисунках 2-3 представлены результаты для примера 1, а именно графики зависимости напряжений и относительных деформаций, а также графики перемещений по длине стержня в точке 4,0,0 – см. рис. 1, точка находится у свободного конца стержня.

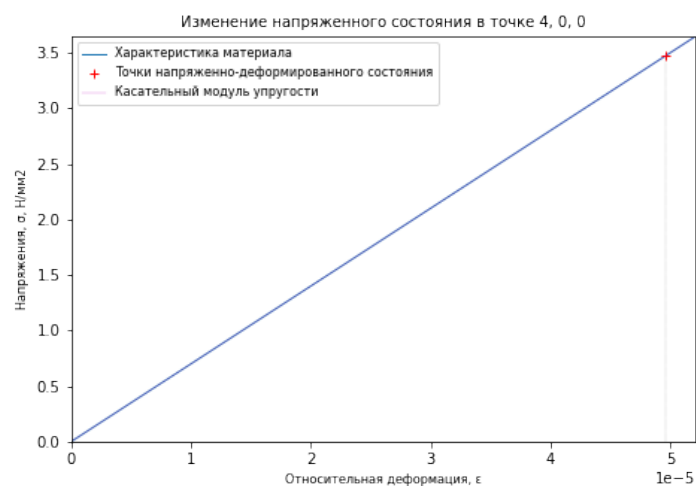


Рис. 2. Расчет 1. Изменение напряженного состояния в точке 4, 0, 0 при увеличении нагрузки

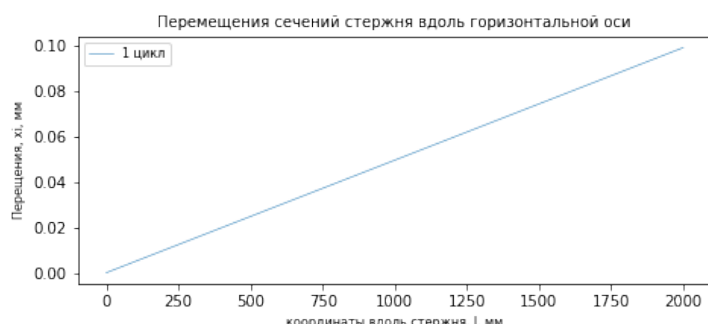


Рис. 3. Расчет 1. Перемещения сечений стержня вдоль оси x по длине стержня

Полученные результаты соответствуют значениям при расчете по формулам сопротивления материалов [9-10]:

- при условиях первого расчета $\delta = PL/FE$, $\delta = P/F$ где δ – перемещение вдоль оси x , δ – внутреннее напряжение, P – внешнее усилие, L – длина стержня, F – площадь сечения, E – модуль Юнга. При $P=500$ Н, максимальное перемещение узлов стержня $\delta=0,099$ мм, распределение напряжений по высоте сечения равномерное, равное $3,47$ Н/мм², что соответствует результатам представленного расчета (см. рис. 2, рис. 3).

На рисунках 4, 5, 6 приведены результаты, полученные для примера 2, а именно графики зависимости напряжений и относительных деформаций в точке 0,0,0 (точка находится в заделке), график вертикальных перемещений по длине стержня, а также график распределения напряжений по высоте сечения. Сечение находится в заделке.

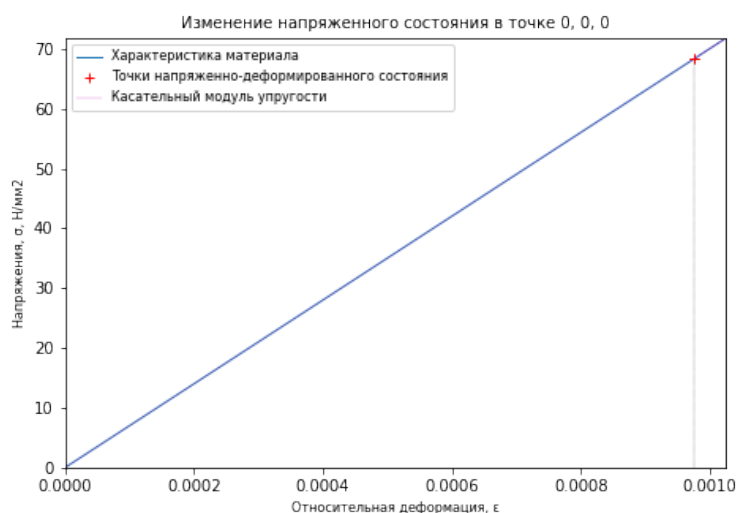


Рис. 4. Расчет 2. Изменение напряженного состояния в точке 0, 0, 0

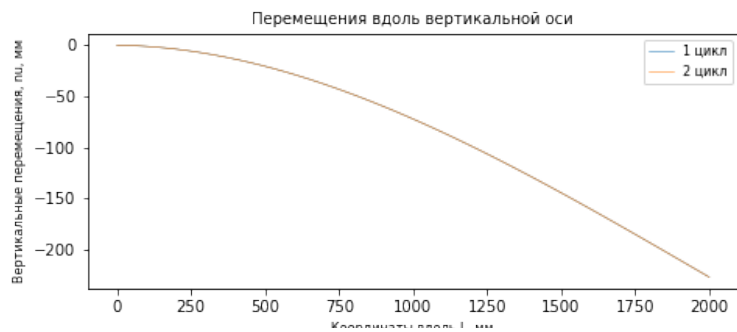


Рис. 5. Расчет 2. Перемещения сечений стержня вдоль оси y

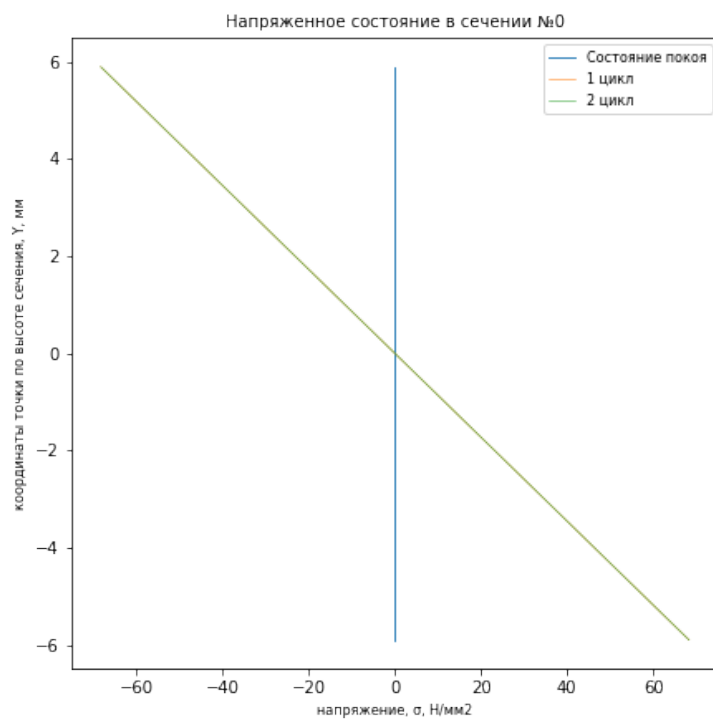


Рис. 6. Расчет 2. Напряженное состояние в сечении 0

- при условиях второго расчета $\nu = (L^3/2 - PL^3/6)EI$, $\delta = M \cdot y/I$, где ν – перемещение вдоль оси y , I – момент инерции сечения, y – координата точки относительно центра тяжести. При $P=10$ Н, максимальное перемещение узлов стержня $\nu=220,45$ мм, распределение напряжений по высоте сечения неравномерно, максимальное напряжение в сечении равно $69,44$ Н/мм². По представленному расчету $\nu=223,31$ мм, $\delta=68,31$ Н/мм² (см. рис. 5, рис. 6). Относительная погрешность определения перемещений – 1,16%, перемещений – 1,6%.

На рисунках 7–9 представлены результаты расчета для примера 3. Полученные графики хорошо иллюстрируют нелинейность работы элемента под увеличивающейся нагрузкой по деформированной схеме.

Третий расчет был выполнен при относительно больших внешних усилиях. Зависимость напряжений от относительных деформаций не линейна (см. рис. 7). При расчете было пройдено несколько циклов. Полученные перемещения при прохождении каждого цикла см. рис. 8. Так как действует сжимающая сила и момент, распределение напряжений по высоте неравномерно при каждом цикле (см. рис. 9). Напряженное состояние стержня стремиться к равновесию: разница между внешним и внутренним усилиями уменьшается нелинейно при проходе циклов (см. табл. 1). Это обусловлено нелинейным изменением модуля Юнга. В представленном расчете модель Юнга взят, как производная зависимости напряжений от относительных перемещений. Касательные к графику зависимости напряжений от относительных перемещений см. рис. 7.

На рисунке 7 дан график зависимости напряжений от деформаций при возрастании нагрузки, наглядно показан участок линейной работы в начале численного эксперимента, дальнейшая нелинейная работа в пластической стадии с учетом характеристик материала.

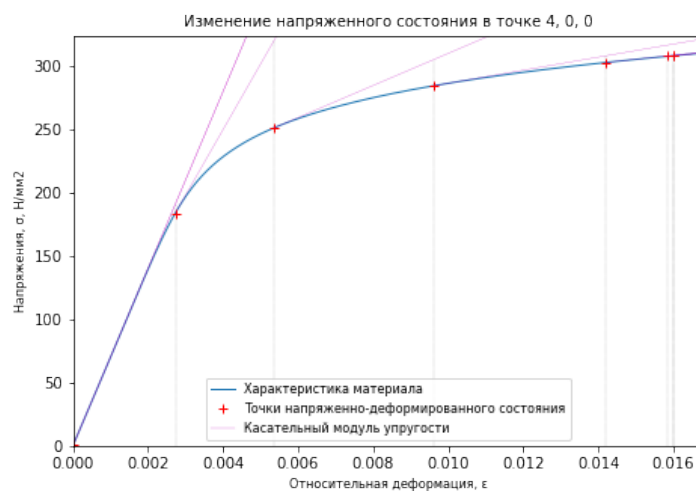


Рис. 7. Расчет 3. Изменение напряженного состояния в точке 4, 0, 0

На рис. 8 показаны несколько конфигураций деформированного под действием нагрузки стержня при увеличении количества циклов расчета.

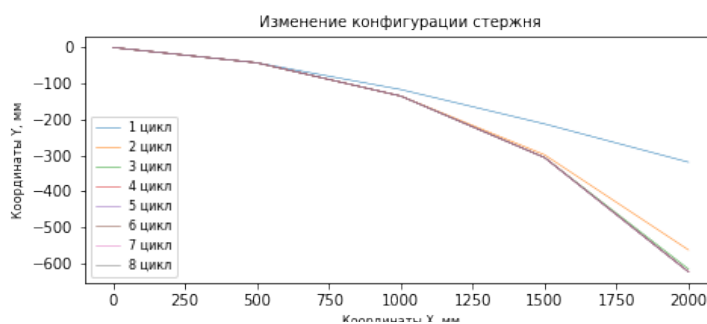


Рис. 8. Расчет 3. Изменение конфигурации стержня

Рисунок 9 показывает графики напряжений в сечении при увеличении количества циклов расчета. Хорошо видны участки, на которых происходит течение металла.

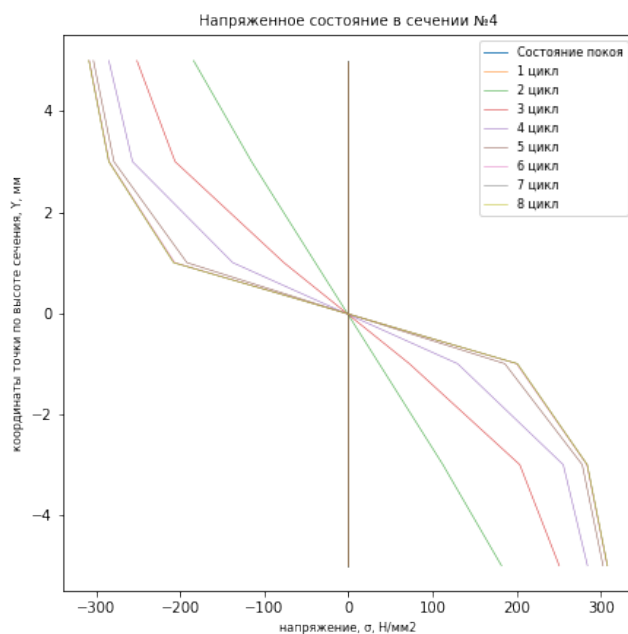


Рис. 9. Расчет 3. Напряженное состояние в сечении № 4

В таблице 1 приводятся данные для восьми циклов расчета, показывающие изменение внешних и внутренних усилий.

Таблица 1

Расчет 3. Изменения разности внешних и внутренних усилий, моментов в сечении № 4

| | P1-P inner | M1-M inner |
|---------------|-------------------|-------------------|
| Начало | 500 | 0.00E+00 |
| 2 цикл | 2.84e-14 | 6.37e+04 |
| 3 цикл | 1.71e+01 | 5.04t+04 |
| 4 цикл | 2.35e+01 | 2.98e+04 |
| 5 цикл | -2.82e+01 | 1.31e+04 |
| 6 цикл | 2.75e+01 | 2.86e+03 |
| 7 цикл | 9.47e+00 | 2.15e+02 |
| 8 цикл | 1.98e-01 | 1.43e+00 |

Обсуждения и выводы. В работе были произведены численные эксперименты по расчету алюминиевого стержня, первые два расчета – верификационные для проверки алгоритма, в них стержень работает в упругой стадии. Результаты расчетов демонстрируют близкое совпадение с результатами, полученными по формулам сопромата. Было проанализировано напряженно-деформированное состояние стержня, работающего в первом примере – на сжатие, во втором примере – на изгиб. Разработанный и реализованный алгоритм пригоден для расчета сжатых, изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов.

Третий пример содержит расчет сжато-изгибаемого стержня на большую нагрузку, вызывающую нелинейную работу материала, по деформированной схеме. При прохождении циклов расчета можно наблюдать постепенное увеличение зон металла, работающего в стадии текучести, что соответствует теоретическим представлениям о работе такого элемента.

Список литературы

1. *Иванов С.П., Ахметшин М.Н.* Решение физически нелинейной задачи теории упругости и ее приложение к расчету балок, контактирующих со средой. Москва «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений», 2012 г., № 2.
2. *Мищенко А.В.* Нелинейное термоупругое деформирование многофазных стержней. Москва «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений», 2014 г., № 4.
3. *Davidson J.S.* «Study of the stability of the structure of curved steel bridges». «Analysis and Design of Galvanic Structures (Second Edition)». 2022 г.
4. *Немировский Ю.В., Болтаев А.И.* «Некоторые особенности деформирования нелинейного разнсопротивляющегося материала однопролётных балок». Томск «Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета», 2016 г.
5. *Воронцов Г.В.* «Расчет геометрически и физически нелинейно деформируемых тонкостенных стержней на прочность, устойчивость и колебания». Москва. «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки». 2017 г.
6. *Горев В.В., Филипов В.В., Тезиков Н.Ю.* Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций. Москва «Высшая школа», 2002 г.

7. Федотова И.А. «Математическая модель работы нелинейного стержневого элемента конструкции». «Известия Петербургского университета путей сообщения». Санкт-Петербург. 2004 г.

8. Дмитриев В.Г., Егорова О.В., Рабинский Л.Н., Роффе А.И. «Особенности конечно-разностной аппроксимации граничных условий сопряжения элементов составных конструкций при численном решении нелинейных начально-краевых задач». «Труды МАИ». Выпуск № 82, 2002 г.

9. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. – Москва. «Изд-во МГУ». 1990 г.

10. Дарков А.В., Шниро Г.С. «Сопротивление материалов». Москва «Высшая школа», 1989 г.

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ROD, TAKING INTO ACCOUNT THE PHYSICAL AND GEOMETRICAL NONLINEARITY

*Karsanova V.R., student
Department of Civil Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. Objective: to investigate the stress-strain state of the rod under various loads, taking into account physical and geometric nonlinearity, to develop an algorithm and its implementation in the Python programming language for such a calculation. Methods: numerical method for solving a system of equations – finite difference method, Python programming Results: numerical experiments have been performed simulating the work under load of a metal rod, values of stresses and displacements of rod nodes have been obtained, stress distribution graphs along the cross section of the rod during the passage of calculation cycles have been constructed, graphs of node movements along the length of the rod during the passage of calculation cycles have been constructed, graphs reflecting the nature of the material (linear/nonlinear in several examples given). Conclusions: an algorithm and its implementation for the nonlinear calculation of compressed-bendable elements have been developed, numerical experiments have been carried out, test examples are given, the results are clear and agree well with the theory.

Keywords: physical nonlinearity, geometrical nonlinearity, deformed scheme, Python, stress-strain state, finite difference method.

COMPUTATIONAL EXPERIMENT ON HELICOIDS STRESS-STRAIN STATE

Saha Soumyadeep, Student

Abdun Noor Al Amin, Student

*Department of Civil Engineering, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. In recent years, researchers have turned their attention to the stress-strain behaviour of helicoids. The stress and strain behaviour of helicoids is an active area of research that has implications for a wide range of fields, including material science, engineering, and biology. In this paper, there are computational experiment, stress-strain analysis is conducted on two types of helicoids, namely Right and Pseudo developable helicoids. The finite element method is utilized to simulate the behaviour of these helicoids under different boundary conditions. The results show that both types of helicoids exhibit non-linear deformation and stress distribution, with the Pseudo developable helicoids exhibiting greater deformations and stress concentrations. The study provides insights into the mechanical behaviour of these types of helicoids and can aid in the design and optimization of helicoid-based structures for various applications in practical engineering tasks and for further research.

Keywords: Right helicoid · Pseudo developable helicoid · Computational analysis · Stress-Strain · Modal analysis

Introduction

Helicoid is a lofted/ruled surface which is formed by straight lines that revolves at a constant angular speed around and at a constant angle with a fixed axis, at the same time vertically moves along the same axis at a constant rate. Basically, helicoid is any solid or surface shape like screw thread. The helicoid has a wide variety of shapes, depending on the pitch, the proximity of the lines and the points, and whether the pairs of points connected. Generally, there are five types of ruled helicoids [1]: Right; Oblique; Developable; Pseudo-developable; Convolute. Right (closed-right) and Pseudo developable (open-right) helicoids are considered as a special type of Oblique and Convolute helicoids respectively.

According to the Encyclopaedia of Analytical Surfaces [1] a right helicoid is a ruled surface described by straight line that intersect the axis of helicoid at a right angle, rotates at a constant angular velocity around the axis and simultaneously moves at transitionally at a constant speed along the same axis. the velocities of this movements are proportional.

Parametric equation of right helicoid is

$$\begin{aligned}x(r, v) &= r \times \cos v \\y(r, v) &= r \times \sin v \\z(r, v) &= c \times v\end{aligned}$$

where r, v are coordinate lines; c is the displacement of a generatrix straight line after its rotation at one radian.

Accordingly same encyclopaedia of Analytical Surfaces [1] the pseudo developable helicoid is formed by projection of constant step tangent to the helix on a plane perpendicular to the axis of helix. The surface is a perpendicular case of convolute helicoid.

Parametric equation of pseudo developable helicoid is

$$\begin{aligned}x(r, v) &= a \times \cos(v) - r \times \sin(v) \\y(r, v) &= a \times \sin(v) + r \times \cos(v) \\z(r, v) &= c \times v\end{aligned}$$

where a is the shortest distance in a straight line from an axis Oz ; where r, v are coordinate lines; c is the displacement of a generatrix straight line after its rotation at one radian.

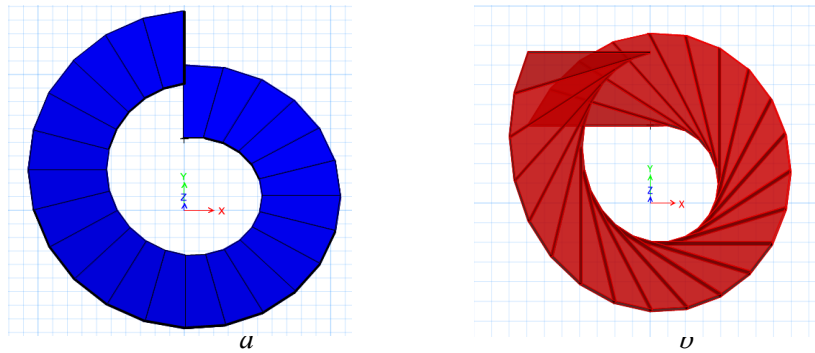


Fig 1. Perspective view of right (a) & pseudo developable (b) helicoids

Table 1

General differentiation of right and pseudo developable helicoids

| Type of helicoids | Geometrical characteristics | | Differences in forming process | Practical characteristics | Speciality |
|--------------------|-----------------------------|------------------|---|---|---|
| | Gaussian curvature | Middle curvature | | | |
| Right | $K < 0$ | $H = 0$ | The generatrix intersects the axis of the helicoid at 90° | Most general type Structure Can be built without inner hole | The only ruled minimal surface; particular case of Oblique helicoid |
| Pseudo developable | $K < 0$ | $H \neq 0$ | The generatrix never intersects the axis of the helicoids (the generatrix is tangent to the interior cylinder) but it can be flattened on a plane | Generatrix lies on xy plane and perpendicular to Z-axis Not available without inner hole | particular case of Convolute helicoid |

There have been found several papers about numeric and analytic-numeric approach of stress-strain state of the oblique helicoids [2], the right [3-5], developable [6-11], convolute [12] and pseudo-developable [7], as well as for automatic modelling of such shells [13], but computational experiment on helicoid under different boundary conditions are few. The purpose of this paper is to analyze the stress and strain response of two most different types of helicoids (right and pseudo developable) and to show which type is more effective for the practical tasks.

Method and materials

Both Right (Fig 1.a) and Pseudo developable (Fig 1.b) structures are parameterized in accordance with IBC (International building code)

for civil engineering. The geometric property of ramp and physical property of materials are shown in table 2 & 3 respectively. The design and analysis has been done with the help of CSI ETABS 20 based on finite element analysis.

The structures have been divided into four stories (three meter each) to identify displacement accurately.

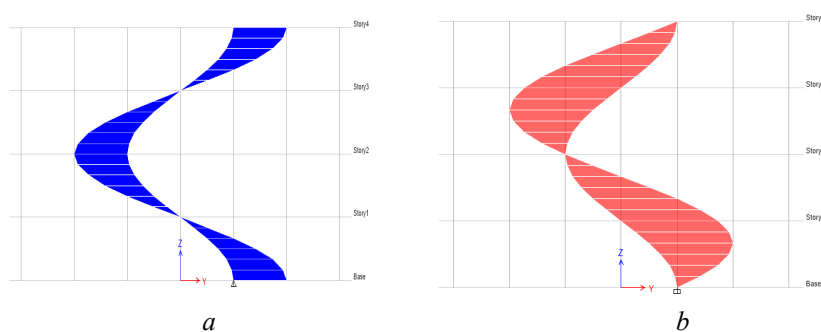


Fig 2. Elevation of right (a) and pseudo developable (b) helioid

Stress-strain, stability, max story displacement, maximum bending moments along with deflection of both the structures have been analysed under different boundary conditions.

First boundary condition: clamped linear edges at the end and outer (exterior) helical curves; free inner (interior) helical curve.

Second boundary condition: clamped linear edges at the end and inner (interior) helical curves; free outer (exterior) helical curve.

Types of simulations were performed:

1. Structural analysis
2. Non-linear dynamic analysis (seismic load)
3. Modal analysis

Types of structural checking were considered:

1. Gravity load check
2. Lateral load check
3. Stability check
4. Deflection check
5. Maximum stress-strain check
6. Maximum bending moment check

Table 2

Geometric characteristic of models

| Parameters | Values | Unit |
|----------------------|--------|------|
| Interior radius | 4 | m |
| Exterior radius | 8 | m |
| Hitch height | 3 | m |
| Depth of the section | 0.2 | m |
| Inclination angle | 6.67 | 0 |

Table 3

Physical characteristic of materials

| | | |
|-----------------------------------|-----------|-------------------|
| Concrete grade M25 | | |
| Parameters | Values | Unit |
| Unit weight/volume | 24.9926 | KN/m ³ |
| Modulus of elasticity (E) | 25000 | MPa |
| Poisson's ration | 0.2 | - |
| Co-efficient of thermal expansion | 0.000013 | /C |
| Shear modulus | 10416.67 | MPa |
| Reinforcement grade HYSD500 | | |
| Parameters | Values | Unit |
| Unit weight/volume | 76.9729 | KN/m ³ |
| Modulus of elasticity (E) | 200000 | MPa |
| Co-efficient of thermal expansion | 0.0000117 | /C |
| Min yield strength | 500 | MPa |
| Max yield strength | 545 | MPa |

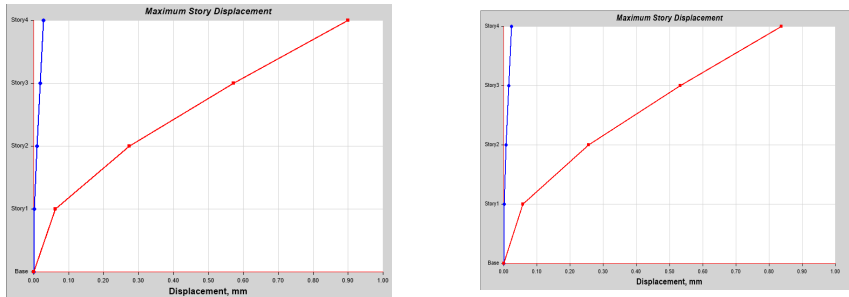
* In purpose of design and analysis Indian standard code IS:456(2000) for concrete structure , IS:875 part II(1987) for design load & IS:1893 (Part I), 2002 for seismic (zone V) has been considered. Super imposed load and live load are considered as 1.5 KN/m² & 3KN/m² respectively. Slab thickness 200 mm, comprises of M25 grade concrete and HYSD500 steel bar.

Results:

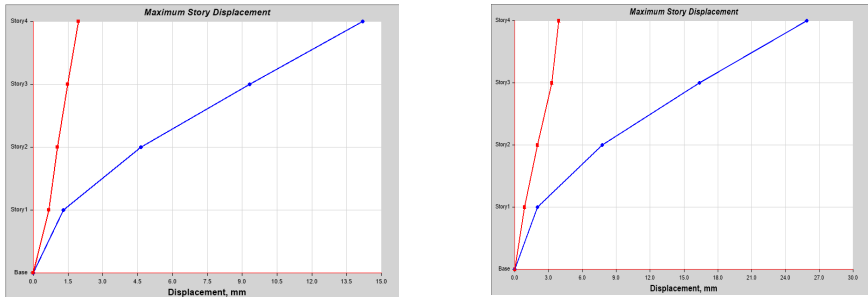
Here first and second tests were conducted on both types of helicoids based on first (clamped exterior) and second (clamped interior) boundary conditions respectively.

3.1. Test results based on first boundary condition:

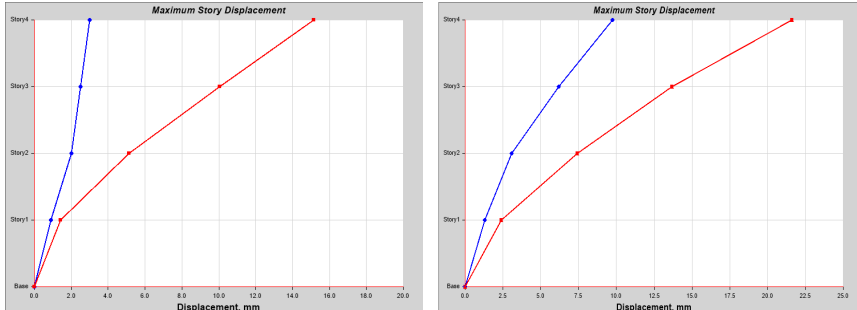
Blue line represents displacements in global X and red line represents displacement in global Y direction in the below graphs.



Right Pseudo developable
Fig 3. Modal displacement



Right Pseudo developable
Fig 4. Seismic displacement (X-dir)



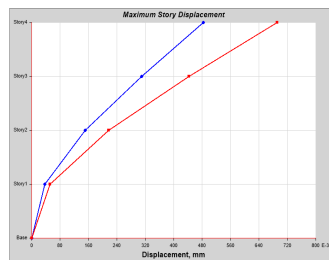
Right Pseudo developable
Fig 5. Seismic displacement (Y-dir)

Table 4

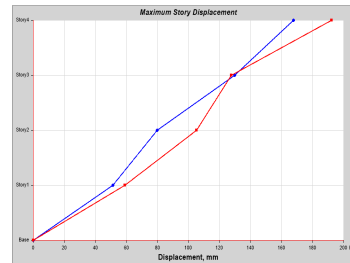
Numerical difference between two helicoids under first condition

| Category | Parameter | | Unit | Right | Pseudo |
|--------------------|----------------|-----|------|---------|---------|
| Nodal displacement | U _x | Max | mm | 27.926 | 62.513 |
| | | Min | mm | -14.859 | -38.903 |
| | U _y | Max | mm | 22.068 | 42.322 |
| | | Min | mm | -23.847 | -32.996 |
| | U _z | Max | mm | 2.01 | 0.868 |
| | | Min | mm | -77.724 | -102.93 |
| Shell stress | Top | Max | Mpa | 30.89 | 16.04 |
| | | Min | Mpa | -21.74 | -17.27 |
| | Bot tom | Max | Mpa | 18.01 | 21.95 |
| | | Min | Mpa | -25.10 | -18.91 |
| Moments | M _x | Max | KNm | 67.097 | 105.82 |
| | | Min | KNm | -119.60 | -40.83 |
| | M _y | Max | KNm | 87.69 | 40.46 |
| | | Min | KNm | -158.31 | -69.017 |
| | M _z | Max | KNm | 138.32 | 21.161 |
| | | Min | KNm | -25.018 | -46.872 |
| Support reaction | F _z | Max | KN | 514.31 | 277.57 |

3.2. Test results based on second boundary condition

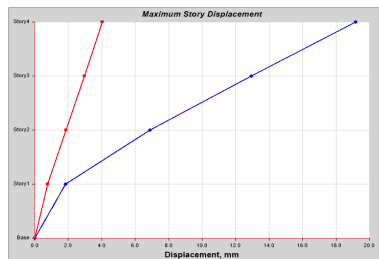


Right

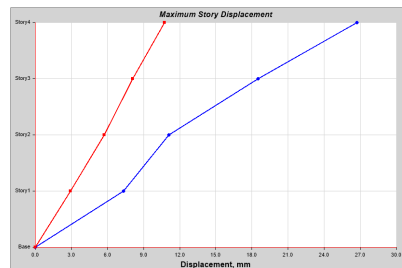


Pseudo developable

Fig 6. Modal displacement

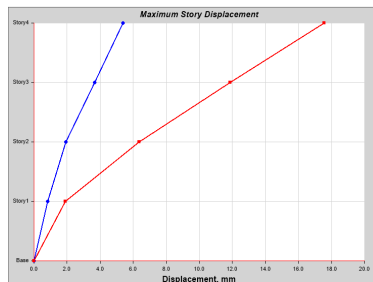


Right

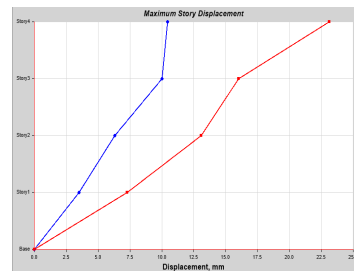


Pseudo developable

Fig 7. Seismic displacement (X-dir)



Right



Pseudo developable

Fig 8. Seismic displacement (Y-dir)

Table 5

Numerical difference between two helicoids under second condition

| Category | Parameter | | Unit | Right | Pseudo |
|--------------------|-----------|-----|------|----------|---------|
| Nodal displacement | Ux | max | mm | 74.675 | 51.969 |
| | | min | mm | -41.519 | -63.549 |
| | Uy | max | mm | 40.114 | 27.463 |
| | | min | mm | -70.52 | -81.964 |
| | Uz | max | mm | 7.193 | 4.014 |
| | | min | mm | -107.938 | -22.89 |
| Shell stress | Top | max | Mpa | 38.62 | 10.19 |
| | | min | Mpa | -14.44 | -14.42 |
| | Bottom | max | Mpa | 15.47 | 15.91 |
| | | min | Mpa | -40.53 | -16.9 |
| Moments | Mx | max | KNm | 116.638 | 80.894 |
| | | min | KNm | -161.532 | -21.58 |
| | My | max | KNm | 47.473 | 139.79 |
| | | min | KNm | -168.066 | -58.86 |
| | Mz | max | KNm | 130.1345 | 75.994 |
| | | min | KNm | -54.143 | -81.765 |
| Support reaction | Fz | Max | KN | 405.72 | 193.959 |

Based on the result data of displacement, stress-strain and support reactions we come to a certain conclusion.

Conclusion

1. From the graph it is shown that modal displacements of top are slightly larger when the helicoids are clamped externally but it is opposite while seismic displacement, means the divergence percentage of displacement is slightly lesser when it is clamped internally.
2. Although similar preference goes for nodal displacement Ux and Uy also, divergence is lesser for test II (clamped internally) but on contrary Uz is much lesser for test I (clamped internally).
3. In terms of shell stress, Pseudo developable is preferable than right helicoid as test I shows better result and less divergence value.
4. Divergence value of support reactions are almost similar for both the cases but it is show that vertical reactions are lesser for Pseudo developable helicoid.

It is recommended to take care of special attention at top (at beginning) to prevent from deflection. Expertise can provide extra

torsion reinforcement as it is most deflection prone zone. To provide more stability and resistance designer may provide lateral support at top. Special attention needs to be paid according to stress strain of each case depending upon environmental condition and engineers approval to make a structure optimise.

References

1. *Krivoshapko S.N., Rynkovskaya M.* (2017) Five types of ruled helical surfaces for helical conveyers, support anchors and screws. MATEC WebConf 95, 06002. <http://doi.org/10.1051/mateconf/20179506002>.
2. *Tupikova E.* (2017) Stress-strain analysis of the shells of the long oblique helicoid form. Journal of Fundamental and Applied Sciences 9: 7S. <https://www.ajol.info/index.php/jfas/article/view/168607>.
3. *Rynkovskaya M., Ivanov V.* (2019) Analytical method to analyze right helicoid stress-strain. In: Öchsner A, Altenbach H (eds) Engineering design applications. Adv Struct Mater 92:157–171. Springer.
4. *Rynkovskaya M.I.* (2015) On problem of strength analysis of thin linear helicoidal shells. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings 6: 13-15.
5. *Rynkovskaya M.I.* (2009) Calculation and application of helicoidal shells. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering research 3: 113-116.
6. *Krivoshapko S.N.* (2009) Geometry of linear surfaces with the return rib and linear theory for torso-helicoid calculation. RUDN, 357 p.
7. *Rynkovskaya M.* (2017) Analysis of displacements in beam structures and shells with middle developable surfaces. MATEC Web of Conferences: 16001.
8. *Rynkovskaya M.* (2018) Plastic deformations occurring in shells with developable middle surfaces during bending. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 3: 012054.
9. *Rynkovskaya M.I.* (2014) Application of Runge-Kutte method and running tri-diagonal matrix for open helicoidal shell calculation. Struct Mech Eng Constr Build 3: 77–80.
10. *Rynkovskaya M.I.* (2015) The influence of the value of the Poisson ratio on the accuracy of the results of calculation of stress-strain of a torso-helicoid. Construction and reconstruction 4 (60): 51-56.

11. *Rynkovskaya M.I.* (2013) Bending and problems of calculation of thin elastic shells in the form of direct and developing helicoids for a distributed load and download of one of the curvilinear supports. Dissertation for candidate of technical sciences: 05.23.17, Moscow 2013.

12. *Rynkovskaya M., Markovich A.S., Gil-Oulbe M., Strashnov S.* (2020) Numerical Experiments on Helicoids Stress-Strain State. Engineering Design Applications II, Springer, p 95.

13. *Romanova V.A., Rynkovskaya M., Ivanov V.* (2019) Automatic modeling of surfaces with identical slopes. Advanced Structured Materials 92: 143-156. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-79005-3_10.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМУ СОСТОЯНИЮ ГЕЛИКОИДОВ

Саха Сумядин, студент,

Абдун Нур Аль Амин, студент,

Департамент строительства, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. В последние годы исследователи обратили свое внимание на поведение геликоидов при напряжении-деформации. Поведение геликоидов при напряжении и деформации является активной областью исследований, которая имеет значение для широкого спектра областей, включая материаловедение, инженерию и биологию. В данной работе проводится вычислительный эксперимент, анализ напряженно-деформированного состояния проводится на двух типах геликоидов, а именно на правильных и псевдораскрывающихся геликоидах. Метод конечных элементов используется для моделирования поведения этих геликоидов при различных граничных условиях. Результаты показывают, что оба типа геликоидов демонстрируют нелинейную деформацию и распределение напряжений, при этом псевдораскрывающиеся геликоиды демонстрируют большие деформации и концентрации напряжений. Исследование дает представление о механическом поведении этих типов геликоидов и может помочь в проектировании и оптимизации

конструкций на основе геликоидов для различных применений в практических инженерных задачах и для дальнейших исследований.

Ключевые слова: Правильный геликоид • Псевдораскрывающийся геликоид • Вычислительный анализ • Напряжение-деформация • Модальный анализ

Секция 6

**ГЕОЛОГИЯ,
ГОРНОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО**

ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ТРЕПЕЛЫ ХОТЫНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ОРЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ): ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Рассказов А.А., профессор, доктор г.-м. н.

Карелина Н.Д. , аспирант*

Дейнеко А.Ф., аспирант

Носаева О.В.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**1142220044@pfur.ru*

Аннотация. Статья посвящена изучению геологического строения цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения, генезису и оценке фильтрационных и прочностных параметров, при обжиге их в различных температурных интервалах, с целью улучшения сорбционных показателей. Оценка стабильности цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения и влияния термической обработки на сорбционную активность глинистых минералов выполнялись при помощи методики определения емкости катионного обмена (ЕКО) по методу адсорбции метиленового голубого в лаборатории рудных месторождений ИГЕМ РАН.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что оптимальной температурой, при которой гранулы будут сохранять свою форму, высокие сорбционные показатели, а также не разрушаются в водной среде, является температура 550 °С.

Ключевые слова: Хотынецкое месторождение, цеолитсодержащие породы, трепелы, сорбционные свойства, природный сорбент

Введение

Цеолит является ценным нерудным сырьем и используется во многих отраслях промышленности, таких как нефтехимия, агропромышленность и строительство, для предотвращения и восстановления окружающей среды от загрязнений [1, 2, 3] и других.

Хотынецкое месторождение трепелов расположено на западе Орловской области, в 72 км к северо-западу от города Орел. Месторождение состоит из трех участков, настоящая работа про-

водилась по участку Образцовский. Отличительной чертой данного месторождения является то, что полезным компонентом считается сумма минералов группы цеолита, смектита и опал-кристобалита. Их суммарное содержание достигает 90%.

Цеолитсодержащие трепелы данного месторождения имеют осадочный генезис. Их формирование происходило за счет диагенетического преобразования терригенно-кремнистых осадков в верхнем мелу. В тектоническом плане месторождение приурочено к центральной части Русской платформы.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили природные образцы цеолитсодержащих трепелов Образцовского участка, отобранные на месторождении.

В лаборатории ИГЕМ РАН проводилась оценка стабильности представленных образцов при различных температурах с помощью методики определения емкости катионного обмена (ЕКО).

Геологическое строение района месторождения и его генезис анализировались, в том числе, с использованием картографических материалов [4].

Основные результаты исследований

В тектоническом плане месторождение приурочено к центральной части Русской платформы, в строении которой принимают участие породы двух структурных этажей – на дислоцированных докембрийских отложениях Воронежского кристаллического массива несогласно залегают породы осадочного комплекса палеозойского и мезозойского возраста. В строении района месторождения основную роль играют породы, представленные терригенными породами девонской, юрской и меловой систем, повсеместно развиты четвертичные отложения. Палеозойские породы погружаются на север и падают моноклиinally со средним уклоном 1 м на 1 км, на них несогласно залегают мезозойские отложения, характеризующиеся спокойным залеганием с крайне малыми углами наклона [4].

Трепелы Хотынецкого месторождения относятся к верхнему отделу меловой системы (рис. 1), имеют субгоризонтальное залегание и имеют широкое распространение по всей площади Орловской области. Представляют собой пластообразную залежь, мощностью

около 20 м. Нижняя граница залежи имеет ровную поверхность и согласное залегание с подстилающими породами.

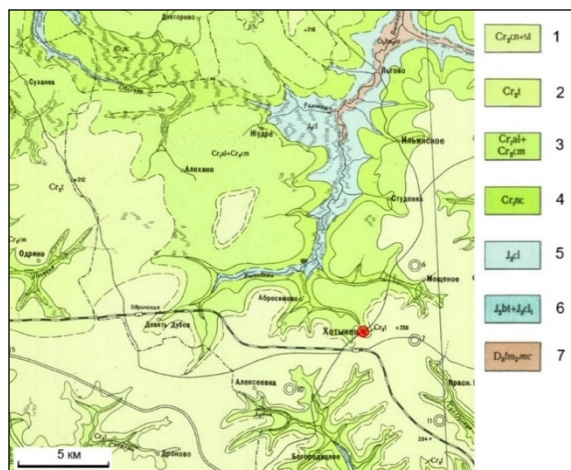


Рис. 1. Геологическое строение района осадочного чехла Хотынецкого месторождения [4]

Условные обозначения: 1–4 меловая система: 1 – коньякский и сантонский ярусы. Трепелы и опоки; 2 – туронский ярус. Белый писчий мел; 3 – альбский и сеноманский ярусы. Кварцевые пески; 4 – валанжинский, готеривский и барремский ярусы. Песчано-глинистые отложения с конкрециями сидерита; 5–6 юрская система: 5 – келловейский ярус. Глины с конкрециями сидерита; 6 – батский ярус. Пески с прослоями глин; 7 – девонская система, фаменский ярус. Известняки, доломиты, мергели.
Красным маркером указан центр месторождения

Генезис. Согласно современным представлениям [5], цеолиты Хотынецкого месторождения образовались осадочным образом, путем накопления в морских терригенных и карбонатных отложениях, где они присутствуют среди различных (преимущественно глинистых) фаций осадков. Рядом авторов доказывается диагенетическая природа таких цеолитов [6]. Обязательные условия для их накопления - щелочная среда с наличием катионов K^+ и Na^+ в захороненных осадках морской воды; присутствие в среде высокореакционного биогенного аморфного кремнезёма (кремнистые губки

и диатомитовые водоросли); насыщенность глинистых частиц алюмосиликатными гелями (Al^{3+}).

Гидрогеодинамическая обстановка, благоприятная для формирования цеолитсодержащих пород этого типа – спокойные морские платформенные бассейны и континентальные озера в условиях гумидного или полуаридного климата, в которые речными потоками с суши интенсивно поступает биогенный материал. Основным источником цеолитсодержащего вещества – алюмосиликатные породы и их коры выветривания [6].

Оценка стабильности цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения. Основное полезное свойство цеолитсодержащих пород, определяющее их широкое применение в промышленности – высокие сорбционные свойства, благодаря которым они используются в качестве эффективного природного сорбента (например, в очистке питьевых и сточных вод от тяжелых металлов [7], в сорбционной очистке катионных органических соединений). Основные минералы, обладающие этими свойствами – цеолит и монтмориллонит. Они способны легко набухать в воде, кроме того, обладают высокой катионообменной емкостью, что позволяет рассматривать их как эффективный природный сорбент. Стабильность так же относится к наиболее важным показателям для применения их в промышленности.

Одной из наиболее важных областей применения данных пород могло бы стать их использование в качестве перспективного материала для создания проницаемых сорбционных барьеров крупных промышленных предприятий или для подземных захоронений.

Основной проблемой цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения является то, что его гранулы разрушаются в водной среде, а фильтры заиливаются, что приводит к прекращению фильтрации раствора. Для предотвращения разрушений и стабилизации их прочности, проводился обжиг природных гранул.

Ниже приводятся результаты исследований по оценке стабильности цеолитсодержащих трепелов Орловского участка. Работы проводились по методикам, рекомендованным российским стандартом ГОСТ 21283-93.

Цель работ – оценить влияние термической обработки изменения сорбционной активности и прочностных свойств обожженного трепела (в частности, минералов группы смектита и цеолита)

и выявление оптимальной температуры для сохранения его положительных свойств.

С этой целью были анализированы гранулы размером 1–3 мм, полученные методом обжига образцов природных цеолитсодержащих пород, отобранные на Образцовском участке Хотынецкого месторождения. Обжиг проводился в течение 2 часов при температурах 450°, 550°, 750° и 900°С.

Оценка влияния термической обработки на сорбционную активность цеолитсодержащих трепелов. Как показали ранее выполненные минералогические исследования, основными минералами, входящими в состав трепелов Хотынецкого месторождения и обладающими высокой способностью к катионному обмену, являются цеолит (клиноптилолит) и монтмориллонит. Для каждого из этих минералов были применены различные методы определения емкости катионного обмена (ЕКО) – для монтмориллонит-содержащих образцов по методу адсорбции метиленового голубого (МГ), а для цеолитовых – методом сорбции хлорида аммония.

Метод МГ (рис. 2) основан на определении количества метиленового голубого, адсорбировавшегося на 1 г глины: молекулы метиленового голубого имеют большой размер, а в реакции катионного обмена могут принимать участие лишь молекулы, размеры которых не превышают размер каналов в структуре цеолитовых минералов.

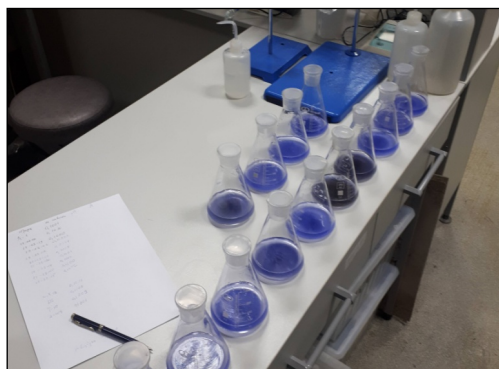


Рис. 2. Эксперименты по определению емкости катионного обмена монтмориллонита методом метиленового голубого (интенсивность цвета связана с сорбционными свойствами)

Из таблицы 1 видно, что природные образцы цеолитсодержащих пород обладают наиболее высокими значениями ЕКО - 19 мг*экв/100 гр. С повышением температуры обжига, в связи с дегидроксилизацией монтмориллонита, ЕКО монтмориллонита резко уменьшается, а при температуре 900⁰С монтмориллонит полностью теряет свою сорбционную способность (ЕКО=0).

Таблица 1

**Определение емкости катионного обмена по адсорбции
метиленового голубого**

| Температура обжига, Т ⁰ С | Навеска с учетом влажности, гр. | Объем красителя, мл | ЕКО, мг*экв/100гр |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| Исходный | 0,3003 | 6,5 | 19 |
| 450 | 0,6016 | 10 | 14 |
| 550 | 0,6005 | 7,5 | 10,5 |
| 750 | 0,6019 | 3,5 | 5 |
| 950 | 0,6017 | 0 | 0 |

Определение ЕКО для минералов группы цеолита и монтмориллонита возможно также методом сорбции хлорида аммония, в связи с этим нижеприведенные значения ЕКО были получены по сумме этих двух минералов. В таблице 2 представлены результаты измерений ЕКО цеолита без учета монтмориллонита. Очевидно, что при тех же параметрах термической обработки, цеолит ведет себя аналогично монтмориллониту – его способность к сорбции резко уменьшается с повышением температуры и при температуре 900⁰С ЕКО цеолита=0. Этот факт объясняется аморфизацией минералов при нагревании.

Таблица 2

**Определение емкости катионного обмена цеолита
по адсорбции хлорида аммония**

| Температура обжига, Т ⁰ С | ЕКО, мг*экв/100г |
|--------------------------------------|------------------|
| Исходный | 141 |
| 450 | 96 |
| 550 | 77 |
| 750 | 11 |
| 900 | 0 |

В результате проведенных работ можно сделать заключение, что исходные гранулы, которые не проходили термическую обработку, показывают лучшие результаты по сорбции, однако быстро разрушаются в водной среде (рис. 3). Оптимальной температурой, при которой гранулы будут сохранять свою форму и довольно высокие сорбционные показатели, является температура 550°C (рис. 3).

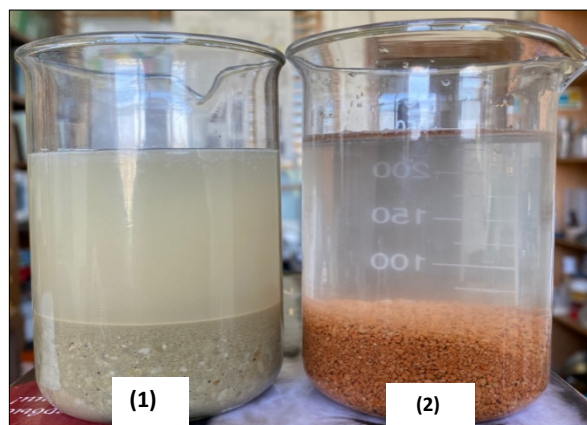


Рис. 3. Природные (1) и обожженные (2) гранулы цеолитсодержащего трепела в водной среде

Заключение

В рамках изучения цеолитсодержащих трепелов была проведена научно-исследовательская работа по оценке стабильности и сорбционных свойств Хотынецких трепелов. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. На базе изучения геологических особенностей строения и состава цеолитсодержащих трепелов показано, что они относятся к осадочному типу образования, причём их формирование произошло в стадии диагенеза при аналогичных фациальных условиях.

2. Исследование образцов цеолитсодержащих трепелов при помощи методики определения емкости катионного обмена (ЕКО) по методу адсорбции метиленового голубого индикаторов позволило выяснить, что оптимальная температура обжига цеолитовых гранул, при которой они сохраняют свои сорбционные свойства, а также не разрушаются в водной среде, соответствует $T\ 550^{\circ}\text{C}$.

3. Проведённые исследования имеют важное практическое значение, т.к. при дальнейшем использовании изучаемых трепелов в качестве барьеров-фильтров для сохранения их прочностных и сорбционных свойств необходимо предварительно подвергнуть их термической обработки при указанной температуре.

Список литературы

1. Kotova O., Harja M., Cretescu I., Noli F., Pelovski Y., Shushkov D. Zeolites in technologies of pollution prevention and remediation of aquatic systems // Vestnik IG Komi SC UB RAS, May, 2017, № 5. – С. 49-53. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-5-49-53.
2. Semenkov A., Belousov P., Rzhetskaia A., Izosimova Yu., Maslakov K., Tolpeshta I., Romanchuk A., Krupskaya V. U(VI) sorption onto natural sorbents // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2020. – V. 326(1). – P. 293-301. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07318-y>.
3. Рассказов А.А., Буянов М.И., Горбатов И.С., Васильева Е.Ю. К вопросу о возможности освоения перспективных цеолито-проявлений Монголии с учетом особенностей их формирования. Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М.: Издательство государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе, т. 4, с. 49-51. 2019. ISBN 978-5-6040812-0-4.
4. Бухтояров И.С., Гоффеншефер С.Я. Геологическая карта, Лист N-36-XXX, м-б 1:200 000. ВСЕГЕИ, 1957 г.
5. Петрова В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе. Изд-во ГЕОС, Москва, 2005 г., 240 стр., ISBN: 5-89118-372-9.
6. Савко А.Д., Свиридов В.А. Геохимия литогенеза // Материалы Российского совещания, 2014. – С. 206–209.
7. Чулков А.Н., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Особенности оценки ионообменных характеристик глин. // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2011. № 15 (110). Выпуск 16. – С. 88-94.

**ZEOLITE-CONTAINING TRIPOLI
OF KHOTINETSK DEPOSIT (OREL DIST.):
EVALUATION OF SORPTION INDICATORS**

A.A. Rasskasov¹, N.D. Karelina¹, P.E. Belousov², O.V. Nosayeva¹

¹RUDN University, Moscow, Russia

*²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography,
Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Abstract. The article focuses on the geological structure of zeolite-containing tripoli from the Khotynets deposit, as well as the genesis and evaluation of filtration and strength parameters when fired at various temperatures to improve sorption performance. The stability of zeolite-containing tripoli, as well as the effect of heat treatment on the sorption activity of clay minerals, were measured in the IGEM RAS laboratory using the method of methylene blue adsorption. According to the findings, the optimal temperature at which the granules retain their shape, have high sorption rates, and do not degrade in the aquatic environment is 550 °C.

Keywords: Khotynets deposit, zeolite-containing rocks, tripoli, sorption properties, natural sorbent

УДК 470.5

ИЗУЧЕНИЕ РУДНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ЭЙФЕЛЬСКОГО ВОЗРАСТА ВИШНЕВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Фролов И.С.¹, студент 2 курса магистратуры,

Звонарев А.Е.², к.г.-м.н., доцент

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

froloff.vania201@yandex.ru

Научный руководитель: к.н., доцент Карелина Елена Викторовна

Аннотация. Исследование рудных метасоматитов Вишневого медноколчеданного месторождения позволило выявить их структуру и состав, а также оценить их геологическое происхождение. Были применены различные методы анализа, включая оптическую и электронную микроскопию, рентгеновскую дифракцию и химический анализ. Результаты многих исследований указывают на наличие метасоматических процессов в месторождении, что может привести к значительному увеличению его экономической эффективности. Исследование рудных метасоматитов Вишневого медноколчеданного месторождения позволило определить их химический состав, структуру и текстуру, а также выявить процессы метасоматического превращения, происходящие в месторождении.

Ключевые слова: метасоматиты, медноколчеданные месторождения, оптическая микроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская дифракция, химический анализ

Введение

Медноколчеданные месторождения являются одними из самых крупных и важных месторождений меди в мире. Они расположены в различных странах, включая Россию, Чили, США, Канаду, Австралию, Перу, Мексику и другие.

Медь, добываемая из медноколчеданных месторождений, является одним из наиболее востребованных металлов в мире благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая электропроводность и термическая стабильность. Медь используется в про-

изготовлении различных изделий, включая провода и кабели, трубы, листовой металл, монеты, электронные компоненты и многие другие изделия.

Для добычи меди из медноколчеданных месторождений применяются различные технологии и методы, включая открытые и подземные горные работы, гидрометаллургические методы и другие. Однако, добыча меди также может иметь значительные негативные воздействия на окружающую среду, такие как загрязнение воды и почвы, разрушение экосистем и другие проблемы [1].

Важно отметить, что медноколчеданные месторождения являются важным источником меди для промышленности и экономики многих стран, но их добыча должна проводиться с учетом сбалансированного подхода к охране окружающей среды и обеспечения устойчивого развития. Однако, несмотря на большой интерес к этим месторождениям, механизмы их формирования до сих пор остаются недостаточно изученными.

Методы и организация исследования

Для достижения нашей цели мы использовали следующие методы исследования:

Для достижения цели исследования были применены различные методы анализа, включая оптическую и электронную микроскопию, рентгеновскую дифракцию и химический анализ.

Образцы метасоматитов были собраны на месторождении, а затем отправлены в лабораторию для дальнейшего анализа. Оптическая микроскопия была использована для изучения текстуры и структуры метасоматитов, а электронная микроскопия – для более детального изучения микроструктуры образцов. Рентгеновская дифракция была использована для идентификации минералов в образцах, а химический анализ – для определения их химического состава.

Целью данного исследования является изучение рудных метасоматитов Вишневого медноколчеданного месторождения и выявление их структуры, состава и геологического происхождения.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение рудных метасоматитов эйфельского возраста на Вишневском медноколчеданном месторождении имеет высокую актуальность в настоящее время, поскольку это может дать новые

знания о формировании и развитии медноколчеданных месторождений в целом, а также привести к открытию новых месторождений меди [2].

Метасоматиты представляют собой минеральные образования, которые образуются в результате химической реакции между рудными породами и флюидами. Изучение метасоматитов на Вишневском месторождении может позволить определить, какие типы рудных пород и флюидов участвовали в процессе образования месторождения, и какие условия были необходимы для образования меди в рудных породах.

Кроме того, изучение метасоматитов может помочь улучшить эффективность процессов добычи меди, путем определения наиболее перспективных зон для добычи и улучшения технологий обогащения руд.

Для организации исследования без поездки на рудник были установлены контакты с представителями месторождения и организована отправка образцов метасоматитов в лабораторию для анализа. Дальнейшее исследование проводилось с использованием современного оборудования и лабораторных методов анализа.

Результаты исследования

Результаты исследования метасоматитов на Вишневском медноколчеданном месторождении указывают на сложный характер их структуры и состава. Наличие пироксенов, плагиоклазов, гранатов и эпидотов в образцах указывает на широкий диапазон минеральных составов, которые могли участвовать в процессе метасоматического превращения. Обнаружение минералов меди, таких как халькопирит и борнит, является важным показателем присутствия меди в образцах.

Текстура метасоматитов, выявленная при помощи оптической микроскопии, указывает на сложные процессы метасоматического превращения, которые происходили в результате действия гидротермальных растворов. Это свидетельствует о том, что медь была перемещена и сконцентрирована в рудных породах в результате химической реакции с флюидами.

В целом, результаты исследования метасоматитов на Вишневском медноколчеданном месторождении позволяют получить новые знания о процессах формирования медноколчеданных мес-

торождений и могут быть использованы для улучшения технологий добычи меди и определения наиболее перспективных зон для добычи.

Обсуждение результатов исследования

Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения механизмов формирования медноколчеданных месторождений и оптимизации их эксплуатации. Метасоматические процессы, выявленные в месторождении, могут быть использованы для повышения эффективности добычи меди и увеличения ее запасов. Кроме того, результаты исследования могут быть применены в других областях геологии, включая изучение процессов метасоматического превращения и формирования рудных месторождений [3].

На основе результатов исследования можно рекомендовать использование методов метасоматической обработки при добыче меди из Вишневого медноколчеданного месторождения. Эти методы позволят повысить эффективность добычи и увеличить запасы меди в месторождении. Также рекомендуется дальнейшее изучение метасоматических процессов, происходящих в месторождении, с целью оптимизации добычи и повышения ее эффективности.

Заключение

Исследование рудных метасоматитов Вишневого медноколчеданного месторождения является важным шагом в изучении геологических процессов, происходящих в рудных месторождениях. Полученные результаты подтверждают сложную структуру и текстуру метасоматитов, а также химический состав, включающий в себя медные минералы, такие как халькопирит и борнит. Оптическая микроскопия позволила установить, что метасоматиты образовались в результате метасоматического превращения под действием гидротермальных растворов.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации технологий добычи меди и повышения эффективности эксплуатации месторождения. Определение минерального состава и структуры метасоматитов может помочь в планировании добычи руды, определении оптимальных методов обогащения и выборе соответствующих оборудования [4].

Кроме того, результаты этого исследования могут быть использованы в дальнейших исследованиях метасоматических процессов, что может помочь лучше понять происхождение медноколчеданных месторождений и повысить эффективность их добычи в будущем. Также данные могут быть полезны для разработки новых методов обогащения и переработки медной руды.

Таким образом, результаты исследования рудных метасоматитов Вишневого медноколчеданного месторождения имеют большую значимость для научного сообщества и промышленности, и могут быть использованы для оптимизации процессов добычи и переработки медной руды, а также в дальнейших исследованиях метасоматических процессов.

Список литературы:

1. *Зайков В.В.* Минералы золота и серебра в рудных фациях золотоколчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района, Южный Урал / В. В. Зайков, И. Ю. Мелекесцева // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 71-90.
2. *Козлов М.С.* Условия формирования Рудноалтайской металлогенической провинции / М. С. Козлов // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 4. – С. 299.
3. *Серавкин И.Б.* Проблемы и некоторые результаты изучения колчеданных месторождений Южного Урала / И. Б. Серавкин // Геологический сборник: Информационные материалы: юбилейный выпуск / Российская академия наук, Уфимский научный центр, Институт геологии. Том 2. – Уфа: Издательство «Гилем», 2001. – С. 133-151.
4. *Серавкин И.Б.* Проблемы и некоторые результаты изучения колчеданных месторождений Южного Урала / И. Б. Серавкин // – 2001. – № 2. – С. 133-151.

STUDY OF ORE METASOMATITES OF THE EIFFEL AGE OF THE VISHNEVSKY COPPER-CRUSTED DEPOSIT

Frolov I.S.¹, 2nd year student of the magistracy,

Zvonarev A.E.², PhD, Associate Professor

¹*RUDN University, Moscow, Russia*

²*Voronezh State University, Voronezh, Russia*

froloff.vania201@yandex.ru

*Supervisor: Candidate of Sciences, Associate Professor,
Karelina Elena Viktorovna*

Abstract. The study of ore metasomatites of the Vishnevsky copper-cruste d deposit made it possible to identify their structure and composition, as well as to assess their geological origin. Various methods of analysis were applied, including optical and electron microscopy, X-ray diffraction and chemical analysis. The results of the study indicate the presence of metasomatic processes in the deposit, which can lead to a significant increase in its economic efficiency. The study of ore metasomatites of the Vishnevsky copper-cruste d deposit made it possible to determine their chemical composition, structure and texture, as well as to identify the processes of metasomatic transformation occurring in the deposit.

Keywords: metasomatites, copper-cruste d deposits, optical microscopy, electron microscopy, X-ray diffraction, chemical analysis

ЛОКАЦИЯ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТНО-БЛОКОВЫХ СТРУКТУР

Кравцов В.В., к.т.н., доцент

Департамент механики и процессов управления,

Инженерная академия

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. В начале XXI века стало формироваться междисциплинарное направление – линеаментология, в рамках которого проводится всестороннее изучение разномасштабных линейных образований Земли и планет земной группы с целью исследования их роли и значения в развитии планет. С появлением космических снимков геологи получили уникальную информацию, позволяющую разработку разноранговых моделей геолого-геофизической среды от общего к частному. В статье на конкретных примерах рассмотрены возможности выявления геоактивных зон в районах нефтегазодобычи с применением системного метода моделирования линеаментно-блоковых структур на основе универсального принципа фрактальной делимости нагружаемых твердых тел и геосред при деструкции.

Ключевые слова: Фрактальное моделирование, геодинамические активные зоны, линеаменты, блоки

Введение

По современным взглядам, земная кора представляет собой не сплошную среду, а дискретную систему блоков, и как любой синергетический дискретный ансамбль, обладает свойствами иерархичности и самоподобия. Осознание этих важнейших свойств определило бурный прогресс геофизики, геомеханики, а в последнее время и геологии, именно как точных наук, а также взаимное сближение подходов, применяемых в науках о Земле и в инженерных дисциплинах – нефтяном инжиниринге, горном деле и т. д. [1]. Систематизация и синтез знаний в этой междисциплинарной области способствовал развитию научно-прикладного направления на стыке современной и новейшей геодинамики с другими науками –

учения о геодинамически активных (или сокращенно – геоактивных) зонах (ГАЗ), представляющих собой участки земной коры, различные по объему, конфигурации и площади, активные на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью, повышенной трещиноватостью, проницаемостью и, как следствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности и других аномалиеобразующих процессов. ГАЗ обусловлены тектоническим полем напряжений во взаимодействии с геофизическими, геохимическими, гидрогеологическими и другими полями, а также планетарной линеаментной трещиноватостью.

Линеаменты и их системы проявляют на земной поверхности глубинный структурный каркас литосферы, образуют правильную геометрическую сетку, которая является первичной особенностью земной коры [2], служат выражением ее многопорядковой волновой самоорганизации и фрактальной природы [3]. Как показали исследования, в узлах пересечения линеаментов происходит максимальное накопление (разрядка) тектонической энергии, а сами линеаменты служат каналами перераспределения последней. Линеаментно-геодинамический подход является одним из эффективных методов исследований ГАЗ на основе системного анализа.

Цель исследований

Изучение геолого-геофизических условий и природно-технических систем нефтегазоносных районов Среднего Приобья в их взаимодействии с аномалиеобразующими процессами для обеспечения эколого-геодинамической безопасности и рационального природопользования. Совершенствование авторской методики фрактального моделирования линеаментно-блоковых структур для создания объемной модели геосреды, системного выявления и комплексного анализа ГАЗ с применением дистанционных методов и геоинформационных технологий.

Материалы и методы

Структурное дешифрирование – один из методов изучения дискретных особенностей земной коры и тектонического строения территорий по изображению ее поверхности на аэрокосмоснимках и топографических картах. Объектом исследования при дешифрировании являются линеаменты и мегатрещиноватость. Под терми-

ном мегатрещиноватость понимается «...совокупность всех линейных элементов рельефа и растительного покрова, отражающих разные дизъюнктивные нарушения» [4]. Эти два термина имеют близкое значение и подразумевают соответствие разлома или разломной зоны в земной коре прямолинейно организованному сочетанию элементов ландшафта, характерных для данной природно-климатической зоны. Более подробно эти и другие методические особенности рассмотрены в работах [5, 6, 7].

Закономерные соотношения ориентировки линеаментов по четырем направлениям (С-Ю и З-В – ортогональная система, СВ и СЗ – диагональная система) и кинематики соответствующих им структур указывают на то, что формирование линеаментных систем происходит в условиях импульсного периодического воздействия полей тектонических напряжений и деформаций, т.е. сеть линеаментов отвечает своеобразной стресс-сети, в которой явно просматривается иерархия дискретных порядковых уровней [8]. Главные линии составляют систему 1-го порядка, задающую направления системам сети более высоких порядков. Меняется лишь шаг чередования отдельных линейных элементов сети. Многими авторами [9,10,11 и др.] установлено, что шаг делимости элементов земной коры и размеры блоков не произвольны, а дают некоторый дискретный ряд, в котором отношение размеров компактных ($a = b = c$) блоков n -го порядка к размеру соседних блоков порядка $(n + 1)$ и $(n - 1)$ удовлетворяет некоторому фундаментальному соотношению — универсальному принципу фрактальной делимости нагружаемых твердых тел и геосред при деструкции

$$(L_{(n+1)}/L_n) = A \approx 3.$$

В ходе сопоставления результатов комплексных геолого-геофизических, геодинамических наблюдений и линеаментного анализа с методами тектонофизического моделирования многократно подтверждена закономерность линеаментно-блоковой делимости земной коры и осадочного чехла с фрактальной размерностью, близкой к 3. В результате многочисленных измерений определено 9 рангов линеаментно-блоковых структур с диапазоном средних значений размеров стороны блока и линеамента (длины и ширины) по каждому рангу, представленных в работах [5, 6, 7].

Как показали многолетние исследования, первоочередным методическим правилом при структурном дешифрировании является принцип от «общего к частному», из которого логически вытекает требование рассмотрения исходных материалов любой заданной территории последовательно сначала в обзорно-региональном, затем в региональном и зональном, а в завершении, в локальном (далее в детальном) масштабах. На каждом масштабном уровне выделяется, как правило, по 2-3 ранга зон линеаментов ортогональной и диагональной систем определенной размерности (длины и ширины) и строго заданного азимута простираения (рис. 1).

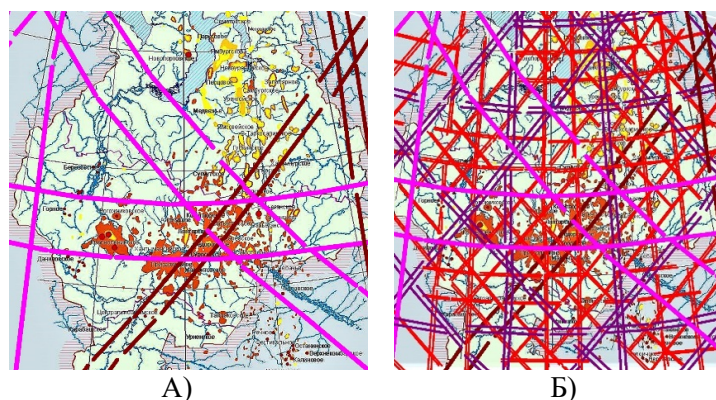


Рис. 1. Схема последовательного системного ранжирования зон линеаментов ортогональной и диагональной систем территории Западно-Сибирской плиты: А) I и II ранга; Б) III и IV ранга.

Красным контуром отмечены нефтяные месторождения, желтым цветом с коричневым контуром – нефтегазовые и нефтегазоконденсатные; желтым цветом – газовые и газоконденсатные

Первый шаг моделирования при определении исходной объемной размерности ГАЗ планетарного ранга требует серьезной доказательной базы геолого-геофизической информации прежде всего о глубинных реперных горизонтах, так как от этого зависит корректность последующей геометризации линеаментно-блоковых структур более высокого ранга. На рис. 1а обращают на себя внимание особенности размещения месторождений углеводородов. Как видно, подавляющее большинство нефтяных месторождений (макси-

мальная плотность запасов) располагается в границах широтной зоны линеаментов I ранга, а аналогичная зона линеаментов северо-западного направления и зона линеаментов III ранга северо-восточной ориентировки разделяют месторождения на нефтяные и нефтегазовые, нефтегазоконденсатные, газовые, газоконденсатные.

Широтную зону разные авторы [12, 13 и др.] связывают с т.н. Транссибирским суперлинеаментом планетарного ранга протяженностью более 4 тыс. км и полностью пересекающим как Западно-Сибирскую плиту, так и Сибирскую платформу. Зона приурочена к критической параллели, проходящей вдоль 61-62° с.ш.; она расположена по оси пояса, в пределах которого увеличение площади земного эллипсоида при замедлении вращения Земли достигает максимума (до 13,5 тыс. км²), что сопровождается растяжениями и глубинными разрывами земной коры [12].

Базовые размерности и границы этой зоны отмечены в рельефе поверхности Мохо. В геодинамическом отношении, по мнению В.Ф. Подурушина (2002), Западно-Сибирскую плиту с запада на восток пересекает субширотная Ханты-Мансийская зона сжатия, в составе которой выделяется подзона Сибирских Увалов (структура сжатия со сдвиговой компонентой) и Обь-Вахская подзона относительного растяжения. В современном рельефе земной поверхности Обь-Вахская подзона зажата между самым протяженным широтным отрезком долины р. Обь и параллельной ему, такой же по длине, южной границей Сибирских Увалов. Между этими реперными линеаментами раскинулись обширные по площади плоские озерно-болотные ландшафты Сургутского Полесья, расположенные строго в границах водосбора правых притоков р. Обь и отражающие современное ступенеподобное (3-х членное) погружение территории с севера на юг. Ширина зоны колеблется в интервале 210–215 км, что однозначно определяется по топографической карте и служит объективным аргументом при определении ширины зон линеаментов I ранга.

Зона линеаментов I ранга северо-западной ориентировки, выделенная по совокупности характерных дешифровочных признаков современного рельефа и гидросети, нашла подтверждение на новой схеме тектонического районирования фундамента Западно-Сибирской плиты [15], где она контролирует размещение областей герцинской складчатости а на геологическом разрезе ей отвечает крупная межблоковая зона, проявленная в архей-протерозойском фундамен-

те, имеющая 3-х членное строение с признаками рифтогенеза в центральной части Колтогорского прогиба, совпадающей с меридиональной зоной линеаментов III ранга (рис. 2). Ранее здесь же был выделен т.н. Трансевроазиатский разлом [16], разделяющий, по мнению автора, две разновозрастных провинции палеозойского фундамента.

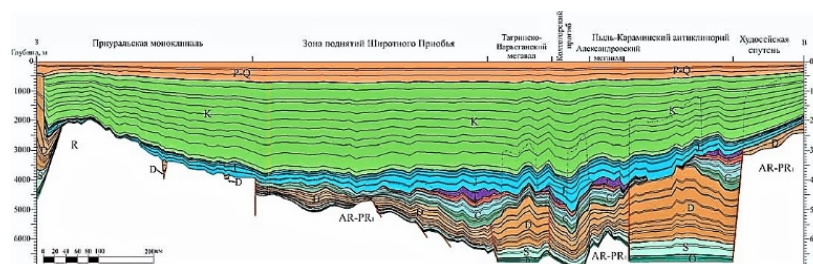


Рис. 2. Геологическая модель широтного сейсмогеологического профиля I-I
[по данным А.В. Ступаковой и др., 2015]

На рис. 1а, б особый интерес представляет самый крупный узел пересечения зон линеаментов I-III рангов в центральной части Западно-Сибирской плиты в районе развитой нефтедобычи Среднего Приобья. Границы узла, подтверждающие его глубинное происхождение, представлены в работе [17]. Рассматривая проблему нефтегазоносности отложений больших глубин, авторы привлекают геохимические данные содержания микроэлементов, в частности ванадиевых порфиринов в органическом веществе пород баженской свиты и нефтях для оценки их термического преобразования. Эти микроэлементы наиболее подвижны и отражают миграционный потенциал флюидов, при этом их распределение по площади крайне неравномерно и изменяется от их полного отсутствия до весьма высоких значений. На рис. 3 представлена зона с аномально высоким содержанием этих микроэлементов, совпадающая с рассматриваемым узлом пересечения линеаментов. При этом отчетливо прослеживается структурный контроль распределения микроэлементов по зоне линеаментов III ранга, что свидетельствует о ее современной геодинамической активности. На противоположных флангах этой зоны и рассматриваемого узла выделены уникальные Самотлорское и Вынгапурское месторождения для дальнейшей детализация ГАЗ и иллюстрации их прикладного значения.



Рис. 3. Среднее Приобье. Схема распределения содержания ванадиевых порфиринов (Vp) в ОВ пород баженовской свиты [по данным С.А. Пунановой и В.Л. Шустера, 2018] в узле пересечения линеаментов I - III рангов.

Синим контуром выделены границы лицензионных участков Самотлорского (на юге) и Вынгапурского (на севере) месторождений

Детализация линементно-блоковой модели представлена на примере территории Самотлорского геодинамического полигона, где по результатам повторного нивелирования II класса точности, ГНСС и гравиметрических наблюдений с использованием геолого-промысловых показателей, составлена карта мульд оседания земной поверхности, обусловленных в основном снижением пластового давления и формированием нестабильной гидродинамической системы [18]. На **рис.4** показана схема сопоставления локальной линементно-блоковой модели с этой картой. Как видно, в целом отмечается высокая степень совпадения локальных узлов пересечения линеаментов (ГАЗ) и мульд оседания, что позволяет использовать данный метод моделирования линементно-блоковых структур при проектировании геодинамических полигонов.



**Рис. 4. Самотлорский геодинамический полигон.
Схема сопоставления локальной линеаментно-блоковой модели
с картой мульд оседания земной поверхности**

Вынгапурское нефтегазоконденсатное месторождение отличается сложным многопластовым мелкоблоковым строением с многочисленными разрывными нарушениями от фундамента до земной поверхности, где отмечены повышенные скорости современных вертикальных движений и проявления аномальной геодинамики недр, с которыми связана аварийность объектов промысловой инфраструктуры. На этом участке Колтогорский активизированный желоб и связанная с ним зона линеаментов III ранга меридиональной ориентировки пересекаются с другими крупнейшими зонами линеаментов I-III рангов, что приводит к усилению разноточных природно-техногенных геомеханических и теплофизических процессов в недрах, которые развиваться не равномерно по всей площади месторождения, а локализоваться в определенных узких зонах разгрузки лимитирующих динамических градиентов изменения плотности горных пород, которые надежно измеряются по данным гравиметрических наблюдений.

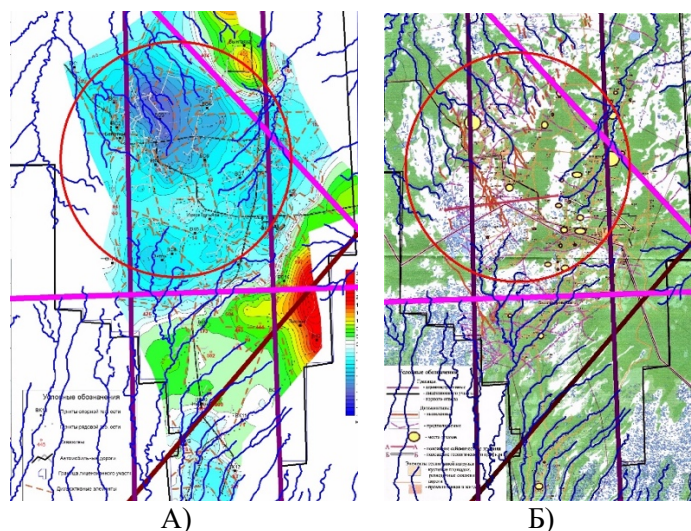


Рис. 5. Вынгапурское месторождение:
А – схема сопоставления узла пересечения линеаментов I-III рангов
с картой локальных аномалий силы тяжести $\Delta g_{\text{лок}}$ ($\sigma_0=2.00 \text{ г/см}^3$,
 $d=8.0 \text{ км}$); Б – с картой отказов промышленной инфраструктуры
[по данным А.И. Каленицкого и Э.Л. Кима, 2012]

На рис. 5А узел пересечения линеаментов I-III рангов практически полностью совпадает с отрицательной аномалией силы тяжести (диаметром около 40 км) над продуктивной частью Вынгапурского месторождения. Внутри аномалии комплексом методов геодинамического мониторинга выявлено значительное число дизъюнктивных нарушений разной ориентировки [19]. На земной поверхности эта аномалия отчетливо проявлена в центробежном рисунке гидросети, что указывает на молодое тектоническое поднятие голоценового возраста, отмеченное кругом, который на рис. 5Б охватывает большинство мест отказов промышленной инфраструктуры. Все это указывает на высокую степень эколого-геодинамической опасности подрабатываемой территории, в границах которой расположен вахтовый поселок с населением около 7 тысяч человек.

Результаты и их обсуждение

Основное внимание было обращено на возможности применения принципа системно-иерархического ранжирования линеа-

ментно-блоковых структур на основе фрактального подхода, раскрытие которых продемонстрировало, по мнению автора, ряд принципиальных преимуществ, позволяющих на разных масштабных уровнях исследовать структуру деформационных процессов в сопоставлении с разноглубинными геодезическими, геологическими, геофизическими и геохимическими данными в целях изучения аномальных геодинамических явлений и возникающих при этом природно-техногенных опасностей.

Разработанные многоуровневые фрактальные линеаментно-блоковые модели строго увязаны с фактическими материалами, отражают сопряженность и непротиворечивость интерпретации геолого-геофизических данных и способствуют объективному и комплексному изучению недр и земной поверхности. В свою очередь, это позволяет при необходимости использовать имеющийся математический аппарат и методы фрактального моделирования, что должно обеспечить переход к дальнейшей автоматизации операций сборки, анализа и интерпретации больших данных, к их количественным оценкам и прогнозам.

В методологическом отношении системно-иерархический подход отвечает междисциплинарным тенденциям развития наук о Земле, относится к сфере инновационных технологий эколого-промышленной безопасности природопользования, расширяет возможности применения методов дистанционного зондирования и требует дальнейшей апробации, что особенно актуально для труднодоступных территорий, в частности арктического сектора Российской Федерации.

Выводы

Опыт применения метода фрактального моделирования линеаментно-блоковых структур показывает, что его системное использование уже на ранних стадиях исследований может эффективно, с конкретной степенью достоверности, без больших затрат времени и средств, решить задачу качественной оценки геодинамических условий и локального прогноза современных тектонических движений, а также оптимизировать выбор участков постановки трудозатратных геолого-геофизических и буровых работ. Предложенный методический подход проведения оценки геодинамической активности может успешно применяться в различных российских и зарубежных регионах.

Список литературы

1. *Кочарян Г.Г.* Деформационные процессы в массивах горных пород. Учебное пособие. – М. МФТИ, 2009. – 378 с.
2. *Белоусов В.В.* Основы геотектоники. Изд. 2. Недра, Москва, 1989 г., 382 с.
3. *Тверитинова Т.Ю.* Линеаменты как отражение фрактально-волновых свойств геологической среды (на примере анализа линеаментов Восточной Сибири) // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы Всероссийского совещания. Иркутск. 2012б. – С.192–194.
4. *Гольбрайх И.Г., Забалуев В.В., Ласточкин А.Н. и др.* Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтеносных областей. Л., 1967. – 151 с.
5. *Кравцов В.В.* Оценка эколого-геодинамической опасности освоения месторождений нефти и газа Западной Сибири с использованием аэрокосмической информации : автореф. диссер. к.т.н. – Москва, 2005.
6. *Кравцов В.В.* Научно-методические основы и практика применения линеаментного анализа // Обзор. М: Электронные ресурсы Союза маркшейдеров России, 2020. – 64 с.
7. *Кравцов В.В.* О системном методе фрактального моделирования линеаментно-блоковых структур (на примере Западно-Сибирской плиты) // Материалы XXXII Всероссийского междисциплинарного семинара-конференции "Система Планета Земля" / ред. В.Л. Сывороткин, А.Ю. Ретеюм, А.О. Агибалов. – М. Издательство Перо, 2023. – С. 141–148. [Электронное издание].
8. *Анохин В.М.* Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. – СПб., Недра, 2006. – 161 с.
9. *Пиотровский В.В.* Морфометрический ряд форм рельефа и тектонических структур // Вопросы географии. Сб. 63. – М.: Мысль. 1963. – С. 12–20.
10. *Садовский М.А.* Естественная кусковатость горной породы // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 4. – С. 829–831.
11. *Макаров П.В.* Эволюционная природа блочной организации геоматериалов и геосред. Универсальный критерий фрактальной делимости // Геология и геофизика. 2007а. Т. 48. № 7. – С. 724–746.

12. *Стовас М.В.* О напряженном состоянии корового слоя между 30° и 40°с.ш. - Проблемы планетарной геологии. – М., Госгеолтехиздат, 1963. – С. 275–284.
13. *Старосельцев В.С.* Трансрегиональные линеаменты и движения плит // Разведка и охрана недр. 2007. № 8. – С. 15–19.
14. *Подурушин В.Ф.* Геодинамика Западно-Сибирской платформы и ее обрамления // Изв. ВУЗов. Геология и разведка, № 1, 2002, с. 30–37.
15. *Ступакова А.В., Соколов А.В., Соболева Е.В., Кирюхина Т.А., Курасов И.А., Бордюг Е.В.* Геологическое изучение и нефтегазоносность палеозойских отложений Западной Сибири. // *Георесурсы*. № 2(61). 2015. – С. 63–76.
16. *Соборнов К.О.* Позднепалеозойско-кайнозойское структурное развитие и нефтеносность Западной Сибири // Материалы Международной конференции геофизиков и геологов (г. Тюмень, 4-7 декабря 2007 г.). – 2007. – С. 1–4.
17. *Пуланова С.А., Шустер В.Л.* Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих доюрских отложений Западной Сибири // *Георесурсы* / 2018. Т. 20. № 2. – С. 67–80.
18. *Васильев Ю.В., Мартынов О.С.* Анализ результатов исследований на геодинамическом полигоне Самотлорского месторождения. // Материалы восьмой научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Х-Мансийск, 2005. Том 1. – С. 452–461.
19. *Каленицкий А.И., Ким Э.Л.* О комплексной интерпретации данных геодезическо-гравиметрического мониторинга техногенной геодинамики на месторождениях нефти и газа // Вестник СГГА[Текст]: науч.-технич. журн. – Вып. 4 (20). – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 3–13.

**LOCATION OF GEOACTIVE ZONES OF OIL
AND GAS BEARING AREAS OF THE MIDDLE OB REGION
BASED ON THE RESULTS OF FRACTAL MODELING
OF LINEAMENT-BLOCK STRUCTURES**

Kravtsov V.V.

*Department of Mechanics and Control Processes,
Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. At the beginning of the XXI century, an interdisciplinary direction began to form – lineamentology, within the framework of which a comprehensive study of multi-scale linear formations of the Earth and the planets of the Earth group is carried out in order to study their role and significance in the development of planets. With the advent of satellite images, geologists have received unique information that allows the development of multi-rank models of the geological and geophysical environment from the general to the particular. The article examines the possibilities of identifying geoactive zones in oil and gas production areas using a systematic method of modeling lineament-block structures based on the universal principle of fractal divisibility of loaded solids and geomediums during destruction.

Keywords: fractal modeling geodynamic active zones, lineaments, blocks

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРЕЗОВ ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА БАЛТИЙСКОМ ЩИТЕ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ГЕНЕЗИСА

Рассказов А.А.¹, д.г.-м.н., профессор,

Горбатов Е.С.², к.г.-м.н.,

Кирияк С.К.¹,

Колесников С.Ф.³, к.г.н.

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

rasskazo@yandex.ru; kiryak.semen@yandex.ru

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,

Москва, Россия

e.s.gor@mail.ru

³ Московский государственный университет геодезии

и картографии, Москва, Россия

sfkol@yandex.ru

Аннотация. На Балтийском щите выделяют два основных типа ледниковых отложений: моренные отложения и водно-ледниковые отложения. Моренные отложения образовались при передвижении ледника. Водно-ледниковые образуются в ледниковых озерах и водотоках в период таяния ледника. В Хибинском горном массиве описаны два разреза, вскрывающих склон «кукисвумской» моренной гряды, флювиогляциальную террасу в долине р. Кукисьок. Актуальность проведенного исследования определяется тем, что оно дает возможность не только уточнить условия формирования четвертичных отложений Хибин, но и выделить одну из особенностей генезиса озерно-ледниковых отложений на Балтийском щите – сильное влияние местных климатических условий и ледниковых процессов в прошлом. Полученные результаты могут использоваться для уточнения ресурсного потенциала водно-ледниковых отложений в качестве источника песчано-гравийных строительных материалов.

Ключевые слова: озерно-ледниковые отложения, моренная гряда, Балтийский щит, строительные пески, горный массив Хибин, Кольский полуостров

Введение

Хибинский массив расположен на Кольском полуострове в Мурманской области России и представляет собой специфический комплекс горных пород (рис. 1). Геологический возраст массива примерно 390 миллионов лет.

Хибины имеют плутоническое происхождение, в связи с чем в массив сложен щелочными интрузивными породами девонского возраста со сложной концентрической зональностью (рис. 2). Уникальным является и минеральное богатство Хибинского массива. Здесь обнаружено и разрабатывается крупнейшее в мире месторождение апатит-нефелиновых руд (фосфатное сырье), титановых руд, а также встречаются редкие и ценные минералы ниобия, тантала, циркония, молибдена и множество других.

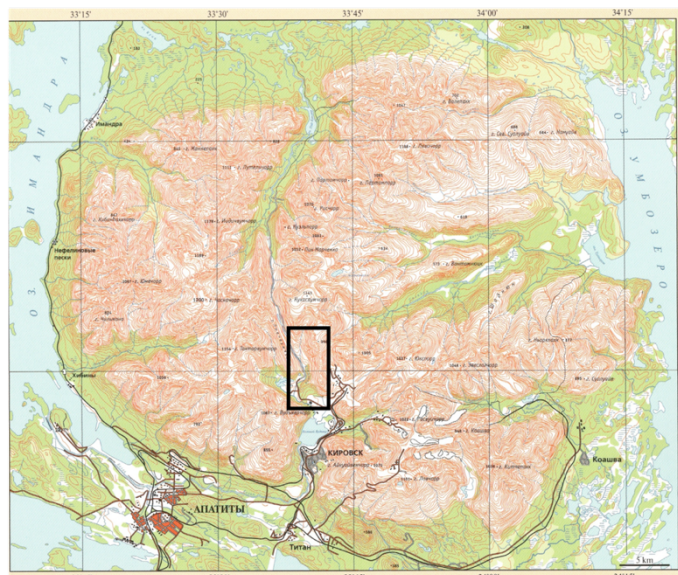


Рис. 1. Схематическая карта Хибинского массива и область исследования

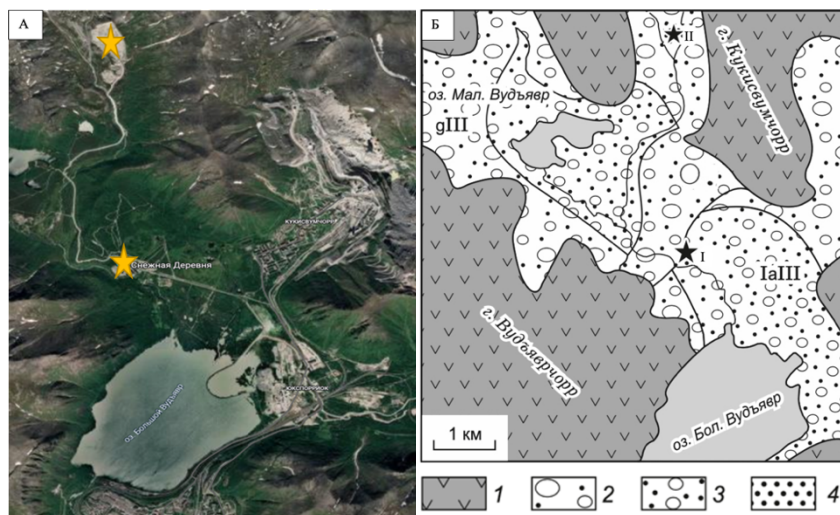


Рис. 2. Космический снимок района исследований (А) и схема четвертичных отложений (Б) [1]

Фрагменты: А – Расположение разрезов (показаны звездочками) в районе Хибин. Б – Крупномасштабная геологическая схема района. Показано звездочками: I – куисвумская моренная гряда (Южные Хибин), разрез Тирвас; II – разрез «Снежный». 1 – 4 – условные обозначения к схеме Б: 1 – дочетвертичные коренные породы, перекрытые чехлом элювиально-коллювиальных отложений; 2 – 4 – позднелейстоцен-голоценовые отложения: 2 – валунная супесчаная морена, 3 – слоистые песчано-гравийно-галечные отложения озерно-аллювиального генезиса, 4 – пески озерного или аллювиального генезиса

Ледниковые отложения подразделяются на ледниковые (гляциальные, или морена) и водно-ледниковые. Ледниковые возникают путём оседания на ложе ледника обломочного материала, переносимого в его толще. Водно-ледниковые отложения образуются внутри и по краям ледников из отсортированного и переотложенного талыми водами моренного материала. Среди них различают ледниково-речные или флювиогляциальные отложения – отложения потоков талых вод (косослоистые пески, гравий, галечники) и озёрно-ледниковые (лимно-гляциальные) отложения внутри и приледниковых озёрных водоёмов [2].

Флювиогляциальные отложения – это грунты, которые образуются в результате выноса обломочного материала из ледников потоками талых вод. Как правило, флювиогляциальные отложения представляют собой слоистые образования, состоящие из различных гранулометрических фракций: песок, гравий, алеврит, глина, которые образовались при различных гидравлических условиях и скоростях потока. Толщина слоев может варьироваться от нескольких миллиметров до многих метров.

Лимногляциальные отложения представляют собой осадочные накопления, которые были образованы в результате отложения материала в озерных условиях в непосредственной близости к ледникам в процессе их движения и колебаний. Этот материал может состоять из различных видов глины, алеврита, песка, гравия и обломков скальных пород. Отложения обычно имеют пористую структуру и могут быть обнаружены в прибрежных зонах и вблизи ледниковых долин. Они иногда содержат останки животных и растений, которые жили в регионе в период формирования отложений. Отложения могут быть использованы для понимания климатических изменений в прошлом и для изучения истории палеонтологических изменений в регионе [3].

Генезис лимногляциальных отложений связан с различными процессами, которые происходят в озерной среде и в ее бассейне. Основными особенностями генезиса лимногляциальных отложений являются:

1. Водная среда: лимногляциальные отложения образуются в озерной водной среде, в которой происходят различные биологические и химические процессы.

2. Доступность осадков: территория, которая занимается процессом образования лимногляциальных осадков, нуждается в притоке воды и осадков, таких как глины и пылевидные отложения.

3. Процессы в течение времени: процесс образования лимногляциальных осадков может продолжаться на протяжении длительного времени, что может привести к появлению слоев различных отложений и пород.

4. Локальность: генезис лимногляциальных отложений связан с конкретной озерной средой и территорией, на которой он находится. Это означает, что залежи лимногляциальных отложений могут быть уникальными по своему составу и структуре [4].

5. Факторы экологического воздействия: процесс образования лимногляциальных осадков может подвергаться экологическому воздействию, такому как изменения климата, растительного покрова. Эти факторы могут влиять как на состав отложений, так и на их структуру.

Цель работы – провести сравнительный анализ флювиогляциальных и лимногляциальных отложений, дать им обобщающую характеристику, а также выделить наиболее значимые генетические отличия.

Материалы и методы исследований

Основными изученными материалами послужили геологические карты и схемы, при помощи которых были выбраны перспективные обнажения. После выбора которых было произведено дешифрирование снимков, что позволило составить схемы четвертичных отложений исследуемого района (рис. 2, фрагмент Б). Четвертичные отложения изучались в карьерных разрезах путем детальных фотографий и зарисовок или после детальной расчистки. Составлялись общие разрезы и их подробные описания, в которых отражались условия залегания, мощность, состав и текстура осадков. Были проанализированы седиментационные обстановки путем изучения текстурных особенностей отложений.

Полученные результаты. Описание изученных разрезов

1. Разрез у профилактория «Тирвас». Местоположение Балтийский щит, горный массив Хибин (рис. 3). Высота над уровнем моря 340 м. В обнажениях на территории профилактория «Тирвас» изучено строение проксимального склона моренной гряды, образовавшейся в ранневалдайское время в результате длительной остановки языка покровного ледника, вторгшегося в внутригорную котловину Хибин [5]. Сверху вниз по разрезу отмечается постепенный переход частично перекрытой морены во флювиогляциальные отложения со слоями и линзами лимногляциальных осадков (рис. 4). Разрез имеет следующее строение (слои 1, 5 – флювиогляциального генезиса, остальные – лимнические).

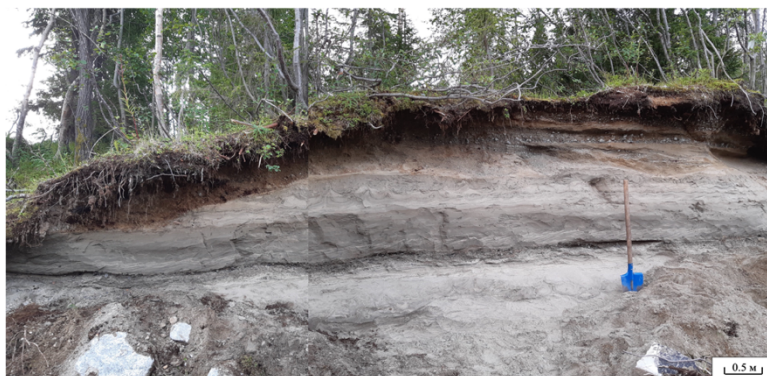
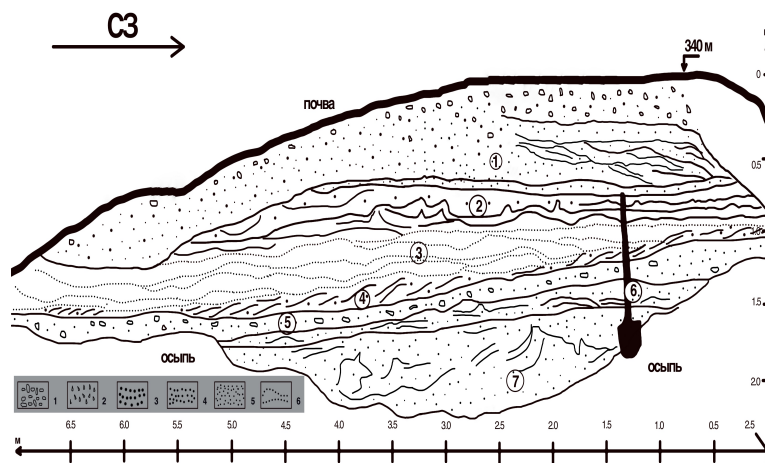


Рис. 3. Обнажение на территории профилактория «Тирвас» моренной гряды



**Рис. 4. Детальная зарисовка обнажения
лимно- и флювиогляциальных отложений разреза Тирвас.
1 – 6 – состав отложений: 1 – галечно-гравийно-песчаный
неслоистый материал, 2 – гравий с крупнозернистым песком,
3 – крупнозернистый песок, 4 – среднезернистый песок,
5 – мелкозернистый песок, 6 – алеврит. Цифры в кружках (1–7) –
слои и пачки слоев, описанные в тексте**

Слой 1 – неслоистый ожелезненный галечно-гравийно-песчаный материал, который сверху вниз по разрезу переходит в гравийно-песчаные и песчаные отложения с линзами крупнозернистых песков. В нижней части слоя – мелкозернистый песок мощность слоя варьируется от 55 до 75 см. в ЮВ части обнажения слой выклинивается.

Слой 2 – среднезернистый песок лимнического генезиса с тонкими прослоями алевритов общей мощностью 30–40 см, деформированный в верхней части слоя с образованием регулярных изоклинальных, сжатых и веерообразных антиклинальных складок длиной 8–10 см и шагом 10–20 см, опрокинутых по восстанию слоя на СЗ, и широких синклинальных складок. Складки плавно затухают к подошве и без размыва перекрываются гомогенными песками со слабо различной нарушенной слоистостью. Выступающие гребни антиклинальных складок не срезаны. Песок в нижней части слоя имеет ненарушенную слабосмещенную параллельно-волнистую слоистость. В ЮВ части слоя складки резко затухают, а слоистость становится субгоризонтальной.

Слой 3 – алеврит со слабосмещенной на СЗ волнистой слоистостью. Мощность слоя от 30 до 40 см.

Слой 4 – прослой среднезернистых песков с косоволнистой слоистостью, которые замещаются алевритами. Мощность слоя 10–15 см.

Слой 5 – гравелистый песок с крупнозернистым песком мощностью 10–15 см.

Слой 6 – мелко-среднезернистый песок с волнистой слоистостью. С востока на запад общая мощность слоя варьируется от 10 до 15 см.

Слой 7 – мелко-среднезернистый песок со смещенной волнистой слоистостью и сложными деформациями. Общая мощность слоя 50–60 см.

2. Следующий объект исследований – разрез четвертичных отложений флювиогляциальной террасы в долине р. Кукисьок близ цирка «Снежный», вскрытый действующим карьером по добыче песчано-гравийной смеси в строительных целях (рис. 5). Местоположение Балтийский щит, горный массив Хибины. Высота над уровнем моря 450 м. Размер карьера 300×800 м.



Рис. 5. Обнажение флювиогляциальных и озерных отложений разреза Снежный

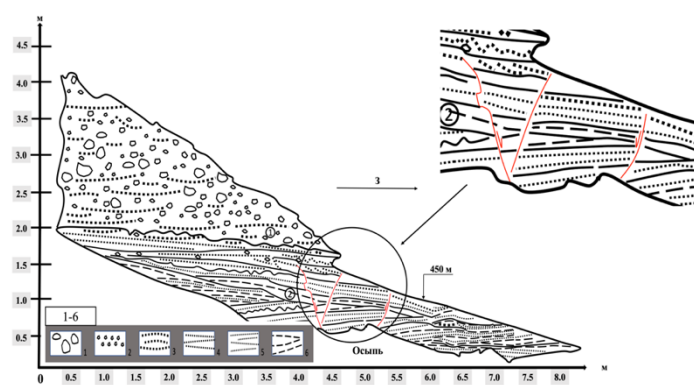


Рис. 6. Детальная зарисовка обнажения флювиогляциальных и озерных отложений разреза Снежный:

1 – 6 – состав отложений: 1 – галечно-гравийно-песчаный неслоистый материал, 2 – гравий с крупнозернистым песком, 3 – крупнозернистый песок, 4 – среднезернистый песок, 5 – мелкозернистый песок, 6 – алевроит. Цифры в кружках (1–2) – слои и пачки слоев, описанные в тексте

Слой 1 – сложен окатанными гравийно-галечными отложениями, с включениями небольших валунов и песчаным заполнителем, отложения слабо сортированные, местами с выраженной горизонтальной слоистостью, что позволяет отнести их к флювиогляциальным отложениям. Мощность слоя варьируется от 50 до 200 см (рис. 6).

Слой 2 – в верхней части слоя можно выделить крупно- и среднезернистый песок с небольшим наличием гальки. В нижней левой и правой частях можно также выделить ритмичное переслаивание тонкозернистых песков и алевритов со смещенной волнистой слоистостью (рябь течений), образовавшиеся в результате оседания из взвеси песчано-алевритового материала. Таким образом, слоистость здесь является результатом отвесного оседания, что характерно для озера. Наличие ряби течения и слабых волнений указывает на накопление отложений в мелководной зоне озерного бассейна. Слой нарушен тремя субвертикальными разрывами, отличающимися прямолинейностью и незначительными смещениями. В толще много угловых несогласий (результат эрозии), т.е. слои нижележащей толщи утыкаются под острым углом в слои вышележащей толщи. Песок в нижней части слоя на отдельных участках имеет волнистую слоистость. Слоистость отложений слабонаклонная в направлении от коренного склона к оси долины (с востока на запад). Мощность слоя – до 200 см (рис. 7).

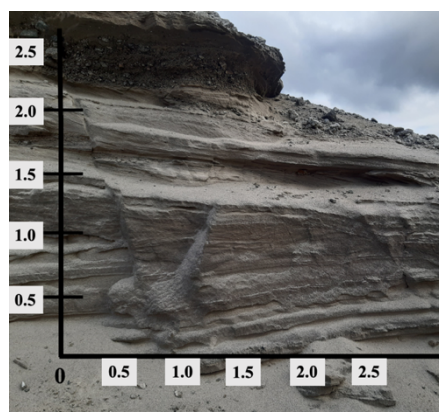


Рис. 7. Разрывные нарушения в слое 2 из рисунка 6

Интерпретация результатов

Вскрытые в карьерных разрезах изученного района Балтийского щита, озерные отложения представлены одним типом образования, отвечающих малым проточным внутриледниковым водоемам. Образования генетического типа включают в себя мало-мощные прослои и линзы озерных осадков во флювиогляциальных и моренных комплексах [5]. Наиболее характерная черта состава этих отложений – преобладание песков и алевритов, почти полное отсутствие глинистых разностей, полное отсутствие органики, тонкая ленточная слоистость, широкое развитие волнистых и косоволнистых текстур, отсутствие дропстоунов, указывающих на малую глубину бассейнов седиментации и активность донных течений [6]. Озерные отложения этого типа зачастую имеют наклонную облекающую слоистость, что обусловлено сложным рельефом в период осадконакопления. Данный тип накоплений отмечен в разрезах Тирвас и цирка Снежный.

Выводы

1. Изучено строение проксимального склона моренной гряды, образовавшейся в ранневалдайское время, в результате длительной остановки языка покровного ледника, вторгшегося в межгорную котловину Хибин. Сверху вниз по разрезу отмечается постепенный переход частично перемытой морены во флювиогляциальные отложения со слоями и линзами лимногляциальных осадков.
2. Формирование террасы сложенной сверху флювиогляциальными, а снизу озерно-ледниковыми отложениями происходит под воздействием различных факторов, включая изменения уровня воды, осадочных процессов. Сначала происходит образование лимногляциальных отложений в озерных условиях, а затем с увеличением скоростей водных потоков – флювиогляциальных отложений в проточных обстановках.
3. Флювиогляциальные отложения обычно состоят из песка, гравия и камней, а лимногляциальные – из песка, алеврита и глины. Различное строение разрезов моренной гряды и флювиогляциальной террасы обусловлено различными процессами и условиями их образования.
4. Выделена одна из особенностей генезиса водно-ледниковых отложений на Балтийском щите - сильное влияние местных

климатических условий и ледниковых процессов в прошлом. Они также могут использоваться для определения перспективных геологических объектов и ресурсов.

5. Сравнение разрезов морен и флювио-лимногляциальных отложений может иметь практическое применение при изучении и реконструкции истории климата и ландшафтов региона. Например, анализ разрезов может помочь определить, какие климатические условия были в прошлом и как они влияли на формирование геологических структур.

6. Изученные отложения являются важными ресурсами для добычи песка, гравия и камней, и используются в различных промышленных отраслях, таких как строительство, дорожное строительство, производство бетона.

Список литературы

1. Горбатов Е.С., Корженков А.М., Колесников С.Ф., Рассказов А.А., Родина С.Н., Варданян А.А. Особенности генезиса конволюций в озерных комплексах регионов со сравнительно низкой (Балтийский щит) и высокой (Тянь-Шань) палеосейсмической активностью. // Геология и геофизика, 2022, т. 63, № 5, с. 709–728.

2. Агаджанян А.К., Борисов Б.А., Брайцева О.А. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений // Л.: Недра, 1987. – 308 С. (М-Во Геологии СССР. Всесоюз. Науч.-Исслед. Геол. Ин-Т.)

3. Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова. // М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 233 с.

4. Евзеров В.Я. Геология четвертичных отложений Кольского региона // Апатиты, 2015.

5. Горбатов Е.С., Колесников С.Ф., Сорокин А.А. Структуры нарушенной слоистости в поздне-неоплейстоценовых отложениях Хибинского массива (Кольский полуостров) // Геология и геофизика, 2019, т. 60 (5), с. 699–717.

6. Рассказов А.А., Буянов М.И., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. К вопросу о возможности освоения перспективных цеолитопроявлений Монголии с учетом особенностей их формирования // М.; Изд-во МГРИ, 2019, том IV, с. 49–51.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SECTIONS OF LAKE-GLACIAL DEPOSITS ON THE BALTIC SHIELD AND FEATURES OF THEIR GENESIS

Rasskazov A.A.,

Gorbatov E.S.,

Kiryak S.K.,

Kolesnikov S.F.

Academy of Engineering, RUDN University, Moscow, Russia
information@rudn.ru

Abstract. There are two main types of glacial deposits on the Baltic Shield: moraine deposits and water-glacial deposits. Moraine deposits were formed during the movement of the glacier. Glacial waters are formed in glacial lakes and watercourses during the melting of the glacier. Two sections are described in the Khibiny mountain range, revealing the slope of the "Kukisvum" moraine ridge, a fluvioglacial terrace in the valley of the Kukisjok river. The relevance of the study is determined by the fact that it made it possible not only to clarify the conditions for the formation of quaternary deposits Khibin, but also to highlight one of the features of the genesis of lake-glacial deposits on the Baltic Shield – the strong influence of local climatic conditions and glacial processes in the past. The results obtained can be used to clarify the resource potential of water-glacial deposits as a source of sand-gravel building materials.

Keywords: lake-glacial deposits, moraine ridge, Baltic Shield, construction sands, Khibiny mountain range, Kola Peninsula

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НА ХРОМИТОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ПРЕДЕЛАХ ВОЙКАРО-СЫНЬИНСКОГО МАССИВА

Ткаченко Максим Александрович, аспирант

Карелина Елена Викторовна, к. г.-м. н., доцент

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

1142220994@pfur.ru

Аннотация. В статье описывается применение кластерного анализа при интерпретации данных, полученных с использованием метода литохимических поисков по потокам рассеяния на Войкаро-Сыньинской площади, для выделения наиболее перспективных участков для постановки дальнейших поисковых работ. По результатам исследования в пределах Войкаро-Сыньинского офиолитового массива выделен аномальный участок благоприятный для выявления хромитового оруденения с платиноидами кимперсайского типа.

Ключевые слова: Войкаро-Сыньинский массив, кластерный анализ, потоки рассеяния, офиолиты, хромиты, платиноиды, кимперсайский тип

Введение

За последние годы неизменно растет интерес к освоению минеральной сырьевой базы районов Крайнего севера.

Несмотря на то, что Райизско-Войкарская минерагеническая зона является одной из наиболее интересных и потенциально перспективных в Полярно-Уральском секторе Уральской складчатой системы в отношении таких полезных ископаемых как Cr, Fe, Cu, Au, Pt, Pd, Os, Ir, Mo, её изученность на данный момент весьма слабая. Фактически достаточно интенсивно проводились только поисковые и поисково-оценочные работы на хромиты в северной части Войкаро-Сыньинского массива. Изученность остальной части площади находится на уровне 60-х начала 70-х годов.

В свете рассмотрения вопроса обеспечения МСБ страны запасами стратегических металлов, вовлечение ресурсной базы Приполярного и Полярного Урала в экономику промышленного Урала позволит решить поставленную задачу.

Цели и задачи исследования

Целью работы является выделение наиболее перспективных участков на исследуемой площади, по результатам интерпретации данных по литогеохимическому опробованию по потокам рассеяния с применением современных геостатистических комплексов исследования, а также по поисковым критериям и признакам, для постановки дальнейших поисковых работ по выявлению комплексных месторождений хрома с платиноидами кимперсайского типа.

Основные решаемые задачи:

- выявление геохимически однородных площадей, отвечающих минерагеническим зонам;
- определение внутри этих зон аномальных значений элементов;
- выделение участков, характеризующихся аномальными содержаниями элементов, которые потенциально перспективны на промышленное оруденение с применением магматогенных, структурных, формационных и проч. критериев, а также минералогических и проч. прямых и косвенных признаков.

Методика исследования

Методика исследования включала в себя обработку и интерпретацию статистическими методами данных литохимического опробования по потокам рассеяния, полученных методом полук количественного спектрального анализа (ПКСА).

Аналитические исследования. Пробы анализировались методом ПКСА на 31 элемент, включая Au, Pt, Pd. Общее количество проб составило 4 939 штук.

Статистические методы обработки данных. Подобный массив информации характеризует обширную территорию, которая к тому же относится к различным структурно-формационным и минерагеническим зонам, поэтому очень сложен в анализе. Потребовалось объединение содержаний в некоторые группы, которые отражали бы объективную картину поведения элементов, не зависящую от ранее известных минерагенических зон, а также рудных полей, узлов и т.д.

1. На первом этапе исследования была проведена группировка по схожему поведению содержаний химических элементов. Для этих целей был применен кластерный анализ [1].

Сущность используемого метода заключается в наборе различных алгоритмов классификации, когда необходимо классифицировать "горы" информации к пригодным для дальнейшей обработки группам.

В отличие от многих других статистических процедур, методы кластерного анализа используются в большинстве случаев тогда, когда не имеется каких-либо *априорных* гипотез относительно классов и анализ находится в описательной стадии исследования.

Выполнение кластерного анализа позволяет выделить группы, в составе которых некоторые элементы отличаются повышенными средними содержаниями относительно средних по общей выборке. Другие же имеют значения на уровне кларковых.

2. На втором этапе внутри каждого кластера для элементов с высокими средними содержаниями относительно общих средних значений вычисляются минимально аномальные и высоко аномальные значения. За фоновое значение принимается медиана. Минимально аномальное вычисляется по формуле $Ca_1 = Cx + 2\delta$, а высоко аномальное – $Ca_2 = Cx + 3\delta$, где Cx – фоновое значение элемента (медиана), δ – стандартное отклонение.

Результаты исследования

В результате проведенного кластерного анализа, в пределах исследуемой площади, было выделено 5 кластеров (табл. 1):

Кластер № 1 – Cr-Ni-Co геохимический кластер;

Кластер № 2 – Cu-V геохимический кластер;

Кластер № 3 – кластер геохимического «шума»;

Кластер № 4 – Pb-Au-W геохимический кластер;

Кластер № 5 – Mo(Cu)-Zn(Pb)-P геохимический кластер.

Таблица 1

Средние содержания химических элементов по кластерам

| | Число выборки | Кл. №1 1187 | Кл. №2 185 | Кл. №3 1532 | Кл. №4 1752 | Кл. №5 283 |
|----|------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| Cr | Ср. сод., % | 444,1803 | 55,2108 | 125,5738 | 37,0314 | 48,3781 |
| Mo | Ср. сод., % | 0,040438 | 0,216216 | 0,503916 | 0,481164 | 4,144876 |
| Pb | Ср. сод., % | 0,577928 | 0,989189 | 0,757180 | 1,579338 | 1,908127 |
| Ag | Ср. сод., % | 0,000842 | 0,124324 | 0,024151 | 0,030822 | 0,837456 |
| Co | Ср. сод., % | 120,3370 | 41,2486 | 37,2722 | 23,8476 | 31,8693 |
| Ni | Ср. сод., % | 205,9124 | 19,1514 | 34,2448 | 11,5331 | 17,3286 |
| Ba | Ср. сод., % | 0,245998 | 0,956757 | 1,443211 | 3,356164 | 2,791519 |
| Mn | Ср. сод., % | 12,81719 | 12,47027 | 10,37794 | 10,19007 | 33,43463 |
| V | Ср. сод., % | 6,63100 | 24,22162 | 14,13708 | 13,91895 | 10,37102 |
| Sn | Ср. сод., % | 1,790227 | 2,351351 | 1,947128 | 3,295662 | 2,487633 |
| Cu | Ср. сод., % | 4,24853 | 19,54054 | 5,32507 | 5,12614 | 6,20495 |
| Zn | Ср. сод., % | 0,921651 | 0,945946 | 0,596606 | 0,726598 | 1,381625 |
| P | Ср. сод., % | 0,121314 | 0,913514 | 0,785901 | 0,928653 | 3,113074 |
| W | Ср. сод., % | 0,000000 | 0,010811 | 0,000653 | 0,000000 | 0,000000 |
| La | Ср. сод., % | 0,379949 | 0,778378 | 0,811358 | 1,744292 | 1,621908 |
| Ga | Ср. сод., % | 0,074979 | 0,935135 | 0,710183 | 1,081050 | 0,681979 |
| Zr | Ср. сод., % | 4,41533 | 8,78919 | 9,06070 | 15,95263 | 11,86572 |
| Sc | Ср. сод., % | 5,48526 | 14,35135 | 9,65470 | 9,03311 | 9,73852 |
| Bi | Ср. сод., % | 0,008425 | 0,091892 | 0,121410 | 0,119863 | 0,501767 |
| Y | Ср. сод., % | 0,013479 | 0,372973 | 0,312010 | 0,865868 | 0,759717 |
| Yb | Ср. сод., % | 0,091828 | 0,691892 | 0,665796 | 1,249429 | 1,250883 |
| B | Ср. сод., % | 1,497051 | 2,140541 | 2,021540 | 3,008562 | 2,469965 |
| Nb | Ср. сод., % | 0,001685 | 0,016216 | 0,071802 | 0,206050 | 0,116608 |
| Be | Ср. сод., % | 0,027801 | 0,389189 | 0,405352 | 1,185502 | 1,226148 |

Распределение кластеров, в целом, носит субмеридианальный характер и прослеживается вдоль простирающихся основных структур и геологических комплексов этой части Полярного Урала (рис. 1). Пространственно, кластеры попадают в минерагенические зоны, отвечающие, в целом, их геохимической специализации.

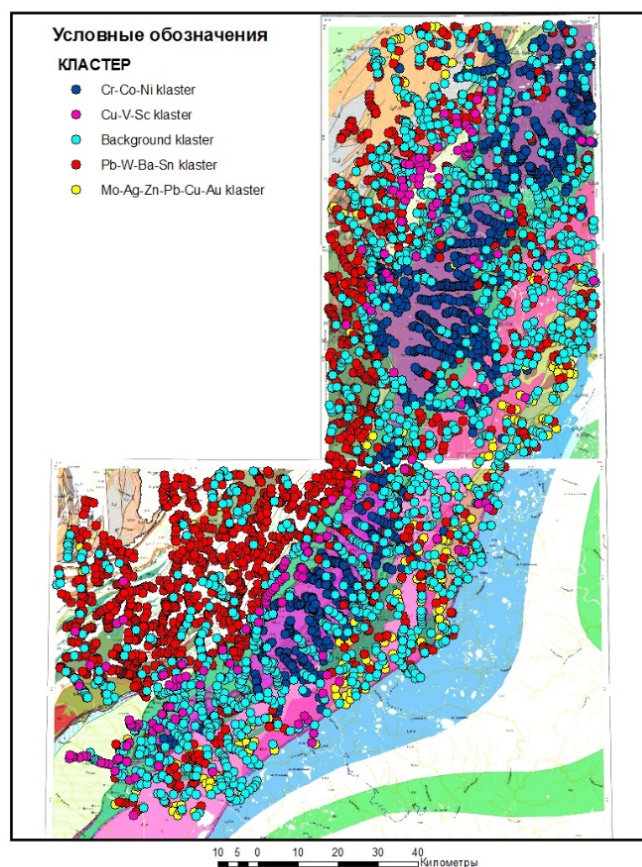


Рис. 1. Районирование Войкаро-Сыньинской площади (южная часть Полярного Урала) по результатам кластерного анализа на геологической основе (лист Q-41 ГП-1000/3. Кондаин О.А., 2001)

Cr-Ni-Co геохимический кластер (Кластер №1) представлен набором элементов, в котором хром, кобальт и никель имеют средние содержания в 4-5 раз отличающиеся относительно других кластеров (рис. 2), а так же высокоаномальными содержаниями Pt и Pd.

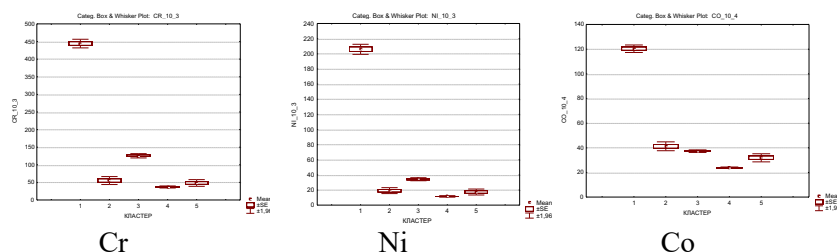


Рис. 2. Химические элементы, характеризующие Кластер № 1 (Cr-Ni-Co)

Основная выборка проб попадает в границы Войкарской СФЗ, а именно в пределы Райизско-Войкарского комплекса альпинотипных ультрабазитов, представленных дунит-гарцбургитовой и гарцбургитовой ассоциацией, и восточную часть Кэршорского дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса (рис. 3). Малая часть проб на северо-западе пространственно попадает в пределы Лемвинской СФЗ, а на востоке в пределы Малоуральского ВПП Войкарской СФЗ. Это объясняется скорее всего наличием моренных отложений ультраосновного состава, т. к. физико-механический перенос осуществляется в пределах первых километров. Данная часть кластера не рассматривается.

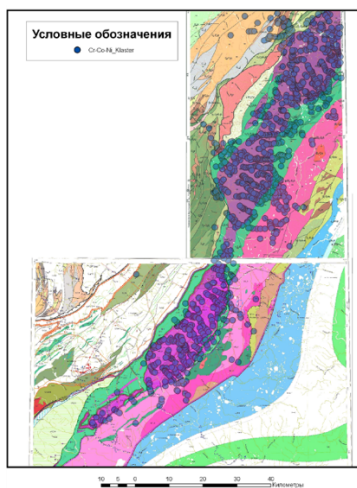


Рис. 3. Соотношение Cr-Ni-Co геохимического кластера (Кластер № 1) и геологии исследуемого района

По минерагенической зональности Cr-Co-Ni кластер соответствует Райизко-Войкарской Cr-Cu-Ti минерагенической зоне и объединяет Войкаро-Сыньинский хромитовый рудный район и восточную часть Кэршорской платино-золото-меднорудную рудоносную зону, которые в свою очередь делятся на Хойлинско - Пайерский рудный узел, Погурейский хромитовый рудный узел, Лаптапайский хромитовый рудный узел.

Ультраосновные и основные породы райизско-войкарского и кэршорского комплексов слагают единую крупную и достаточно пологую надвиговую пластину, ширина выхода которой составляет в среднем 18-20 км на севере (хойлинский блок, погурейский блок); 14 км в средней части (лаптапайский блок), сужаясь к югу до 2-4 км. Пластина представляет собой сложную складчато-надвиговую структуру. Ядерная часть складки сложена гарцбургитами и, в меньшей степени, дунитами райизско-войкарского комплекса, тогда как на крыльях последовательно обнажаются пироксениты и габброиды кэршорского комплекса. Падение крыльев на юго-восток, углы падения около 70°. Имеются существенные отличия в составе, строении, степени метаморфизма метабазитов западной полосы (крыльев) «полосчатого» кэршорского комплекса относительно восточных.

Войкаро-Сыньинский массив, протяженностью около 200 км, при ширине от 2 до 18 км сложен гарцбургитами, дунитами и оливин-антигоритовыми породами – войкаритами. Пироксениты, серпентиниты и другие гипербазиты, развитые в краевых зонах массива, встречаются в резко подчиненных количествах [2].

Пространственное размещение хромитов на территории рудного района определяется их генетической связью с альпинотипными ультрабазитами, поэтому все известные месторождения и рудопроявления хрома относятся к кимперсайскому типу и локализируются в ультрабазитах.

Большинство известных к настоящему времени рудных объектов выявлены до середины 70-х годов прошлого столетия. Южная часть массива до сих пор практически не охвачена поисковыми работами на хромиты.

При аналитической обработке результатов анализов проб, попавших в Cr-Co-Ni кластер, внимание акцентировалось на конкретные задачи, решение которых могло бы найти практическое применение при дальнейших поисках:

– выявление аномальных полей Cr, которые могли бы вывести на новые объекты хромового оруденения;

– оценка потенциала платиноидов в составе хромовых руд и хромосодержащих пород Войкаро-Сыньинского хромитового рудного района.

Если хромитоносные тела подвергаются дренированию или рудный материал трансформируется физико-механическим путем вниз по склону (до 1-1,5 км и не далее), поступая в пойму ручья, то в аллювии концентрируется Cr, Ni, Co. На отдельных участках с данной ассоциацией оказывается Pt, Au, Pd, Pb, Cu в различных сочетаниях и уровне концентраций. Если рудопроявления и пункты минерализации хромитов располагаются на водоразделе или на склоне массива, где гидросеть отсутствует или она отстоит более чем на 1-1,5 км, то такие рудные объекты в потоках не проявляются.

В результате статистической обработки данных было получено фоновое значение для Cr равное 0,389 %, что в целом соответствует кларковому для гипербазитов [3], а также для Co – 0,066 %, Ni – 0,052 %.

В потоках рассеяния геохимическая ассоциация химических элементов неизменно представлена Cr, Co, Ni. Верхний предел для Cr равен 1,25 % и обусловлен ограничением по определению максимальных содержаний методом ПКСА. Cr, Co, Ni в сочетании с Pt и Pd в потоках характеризуются высокоаномальными значениями.

В пределах кластера наблюдается увеличение концентраций Co в потоках с севера на юг. Ni, в свою очередь, концентрируется в потоках в центральной части Войкарского массива.

Аномальные потоки Pt и Pd фиксируются в приконтактных зонах райизко-войкарского комплекса с кершорским, как с запада, так и на востоке.

В данном кластере по результатам интерпретации было выявлено несколько аномальных зон. В частности, аномальный участок (рис. 4) площадью около 150 км², представляющий первоочередной интерес с точки зрения дальнейших поисков на оруденение промышленного типа.

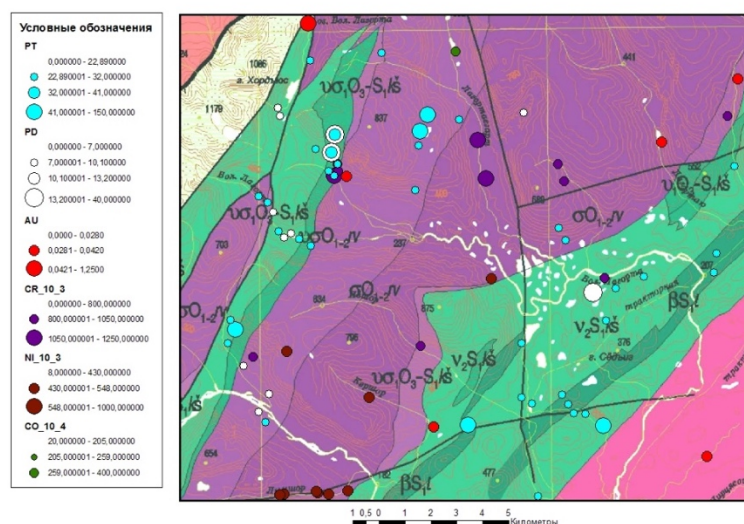


Рис. 4. Аномальный участок в пределах Cr-Co-Ni кластера

Аномальный участок расположен в междуречье рр. Лагортагарт и Бол. Лагорта и приурочен к Лагортинскому рудному полю, в составе Хойлинско - Пайерского рудного узла, и характеризуется преимущественно тремя высокоаномальными потоками Cr, Ni и Co в потоках проявлены слабо, потоки Ni фиксируются на юге участка. Au в потоках находится в подчиненном количестве и протяженных потоков не образует. Скорее всего приурочено к хромитоносным дунитовым породам, где обнаруживается в нодулях хромитов.

Кроме того, выявляются контрастные аномальные потоки Pt и Pd, которые образуют аномальные потоки площадью 32 и 10 км² со средним содержанием соответственно 32 и 18 мг/т.

Источником служат породы дунит-гарцбургитовой ассоциации райизского-войкарского комплекса и нижняя часть дунит-верлит-клинопироксенитового кершорского комплекса. Надо отметить, что аномальные потоки Pt и Pd, в целом, приурочены к границам между райизского-войкарским комплексом и кершорским комплексом.

По геохимическим данным хромовые проявления Лагортинского РП можно отнести к Pt содержащим.

Таким образом, результаты исследований показывают, что в пределах Cr-Co-Ni кластера перспективным участком для постановки дальнейших работ по выявлению комплексных месторождений Cr с платиноидами кимперсайского типа является аномальный участок в пределах Лагортинского РП.

Результаты исследования

1. В пределах изучаемой площади по результатам кластерного анализа четко выявляется 4 зоны, отличающихся по своей геохимической специализации, в пределах которых выделяется группа элементов, характеризующаяся повышенными средними содержаниями.

2. Распределение кластеров носит субмеридианальный характер и прослеживается вдоль простираения основных структур и геологических комплексов этой части Полярного Урала. Пространственно кластеры в целом попадают в минерагенические зоны и отвечают их геохимической специализации.

3. Cr-Co-Ni геохимический кластер (Кластер №1) попадает в границы Войкарской СФЗ и объединяет Войкаро-Сыньинский хромитовый рудный район и восточную часть Кэршорской платино-золото-меднорудную рудоносную зону.

4. Выявлен аномальный участок, в пределах Cr-Co-Ni геохимического кластера, площадью около 150 км², представляющий первоочередной интерес для постановки дальнейших работ по выявлению комплексных месторождений хрома с платиноидами кимперсайского типа.

Список литературы

1. Михалевич И.М. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий)// Иркутский государственный университет, Иркутск, 2006, стр. 12-43.
2. Савельев А.А., Савельева Г.Н. Офиолиты Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. 1977. № 6. – С. 46–50.
3. Авдонин В.В., Старостин В.И. Геология полезных ископаемых // М.: Издательский центр «Академия», 2010, стр. 144–150.

**APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS TO IDENTIFY
PERSPECTIVE AREAS FOR CHROMITE MINERALIZATION
WITHIN THE VOIKAR-SYNYA MASSIF**

Tkachenko Maksim,

Karelina V. Elena

Academy of Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. The article describes the application of cluster analysis in the interpretation of data obtained using the method of lithochemical searches by dispersion trains in the Voikaro-Synya area in order to identify the most perspective areas for further prospecting. Based on the results of the study, within the Voikaro-Synya ophiolite massif, an anomalous area was identified that is favorable for identifying chromite mineralization of the Kimpersai-type with PGEs.

Keywords: The Voykar-Synya massif, cluster analysis, dispersion trains, ophiolites, chromites, platinoids, Kimpersai type

Секция 7

АРХИТЕКТУРА И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕЖИЛОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Макунина Ю.В., аспирант

*Департамент архитектуры, инженерная академия,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
Мособлархитектура, Московская область, г. Подольск*

Аннотация. Прогнозирование социально-экономического развития призвано не только объективно констатировать фактическое состояние показателей, но и оценить сильные и слабые стороны перспективного развития Московской области в таких областях как сфера услуг, производство, наука, качество жизни. Улучшение данных показателей напрямую влияет на такой показатель как демография, и может являться его стимулирующим фактором.

Обозначение вектора развития, поиск оптимальных решений с помощью макросоциологического и системного подходов определяет возможные пути развития территорий и объектов.

Проведенный анализ дает возможность определения наиболее важных целей и проблем функционирования Московской области, как целой системы для принятия возможных альтернативных решений, применения процедур согласования целей, мероприятий и ресурсов для выбора оптимальных вариантов.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз, социально-экономическое планирование, рефункционализация, трансформируемость, адаптивность, макросоциологический подход, системный подход

Движение времени, отраженное в долгосрочном прогнозе

Как бы мы старались «не заботиться о завтрашнем дне, ибо завтрашний день позаботится сам о себе», как бы не любили сюрпризы, неожиданности и головоломки, нам очень важно быть уверенными в завтрашнем дне, или месяце, а лучше – паре лет. В нормативной практике это называется среднесрочным прогнозом. Предполагать и строить планы лет, скажем, на пятнадцать вперед – это прогноз долгосрочный, который разрабатывается и утвержда-

ется в соответствии с Федеральными законами, а именно Бюджетным кодексом Российской Федерации «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [2], законами регионов и областей о стратегическом планировании социально-экономического развития на среднесрочный (два года) и долгосрочный (двенадцать – четырнадцать лет) периоды.

Рассмотрим суровую реальность. Действующий до момента вступления в силу постановлением Правительства Московской области от 26.12.2022 №1444/47 «Об утверждении прогноза социально-экономического развития Московской области на долгосрочный период до 2036 года» [3] долгосрочный прогноз до 2030 года, утвержденный постановлением Правительства от 25.12.2018 № 1015/45 отменен. Долгосрочность в условиях существующей реальности потребовала новой трактовки, переосмысления, дополнительных исследований и даже отмены предыдущего прогноза. Ежегодное внесение изменений в такие прогнозы является вполне предсказуемой, здоровой практикой реалий.

Целями такого стратегического планирования являются также обеспечение эффективного использования ресурсов для достижения целей и реализации задач социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности. В контексте направления архитектуры и градостроительства, ресурс – это в первую очередь земля, обозначенная некими территориальными границами. То есть территория/участок освоения под размещение объекта или здания.

Создание условий для устойчивого обеспечения стратегического планирования представляет собой разработку и внедрение тех или иных нормативно-правовых документов, обеспечивающих таковые условия.

Результатом такой работы должно стать повышение эффективности государственной макроэкономической политики, формирование ориентиров для инвесторов при принятии долгосрочных инвестиционных решений.

Одной из задач государственной политики в сфере стратегического планирования является организация научно-методологического, информационно-аналитического обеспечения стратегического планирования.

Основными направлениями государственной политики в сфере стратегического планирования, в том числе являются: *осуществле-*

ние на системной основе научных исследований в сфере стратегического планирования, с учетом внедрения современных методов прогнозирования, моделирования, индикативного планирования, балансовых расчетов и информационных технологий, а также развития системы мониторинга и контроля процессов, совершенствования нормативно-правовой базы стратегического планирования.

Прогноз использования территорий и объектов нежилого назначения на основании долгосрочного прогноза Московской области

Попробуем проанализировать прогноз социально-экономического развития на примере Московской области на долгосрочный период до 2036 года в сфере объектов, которые являлись бы возможными для предоставления рабочих мест в сферах производства и услуг. Это объекты, классифицирующиеся как объекты нежилого назначения.

Важнейшим показателем темпов перспективного развития, очевидным и наглядным для обывателя всегда являлось строительство объектов жилого и нежилого назначения, развитие инфраструктуры, а также их качественные критерии и даже визуальные характеристики, которые всегда идентифицируются с такими словами, как стабильность, равновесие и баланс с ее способностью функционировать без изменений, что крайне важно для объектов жилого назначения.

А вот способность адаптации, трансформации и рефункционализации ассоциируются с темпами производственного роста и быстрого реагирования на экономические реалии сегодняшнего дня ассоциируется с объектами нежилого назначения.

Возможность и способность такого быстрого реагирования крайне важна и напрямую влияет на устойчивость и психологическую стабильность каждого человека.

Для проведения аналитической работы обратимся к показателям приложения к постановлению Правительства МО от 26.12.2022 [3] таким как:

- демографические показатели
- промышленное производство
- сельское хозяйство
- научная и научно-техническая деятельность
- малое и среднее предпринимательство

- внешнеэкономическая деятельность
- инвестиции
- строительство
- городская среда и качество жизни
- финансы
- труд и заработная плата, в части численности трудовых ресурсов в различных сферах деятельности
- торговля и услуги
- культура и туризм.

Данные показатели выбраны с целью проведения аналитических исследований, направленных на изучение территорий под объектами нежилого назначения, а также самих объектов нежилого назначения, наполненных различными функциями, целью которых является развитие экономики страны и стимулирование роста благосостояния населения.

Отмечу, что долгосрочный прогноз формируется в 2 обязательных (основных) вариантах: базовом и консервативном.

Базовый вариант долгосрочного прогноза характеризует основные тенденции и параметры развития экономики в условиях консервативного изменения внешних условий.

Консервативный вариант долгосрочного прогноза разрабатывается на основе консервативных оценок темпов экономического роста с учетом возможности ухудшения внешнеэкономических условий.

Московская область – второй по численности субъект Российской Федерации, в котором проживает более 5 % населения страны. Доля городского населения составляет 81,5 % от общей численности населения, сельского – 18,5 %. (с. 20 Постановление правительства Московской области от 26.12.2022 №1444/47).

Последние 5 лет наблюдается снижение рождаемости. Начиная с 2025 года, с учетом мер государственной поддержки, успешно принятых мер по борьбе с пандемией 2019, внедрению и продвижению новых технологий и комплекса мероприятий ведения беременности ожидается постепенное увеличение рождаемости.

Высокий уровень миграционной активности на территории Московской области также служит фактором привлечения трудовых ресурсов с целью выполнения стратегических приоритетов пространственного развития Московской области, формирующих точки роста экономики (табл. 1).

Таблица 1

**Демографические показатели численности постоянного населения
трудоспособного возраста [3]**

| 2020 | 2022 | 2036 (базовый) | 2036 (консервативный) |
|--|--------|----------------|--------------------------|
| Численность постоянного населения трудоспособного возраста (тыс. человек) | | | |
| 4444,8 | 4651,7 | 5434,8 | 5431,8 |
| Общий коэффициент рождаемости (на 1000 человек населения) | | | |
| 10,3 | 9,1 | 8,6 | 8,5 |
| Общий коэффициент смертности (на 1000 человек населения) | | | |
| 14,5 | 12,9 | 10,6 | 11,3 |
| Коэффициент миграционного прироста (на 1000 человек населения) | | | |
| 66,6 | 106,7 | 97,2 | 96,7 |

Московская область обладает мощным экономическим, финансовым и социальным потенциалом, который сформировался благодаря выгодному экономико-географическому положению вблизи столицы, хорошо развитой транспортной сети и наличию высококвалифицированных трудовых ресурсов. [3] Не зря ранее, до 14 января 1929 года Московская область называлась Центрально-Промышленной областью и делилась на 10 промышленных и сельскохозяйственных округов.

Московская область лидирует среди субъектов Российской Федерации по количеству созданных на ее территории особых экономических зон в таких городских округах как Домодедово, Дубна, Кашира, Ступино, Фрязино.

Перспективы развития научной и научно-технической деятельности, производство продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей, особое внимание, оказываемое численности занятых в сфере малого и среднего предпринимательства, активизация внешнеэкономической деятельности, прогнозируют их значительный рост к 2036 году (табл. 2).

Таблица 2

Производственная база [3]

| 2020 | 2022 | 2036 (базовый) | 2036 (консервативный) |
|--|--------|----------------|--------------------------|
| Индекс промышленного производства (процент к предыдущему году) | | | |
| 109,7 | 101,6 | 108,5 | 106,8 |
| Индекс производства продукции сельского хозяйства (процент к предыдущему году) | | | |
| 98,0 | 103,1 | 101,3 | 101,2 |
| Научная и научно-техническая деятельность. Доля продукции высокотехнологичных и наукоёмких отраслей (процент) | | | |
| 21,3 | 24,9 | 29,6 | 29,0 |
| Численность занятых в сфере малого и среднего предпринимательства (1000 человек) | | | |
| 1411,7 | 1452,1 | 1612,1 | 1610,9 |
| Внешнеэкономическая деятельность. Темп роста (процент к предыдущему году) | | | |
| 91,0 | 93,1 | 106,2 | 103,0 |

Сохранение и увеличение индекса физического объема оборота розничной и оптовой торговли, оказание платных услуг населению прогнозирует стабилизацию и улучшение городской среды, а следовательно, и качества самой жизни, посредством, в том числе, темпов роста инвестиций, прибыли организаций, увеличения заработной платы.

Сфера услуг планирует двукратное увеличение туристического потока в Московскую область (табл. 3).

Таблица 3

Сфера услуг [3]

| 2020 | 2022 | 2036 (базовый) | 2036 (консервативный) |
|---|-----------------|-------------------|--------------------------|
| Индексы физического объема оборота розничной/оптовой торговли/оказания платных услуг населению (процент к предыдущему году) | | | |
| 100,0/108,8/84,9 | 86,0/79,2/103,0 | 104,4/105,9/103,7 | 102,05/105,2/103,2 |
| Туристический поток в Московскую область (тыс. чел.) | | | |
| 11480,0 | 16390,0 | 32517,2 | 30891,4 |

Рассмотрение территориального потенциала Московской области, анализ использования существующих объектов в долгосрочной перспективе являются залогом принятия верных решений, способствующих осуществлению заявленных стратегических целей и подтверждению прогнозируемых показателей. Таблица 4 указывает на рост таких показателей, как инвестиций, качества городской среды, заработной платы. Остается стабильным объем жилищного строительства.

Таблица 4

Качество жизни [3]

| 2020 | 2022 | 2036 (базовый) | 2036 (консервативный) |
|---|---------|----------------|-----------------------|
| Темп роста инвестиций (процент к предыдущему году) | | | |
| 90,9 | 105,1 | 105,5 | 105,0 |
| Объем жилищного строительства (процент к предыдущему году) | | | |
| 9040,3 | 14000,0 | 9000,0 | 8800,0 |
| Качество городской среды (процент) | | | |
| 3,0 | 11,0 | 44,0 | 44,0 |
| Финансы. Темп роста прибыли организаций (процент к предыдущему году) | | | |
| 115,9 | 108,5 | 110,2 | 108,1 |
| Темп роста реальной заработной платы трудоспособного населения (процент к предыдущему году) | | | |
| 101,8 | 94,7 | 103,1 | 102,6 |

Анализируя перспективы развития и возможные направления перейдем к следующему этапу, этапу изучения выбранных и необходимых нам показателей с учетом применения научных подходов.

Подходы к перспективам и возможным направлениям освоения территорий и тенденций развития объектов нежилого назначения Подмосковского региона

Для изучения показателей прогнозирования с целью создания и обеспечения условий развития указанных направлений применимы такие подходы как **макросоциологический и системный**.

Анализ прогнозирования служит в первую очередь интересам общества. Общество, как единый организм, состоит из элементов, выполняющих определенные функции, которые направлены на обеспечение его целостности и устойчивости.

Процессы в обществе также подлежат анализу. Посредством теорий конфликтного подхода и функционализма осуществляется макросоциологический подход к анализу общества.

Рассмотрение долгосрочного прогноза имеет под собой максимально прозрачную трактовку показателей, зависимостей показателей. Применение конфликтного подхода, ранее сформулированного Р. Дарендорфом, Л. Козером указывает на механизмы, выводящие общество из равновесия. Обзор данного подхода при изучении долгосрочного прогноза в рамках развития приоритетных направлений в части градостроительства и архитектурных объектов является максимально очевидным и характерным.

Рассмотрим наиболее применимые основные положения конфликтного подхода:

- **Любые ресурсы в обществе ограничены, следовательно, распределяются неравномерно.** В контексте исследования мы говорим о земельных участках, имеющих координаты, о населенных пунктах, имеющих установленные границы. Данный ресурс – константа.

- **Конфликты ведут к реорганизации общественного устройства.** Конфликт использования ресурса, в нашем случае «территории», на сегодняшний день свидетельствует о необходимости трансформаций и адаптивности.

Интересна и близка рассматриваемой теме теория Л. Козера о том, что благодаря конфликту система становится устойчивой, для этого конфликт надо направлять по нужному руслу, конфликт – естественное состояние общества. Рассмотрение самого конфликта как естественного процесса, принятие опережающих решений – залог прогрессивного развития.

Примером теории органической конфликтности может являться как любое чрезвычайное происшествие, будь то пожар, наводнение. Препятствием, способствующим проявлению конфликтности также может быть и долгосрочно образующиеся экономические, градостроительные, экологические нерешенные вопросы, требующие стратегических решений.

Рассмотрим пример. Важным характерным фактором современности была и остается экологическая и противопожарная безопасность. Однако возникновение пожаров большой площади не может остаться без внимания. Ведь огромные здания складов

и торговых центров прямо пропорциональны представляемым рабочим местам, а следовательно, влияют на долгосрочные прогнозы. Перед собственниками и арендаторами стоит острая задача максимально оперативного освоения территорий для долговременного стабильного и устойчивого предоставления рабочих мест и стимулирования бизнеса.

Суровая реальность вносит коррективы, которые не могут оставить без внимания застройщиков, представителей бизнеса. Возникновение пожаров объектов нежилого назначения (складов, торговых центров) на территории области не только наносит колоссальный ущерб застройщику, но и лишает рабочих мест население.

В качестве примера приведу данные «Комсомольской правды» о пожарах крупных нежилых объектов на 2020-2022 годы.

- 14 тысяч квадратных метров 02.02.2023 склад вторсырья Нахабино [6];
- 55 тысяч квадратных метров 03.08.2022 распределительный склад маркетплейса «Озон», г. Истра [6];
- 7 тысяч квадратных метров 09.12.2022 ТЦ «Мега Химки», г. Химки [6];
- 2 тысячи квадратных метров 29.06.2022 - ангар с шинами на Каширском шоссе [6];
- 55 тысяч квадратных метров 09.10.2017 – торговый центр «Синдика» на 65-м км МКАД [6];
- 1 тысяча квадратных метров 10.07.2017 года – торговый центр «РИО» на Дмитровском шоссе [6].

Обратимся к составляющей макросоциологического подхода – функционализму, который акцентируется на механизмах сохранения общества. То есть при наличии подобных вопросов необходимо создание некоего механизма для решения задачи.

Основные идеи функционализма были сформулированы Г. Спенсером, Э. Дюркгеймом, Т. Парсонсом, Р. Мертоном. Р. Мертон считает, что элементы социальной системы не обязательно выполняют позитивные для всей системы функции, т.е. они могут причинять системе вред. Кроме того, не все функции элементов системы очевидны. Таким образом, Р.Мертон ввел понятия дисфункций и скрытых (латентных) функций.

Адаптивность территорий, способность трансформируемости застройки, методы оперативной вности и трансформируемости,

характеристики (критерии, показатели, особенности) – это именно та скрытая функция, которая не всегда очевидна.

Адаптивность территорий, трансформируемость застройки, рефункционализация пространств могут быть одним из вариантов решения сложных задач, условия которых продиктованы событиями глобального характера.

Перейдем к рассмотрению системного подхода для выявления направлений освоения территорий и тенденций развития объектов нежилого назначения Московской области.

В части территориальной составляющей системный подход дает возможность исследования объекта по отношению к городу, округу, области. Еще в 1929 г. Х. Фрейер в качестве характерной функции современных технических наук назвал тенденцию к «систематике» и «взаимному прорастанию отдельных технических средств и методов с целью создания сплошной сети овладения природой». Этот системный аспект содержится также в тезисах Ф. фон Готтль-Оттлиенфельда о сплетении отдельных технических достижений в единое движение техники, о ряде непрерывности, о мутациях как взаимосвязи всех технических проблем и их «собственного существования», о выведении друг из друга и «филиации проблем», о единой системе постановки технических проблем и о методологическом единстве. «Необходимость системной интеграции специальных технических областей, – подчеркивает Х. Ленк, – отмечая склонность к обобщениям технологов, специалистов в области науки о планировании и экономистов, «в особенности, например, в сфере регионального планирования, где планирование строительства, инфраструктура, транспортные системы и т.д. должны быть взаимно согласованы, или в вопросах охраны окружающей среды, связанных с необходимостью системной экологической интеграции» [5].

Ключевой в рассмотрении является взаимосвязанность аспектов подхода, и включает в себя:

– системно-элементный анализ - анализ подсистем градостроительной системы, которую можно определить, как совокупность пространственно-организованных материальных элементов (территорий, зданий, сооружений) совместно с природной средой жизнедеятельности человека, включающих в себя компоненты и элементы, имеющие различное функциональное назначение:

аграрное, аграрно-производственное, сырьевое, ресурсное, производственное, коммуникационное, социальное.

- системно-структурный анализ раскрывает внутреннюю организацию системы, способ взаимодействия её компонентов. В градостроительных системах взаимодействие компонентов осуществляется через связи. Наличие связей в системе говорит о том, что подсистема, элемент, компонент работают не в полном режиме, но при этом имеют положительные результаты при работе всей системы в целом.

- системно-функциональный анализ показывает, какие функции выполняет система и образующие её элементы. Например, экономическая подсистема города, округа, области выполняет адаптирующие функции по отношению к изменяющимся параметрам внешней и внутренней среды.

- системно-коммуникационный анализ раскрывает взаимосвязь данной системы с другими, как по горизонтали, так и по вертикали. Градостроительные системы являются открытыми системами, и определение внешних связей необходимо для учёта факторов воздействия на систему.

- системно-интегрирующий анализ показывает механизмы, факторы сохранения, совершенствования и развития системы. Градостроительные системы относятся к числу саморегулирующихся, одной из основных целей которых является самосохранение.

- системно-исторический анализ отвечает на вопрос о том, как, каким образом возникла система, какие этапы в своём развитии проходила, каковы её исторические перспективы.

- системно-эстетический анализ раскрывает экологию культуры города, совершенно новый критерий оценки системы, когда культура города становится качественным показателем системы [5].

Одним из основных аспектов системного анализа сложных градостроительных систем, включающих в себя системные концепции развития территорий, является снижение действия фактора неопределённости путём прогнозирования и многовариантного долгосрочного планирования. С учетом принимаемых решений ведется разработка проектной документации, уточнение, а также внесение изменений в нормативно-правовые документы. Оптимизация принятия решений в части рефункционализации территорий, возможности трансформаций зданий в условиях рыночной экономики,

факторов, продиктованных временем, чрезвычайных ситуаций будут способствовать достижению показателей долгосрочного прогноза, стимулировать развитие экономики. Сам по себе процесс разработки документов территориального планирования является перманентным. В условиях увеличения темпов развития, активной работы над созданием искусственного интеллекта, непрерывность градостроительных изменений обязательна как на уровне разработки и утверждения градостроительных документов, так и на этапах освоения любого земельного участка, а также территориальной и функциональной зон. То есть от общего к частному. Анализируя и синтезируя современные методы использования территорий и строительства.

Рассматриваемый долгосрочный прогноз дает возможность определения наиболее важных целей и проблем функционального зонирования территорий Московской области, как целой системы для принятия оперативных и альтернативных решений, применения оптимальных процедур согласования, а также мероприятий и ресурсов для их осуществления.

Так, например, согласно статистике Мособлархитектуры от 26.01.2023 на долю обращений за услугой внесения изменений в правила землепользования и застройки с целью размещения объектов бизнеса, в том числе торговых и производственных приходится 60 % обращений. Прогнозируется увеличение таких обращений в два раза. Следовательно, вопрос о повышении темпов развития территории, её рефункционализации на сегодняшний день является более чем актуальным. Оперативное реагирование и вовлечение в процесс органов исполнительной власти с целью внесения изменений в нормативно-правовые акты, документы территориального планирования и градостроительного зонирования также способны увеличить показатели социально-экономического развития.

Вывод

Применение макросоциологического и системного подходов при исследовании долгосрочного прогноза социально-экономического развития Московской области в рамках изучения и прогнозирования мероприятий развития градостроительного сектора экономики обозначает основные направления и требования, необходимые для решения задач в том числе стратегического планирования, а именно в реализации национальных проектов.

Анализируя показатели долгосрочного прогноза, мы видим, что неизменным показателем в нем является **территория**, которая заключена в границы населенных пунктов, областей, территориальных и функциональных зон, а также ограничена различными зонами с особыми условиями возможного использования территорий и объектов.

Задачей стабильного развития является баланс использования территорий в условиях экономического роста с учетом увеличения производственной, в том числе промышленной, сельскохозяйственной, научно-технической базы, развития малого и среднего бизнеса, внешнеэкономического роста. То есть возможность рефункционализации территорий, адаптивность и способность к трансформации зданий и сооружений, расположенных на территориях, являются тем механизмом, способным задать новый вектор развитию (рис. 1).

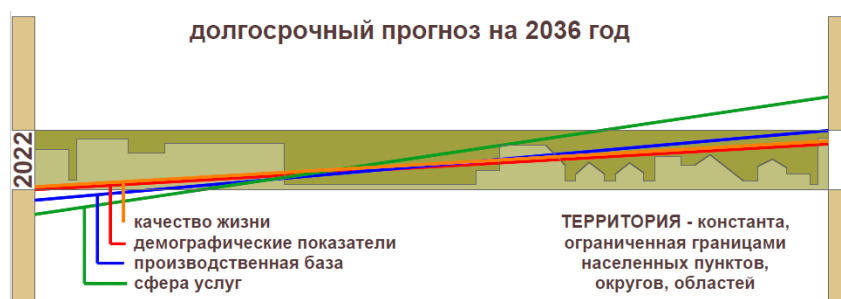


Рис. 1. Анализ показателей долгосрочного прогноза

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 8 ноября 2021 г. N 633 «Об утверждении Основ государственной политики в сфере стратегического планирования в Российской Федерации».
2. Федеральный закон от 28 декабря 2010 г. N 390-ФЗ «О безопасности» и от 28 июня 2014 г. N 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации».
3. Постановление правительства Московской области от 26.12.2022 № 1444/47 «Об утверждении прогноза социально-экономического развития Московской области на долгосрочный период до 2036 года».

4. Национальные проекты: «Безопасные качественные дороги», «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы», «Производительность труда», «Международная кооперация и экспорт», «Экология», «Туризм и индустрия гостеприимства».

5. Ленк Х. Размышления о современной технике. М. : Аспект Пресс, 1996. – С. 55–56.

6. <https://www.msk.kp.ru/daily/27482.5/4690238/>.

Makunina Iuliia

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. Forecasting of socio-economic development serves not only to objectively state the actual state of indicators, but also assesses the strengths and weaknesses of the prospective development of the Moscow region in such areas as services, manufacturing, science, quality of life. The improvement of these indicators directly affects such an indicator as demography, and may be its stimulating factor.

The designation of the vector of development, the search for optimal solutions using macrosociological and systemic approaches determines the possible ways of development of territories and objects.

The conducted analysis makes it possible to determine the most important goals and problems of the functioning of the Moscow region as a whole system for making possible alternative solutions, applying procedures for coordinating goals, activities and resources to select optimal options.

Keywords: long-term forecast, strategic planning, refunctionalization, transformability, adaptability (responsibility), macrosociological approach, systemic approach

ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ МАЛЫХ ГОРОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Грибков А.А., аспирант

*Департамент архитектуры, инженерная академия,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия;
ландшафтный архитектор-градостроитель 2 категории
ООО «Стройпроект», Москва, Россия
gribkov.aleksei96@yandex.ru*

Аннотация. В настоящей статье представлен материал о предлагаемом принципе комплексного развития архитектурной среды малых городов Центральной России. Разработка вышеописанного принципа осуществляется через предлагаемые мероприятия и инструмент практической реализации развития архитектурной среды муниципальных образований Центрального федерального округа Российской Федерации, численность которых не превышает 50 тыс. человек.

Полученные результаты анализа предпосылок возникновения рассматриваемого принципа и теоретического обоснования представляют интерес в архитектурно-градостроительном сообществе. Комплексное развитие архитектурной среды – перспектива ее комфорта.

Ключевые слова: принцип комплексного развития, архитектурные объекты, архитектурная среда, малые города, Центральная Россия, фронт улицы, красные линии, круг Иттена, жилая зона, общественно-деловая зона, зона транспортной инфраструктуры, этажность зданий, проекты планировки территорий

Введение

На сегодняшний день формированием комфортной архитектурной среды занимаются специалисты различных направлений, Градостроители и урбанисты формируют фронт улицы, архитекторы, реставраторы разрабатывают различные объекты по функционалу, планировке, стилю и т.д., интегрируя их в существующую архитектурную среду.

Немаловажной составляющей для создания комфортной архитектурной среды является комплексное развитие архитектурной среды и архитектурных объектов в частности в границах муниципальных образований России [2].

Целью настоящей статьи является выявление предпосылок, теоретическое обоснование и разработка принципа комплексного развития архитектурной среды в виде гипотетической модели.

Объект исследования – развитие архитектурной среды.

Предмет исследования – процесс комплексного развития архитектурной среды.

Предпосылки возникновения принципа комплексного развития архитектурной среды в малых городах Центральной России

Комфорт в сельском или городском поселениях для населения был всегда безусловно важен и считался приоритетным направлением для дальнейших исследований. Вопрос формирования комфортной архитектурной среды на сегодняшний день остается открытым. Многие исследователи рассматривают определенный ряд вопросов в части анализа влияния архитектуры на психоэмоциональное состояние человека, его настроение, поведение [6, 7].

В.А. Филин – родоначальник научного термина «автоматия саккад». Автоматия саккад – это свойство глазодвигательного аппарата человека совершать быстрые движения глаз непроизвольно в определенном ритме в бодрствующем состоянии при наличии и отсутствии зрительных объектов и во время парадоксальной стадии сна [4].

Принцип автоматии саккад заключается в привлечении внимания наблюдающего в черте архитектурной среды и фиксации его внимания на различных архитектурных объектах, элементах, вызывающих положительное эмоции или негативное психоэмоциональное состояние у наблюдающего. Проще говоря, параметры автоматии саккад модулируются конкретной ситуацией.

Теоретическое обоснование принципа комплексного развития архитектурной среды малых городов Центральной России

Опираясь на рассмотренные предпосылки создания принципа комплексного развития архитектурной среды малых городов Центральной России, автором настоящего исследования предлагаются:

1. Определение ряда мероприятий формирования комфортной архитектурной среды;
2. Формирование инструмента практической реализации комплексного развития архитектурной среды;
3. Разработка принципа комплексного развития архитектурной среды.

Таблица 1

**Предлагаемая система приемов и методов комплексного развития
архитектурной среды малых городов Центральной России
через инструменты соответствующей документации
и контролирующих органов**

| № | Предлагае- мый прием | Предлагае- мый метод | Необходи- мые меро- приятия | Контроли- рующий орган власти | Номер схе- матического отображе- ния метода |
|---|--|---|---|--------------------------------------|---|
| 1 | Градострои- тельные осо- бенности формирова- ния фронта улицы | Расположе- ние в грани- цах линий градострои- тельного ре- гулирования | Подготовка документа- ции по пла- нировке тер- ритории (ПМТ, ППТ) | Органы исполнитель- ной власти | Рисунок 1 |
| | | Соблюдение функцио- нального баланса в контексте элемента планировоч- ной струк- туры | Подготовка документа- ции террито- риального планирова- ния и градо- строитель- ного зониро- вания (гене- ральный план МО, СТП, ПЗЗ) | | Рисунок 2 |
| 2 | Развитие мобильной инфраструк- туры | Территори- ально-плани- ровочный метод | Подготовка документа- ции по пла- нировке тер- ритории (ПМТ, ППТ), документов ПД, ПСД, РД | | Рисунок 3 |
| | | Функцио- нальный метод | | | Рисунок 4 |
| | | Технологи- ческий метод | | | Рисунок 5 |

| № | Предлагаемый прием | Предлагаемый метод | Необходимые мероприятия | Контролирующий орган власти | Номер схематичного отображения метода |
|---|--|--|---|------------------------------|---------------------------------------|
| 3 | Архитектурные особенности видоизменения объектов | Соблюдение уровня этажности жилых объектов | Подготовка документации по планировке территории (ПМТ, ППТ), документов ПД, ПСД, РД | Органы исполнительной власти | Рисунок 6 |
| | | Соблюдение колористического баланса фасадных решений | Подготовка документов АГР ПД, ПСД, РД | | Рисунок 7 |

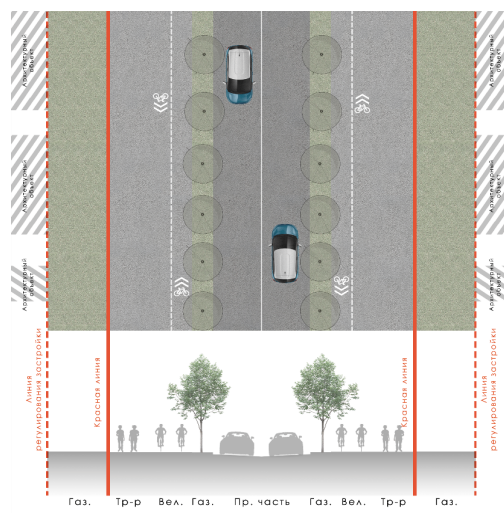


Рис. 1. Градостроительные особенности формирования фронта улицы. Расположение в границах линий градостроительного регулирования [5]

Автором настоящей статьи предлагается разделение методов развития архитектурной среды на градостроительные и архитектурные особенности.

На рисунке 1 представлен один из приемов в рамках градостроительных особенностей. Первоначальная задача создания грамотной и комфортной среды – формирование фронта застройки улиц. Для этого необходимо внесение изменений нормативно-правовой базы в части установления красных линий, порядка подготовки актов красных линий в составе утверждаемой части подготовки документации по планировке территории.



Рис. 2. Градостроительные особенности формирования фронта улицы. Соблюдение функционального баланса в контексте элемента планировочной структуры. Разработка автора настоящей статьи

На рисунке 2 представлен второй прием в рамках градостроительных особенностей. Необходима перепланировка планировочных структур архитектурной среды. Предлагается отделение жилой зоны (размещение жилых зданий, прилегающих объектов инфраструктуры – игровые площадки, воркаут, для выгула собак и т.д.), общественно-деловой зоны (сосредоточение социальной функции: торговля, образование, аптечные пункты, пункты выдачи товаров и т.д.), зоны рекреационного назначения (парки, скверы, аллеи и т.д.)

и зоны транспортной инфраструктуры (размещение в сопряжении с основными магистралями города с целью максимального исключения движения общественного транспорта в жилой зоне).

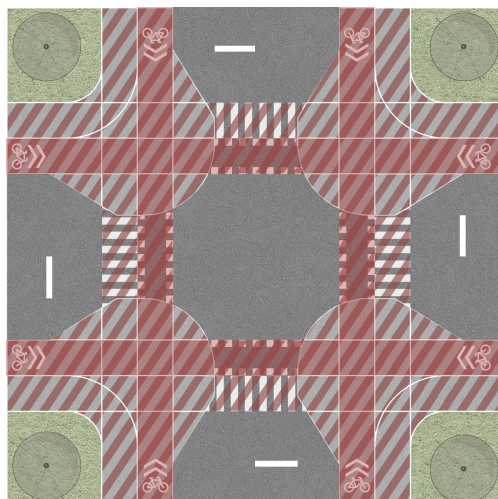


Рис. 3. Градостроительные особенности формирования фронта улицы. Развитие мобильной инфраструктуры. Территориально-планировочный метод [3]

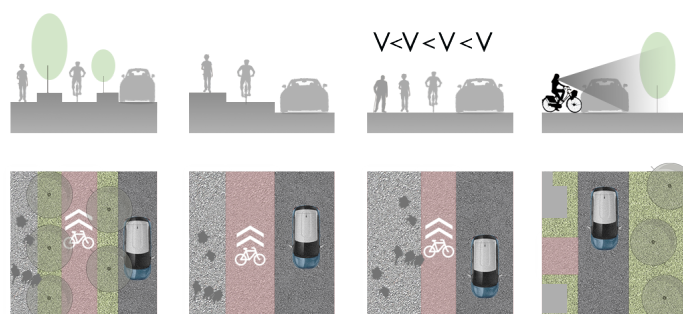


Рис. 4. Градостроительные особенности формирования фронта улицы. Развитие мобильной инфраструктуры. Функциональный метод [3]

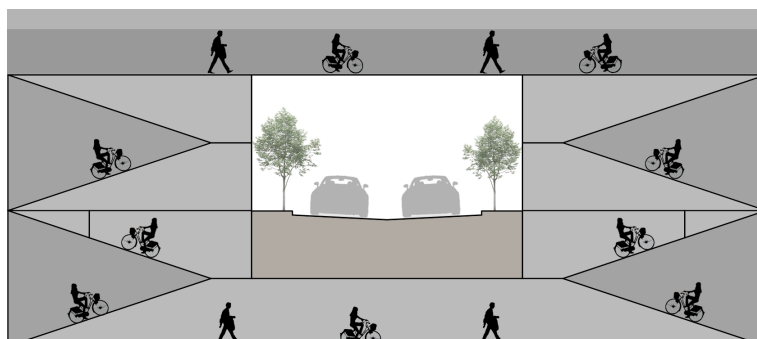


Рис. 5. Градостроительные особенности формирования фронта улицы. Развитие мобильной инфраструктуры. Технологический метод [3]

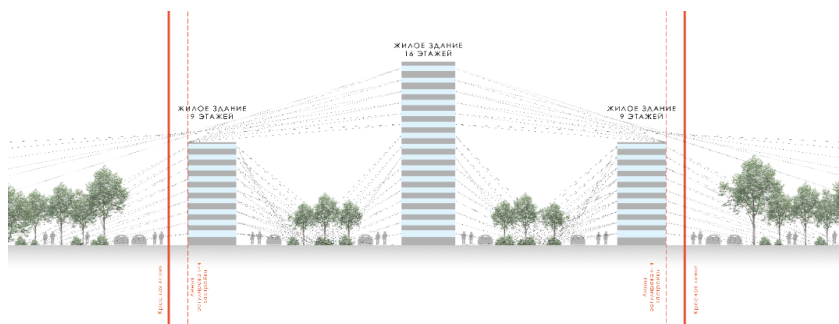


Рис. 6. Архитектурные особенности видоизменения объектов. Соблюдение уровня этажности жилых объектов. Разработка автора настоящей статьи



**Рис. 7. Архитектурные особенности видоизменения объектов.
Соблюдение колористического баланса фасадных решений.
Разработка автора настоящей статьи**

На рисунках 6, 7 представлены приемы в рамках архитектурных особенностей видоизменения архитектурных объектов. Необходимо установление градостроительных регламентов по этажности и колористике при разработке проектов многофункциональных комплексов в целях создания гармонии единства среды.

Разработка гипотетической модели принципа комплексного развития архитектурной среды в рамках формирования комфортной архитектурной среды

На основе изученных предпосылок и теоретически обоснованного принципа комплексного развития архитектурной среды автором настоящего исследования разработана гипотетическая модель принципа.

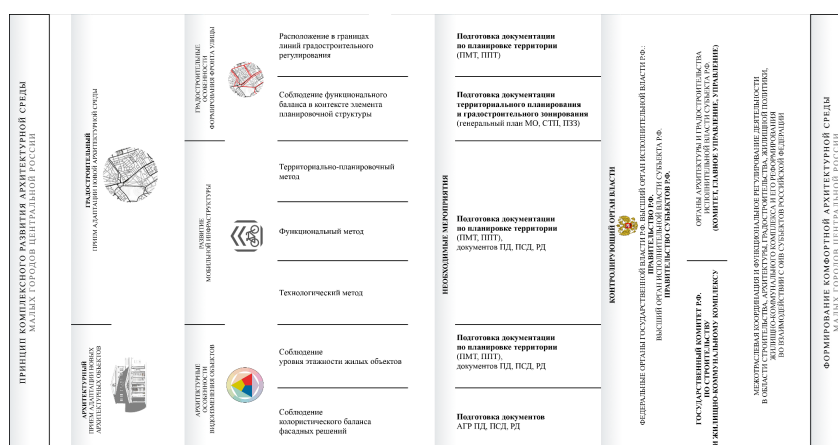


Рис. 8. Гипотетическая модель принципа комплексного развития архитектурной среды. Градостроительные и архитектурные особенности разработки принципа с помощью контролирующего аппарата государственной власти.
Разработка автора настоящей статьи

Заключение

Автором настоящего исследования выявлены предпосылки, теоретически обоснован принцип комплексного развития архитектурной среды.

В материале представлены результаты в виде гипотетической модели вышеописанного принципа через градостроительные особенности формирования фронта улицы архитектурной среды и архитектурные особенности видоизменения архитектурных объектов.

Полученные результаты настоящего исследования представляют интерес в архитектурно-градостроительном сообществе.

Комплексное развитие архитектурной среды, включающее архитектурные объекты – перспектива комфорта городской среды.

Для реализации вышеописанных решений о комплексном развитии архитектурной среды требуется внесение изменений в срок не позднее, чем за 90 дней со дня утверждения проектов планировки территорий [1].

Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ // СЗ РФ. – 2004. – Ст. 24.
2. *Татарченко А.В.* Средовой подход в архитектуре: от теории к реализации//Современные наукоемкие технологии, № 9, 2018, с. 115–119.
3. *Цокур А.В., Денисенко Е.В.* Принципы поэтапного внедрения велосипедной инфраструктуры в городскую среду // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета, № 4(42), 2017, с. 117–128.
4. *Филин В.А.* Концепция об автоматии саккад // Успехи физиологических наук, Том 39, № 2, 2008, с. 77–96.
5. *Кириенко Ю.П.* Красные линии градостроительного регулирования – ситуация сегодня // Инновации и инвестиции, № 11, 2022, с. 306–308.
6. Градостроительная политика : официальный сайт: – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://stroim.mos.ru/gradostroitel'naya-politika> (дата обращения: 10.02.2023).
7. Стандарт комплексного развития территорий : официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.xn--d1aqf.xn--p1ai/urban/standards/printsipy-kompleksnogo-razvitiya-territoriy/> (дата обращения: 15.02.2023).

THE PRINCIPLE OF INTEGRATED DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT SMALL TOWNS OF CENTRAL RUSSIA

Gribkov A.A., PhD student

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia;*

*Landscape architect-city planner, 2nd category, Stroyproekt Ltd,
gribkov.aleksei96@yandex.ru*

Abstract. This article presents material on the proposed principle of integrated development of the architectural environment of small towns in Central Russia. The development of the above principle is carried out through the proposed activities and tool for practical implementation of the development of the architectural environment of municipalities in the Central Federal District of the Russian Federation, the number of which does not exceed 50 thousand people.

The results of the analysis of the prerequisites for the emergence of the considered principle and theoretical justification are of interest to the architectural and urban planning community. Integrated development of the architectural environment - the prospect of its comfort.

Keywords: The principle of integrated development, architectural objects, architectural environment, small towns, Central Russia, street frontage, red lines, Itten circle, residential area, public and business area, transport infrastructure zone, the number of floors of buildings, territory planning projects.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ

Виар Н., студент

*Султанова А. *, магистр архитектуры, ст. преподаватель*

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**sultanovs36@mail.ru*

Аннотация. Современные тенденции в проектировании многоэтажных зданий нацелены на сокращение углеродного следа и перехода на экологические материалы. Древесина стала потенциальным решением, поскольку является возобновляемым строительным материалом, легче возводится и утилизируется. Целью исследования является выявление архитектурных особенностей и определение перспектив в проектировании многоэтажных жилых зданий с использованием древесины. Проведен сравнительный анализ проектов существующих деревянных многоэтажных зданий. Достижения в области инженерных изделий из древесины, таких как поперечно-слоистая древесина (CLT), улучшили структурную стабильность и огнестойкость деревянных конструкций, сделав их более безопасными и конкурентоспособными по сравнению с традиционными строительными материалами, такими как бетон и сталь.

Ключевые слова: древесина, экология, деревянные многоэтажные здания, архитектура многоэтажных деревянных зданий, деревянные здания и сооружения, деревянные конструкции, поперечно-слоистая древесина.

Введение

Высотное деревянное строительство является быстрорастущей тенденцией в строительной отрасли благодаря своему устойчивому и экологически чистому характеру. Первые деревянные дома в истории человечества появились в десятом тысячелетии до нашей эры. В России основой деревянного зодчества является бревенча-

тый сруб. В бронзовом веке срубы были также знакомы народам Восточной и Северной Европы. Распространение хвойного леса способствовало развитию срубной технологии строительства [1].

Крупные деревянные сооружения появляются и в период ранней античности. Прежде всего, это храмы и общественные здания. Примером такого сооружения является храм Аполлона, который не сохранился до наших дней. Храм Аполлона в Термосе, датируемый примерно 640-630 г. до н.э. Нижняя часть стен была сделана из камня и служила цоколем для необработанной кладки. Колонны, перекрытие и крыша были деревянными, кровля была покрыта черепицей. Антаблемент тоже был деревянным. Впоследствии характерные черты деревянных храмов перенеслись на архитектуру каменных сооружений древних греков.

Подавляющее большинство зданий в древнем Китае и Японии были построены из дерева. Это было связано с большим количеством лесов в регионе, климатическими особенностями и высокой вероятностью стихийных бедствий (например, землетрясений в Японии), при которых деревянные конструкции хорошо зарекомендовали себя. Как в Китае, так и в Японии здания строились с использованием речечно-балочной системы и предполагали разделение на несущую и заполняющую части [2].

В конце XIX – начале XX века начинается новый этап развития деревянной архитектуры. Этот период отличается стремлением искусственно улучшить конструктивные свойства природного материала. На новом этапе оригинальный материал из натурального дерева был усовершенствован для решения современных архитектурных и конструктивных задач. Это приводит к появлению новых строительных материалов из дерева: клееная древесина, OSB, древесностружечная плита, брус LVL, поперечно-клееный брус (CLT) и т.д.

Благодаря достижениям в области инженерных изделий из древесины, таких как поперечно-слоистая древесина (CLT) и клееный брус (Glulam), появилась возможность проектировать многоэтажные здания, используя древесину в качестве основного конструктивного материала. Однако пожарная безопасность остается главной проблемой, поскольку древесина является горючим материалом. Для решения этого вопроса были разработаны и внедрены различные методы усиления пожарной безопасности, такие как, например, современные системы пожаротушения, разделение огня на отсеки, огнестойкие отделочные материалы т.д.

Цель исследования – выявить архитектурные особенности и определить перспективы в проектировании многоэтажных жилых зданий с использованием древесины.

В статье проведен обзор современной литературы по использованию древесины в проектировании и строительстве многоэтажных зданий. Источники информации включают рецензируемые журналы, книги и онлайн-ресурсы. В результате сравнительного анализа архитектурных проектов многоэтажных зданий с использованием древесины выявлены особенности и современные тенденции в проектировании многоэтажных зданий из древесины.

Строительство девятиэтажного деревянного дома Stadthaus в Лондоне в 2009 году ознаменовало начало современного этапа развития архитектуры многоэтажных деревянных зданий. Несущая конструкция здания Stadthaus в Лондоне была возведена из панелей CLT за 27 дней. В строительстве участвовали 4 рабочих, не привлекая башенный кран. На строительство всего здания ушло 49 недель. Было подсчитано, что на возведение аналогичного железобетонного здания потребуется 72 недели. Общая стоимость строительства здания снижается за счет скорости строительства, снижения затрат на подъемные транспортные средства, трудозатраты рабочих, устройства фундамента и т.д.

Панель CLT является основным строительным материалом большинства многоэтажных деревянных зданий. Плита состоит из досок (ламелей), сложенных перпендикулярно друг другу, склеенных под высоким давлением. CLT чаще всего изготавливается из ели, но также используются и другие виды хвойных пород, например, сосна, лиственница и пихта¹⁰. Ламели приклеиваются к доске с использованием полиуретановых клеев, не содержащих формальдегида, или меламиновых клеевых систем с классом эмиссии E1 (содержание формальдегида ниже естественного фона). Он был изобретен в Германии и использовался в немецких кровельных системах в середине 1970-х годов, запатентован как строительный материал во Франции в 1985 году, а коммерческое производство началось в середине 1990-х годов. Первые здания из этого материала были построены в Швейцарии (1993), Германии (1995) и Австрии (1998).

Строительству зданий высотой в девять и более этажей предшествовала сложная исследовательская работа по оценке возможностей такого строительства. В настоящее время основными

центрами по изучению возможностей использования современных материалов на основе древесины в многоэтажном деревянном строительстве являются: Технический университет Граца (Австрия), где исследования массивных деревянных панелей проводятся с 1990 года; Университет штата Орегон; Университет Британской Колумбии; а также компании, производящие материалы на основе древесины: Structurlam, Structurecraft, Westernarchrib и др. После официального утверждения CLT в качестве строительного материала в Австрии в 1998 году, в 1999 году в Граце на базе Технического университета был открыт центр строительных технологий, где панели, склеенные крест-накрест, были протестированы в качестве несущих конструктивных элементов. Согласно результатам этих испытаний, использование этого материала было также одобрено в Германии в 2000 г. [3]. С тех пор панели CLT вышли на рынок строительных материалов, где они стремительно набирают популярность, а в 2005 году их активно использовали при строительстве олимпийских объектов в Турине (Италия). Объем производства CLT в Европе в 2016 году составил 670 тыс. м³ (в 2008 году этот показатель составлял 215 тыс. м³). С момента строительства здания Stadthaus по всему миру строится все больше многоэтажных деревянных зданий, высота которых превышает 10 этажей.

В результате сравнительного анализа были выявлены архитектурные особенности в проектировании многоэтажных деревянных зданий:

- *интерьеры без колонн*: изделия из искусственной древесины, такие как CLT и Glulam, достаточно прочны, чтобы поддерживать интерьеры без колонн, предоставляя архитекторам больше свободы в организации пространства;

- *большие окна*: в высотных деревянных зданиях часто установлены большие окна, через которые проникает естественный свет и открываются потрясающие виды;

- *сейсмостойкие конструкции*: конструкции, используемые в высотных деревянных зданиях обеспечивают стабильность и устойчивость к землетрясениям и ветру;

- *эстетические свойства*: распространены в высотных деревянных конструкциях, которые максимально используют легкость и воздушность дерева и создают ощущение простора [4].

Проектирование многоэтажных зданий из древесины имеет ряд ограничений и проблем в области пожарной безопасности из-за горючести древесины и повышенного риска распространения огня в высотных зданиях. Для уменьшения рисков были разработаны следующие методы защиты от пожаров:

- *соблюдение строительных норм*: первой линией защиты от пожара в высотных деревянных зданиях является соблюдение строительных норм, определяющих минимальные требования пожарной безопасности к строительным материалам, расстояниям разделения огня и системам пожаротушения;

- *огнезащитный состав и огнестойкость*: для повышения огнестойкости высотных деревянных зданий можно использовать огнезащитные и огнестойкие материалы, например, гипсокартон используют в качестве огнезащитного материала для покрытия деревянной конструкции, а также можно использовать огнеупорное стекло в окнах;

- *пожарная сигнализация и системы обнаружения*: надежная пожарная сигнализация и система обнаружения имеют решающее значение для раннего обнаружения пожаров в высотных деревянных зданиях. Детекторы дыма, тепловые датчики и станции ручной пожарной сигнализации могут быть установлены по всему зданию, чтобы предупредить жильцов и инициировать план реагирования на пожар в здании.

- *системы пожаротушения*: системы пожаротушения эффективны при контроле и тушении пожаров в высотных деревянных зданиях. Разбрызгиватели могут приводиться в действие датчиками тепла или дыма или вручную жильцами или пожарными.

- *пожаробезопасные лифты*: лифты играют решающую роль в эвакуации высотных деревянных зданий во время пожара. Пожаробезопасные лифты сконструированы таким образом, чтобы оставаться работоспособными во время пожара, позволяя жильцам безопасно эвакуироваться из здания.

- *противопожарное разделение и отсекаемость*: противопожарное разделение и отсекаемость имеют решающее значение для ограничения распространения огня в высотных деревянных зданиях. Стены и потолки могут быть сконструированы таким образом, чтобы обеспечить огнестойкость, а противопожарные двери могут быть установлены для разделения противопожарных отсеков.

– *пожарные лестницы*: пожарные лестницы обеспечивают безопасный и защищенный путь для эвакуации жильцов из здания во время пожара. Пожарные лестницы отделены от остальной части здания огнестойкими стенами и дверьми, оборудованы пожарной сигнализацией и освещением.

– *аварийное освещение*: аварийное освещение необходимо для безопасной эвакуации жильцов из здания во время пожара. Аварийное освещение питается от резервного источника питания и предназначено для поддержания работоспособности во время отключения электроэнергии.

– *огнестойкая облицовка*: облицовка также может быть изготовлена из огнестойких материалов, чтобы предотвратить распространение огня по внешней стороне здания [5].

Утилизация деревянных многоэтажных зданий является сложной задачей, по причине больших размеров и веса конструкций. Однако существует несколько вариантов утилизации деревянных зданий:

1. *Вторичная переработка*: Древесину можно перерабатывать и использовать в качестве сырья для новых строительных проектов или для создания таких продуктов, как щепа или мульча.

2. *Снос*: Деревянные здания могут быть снесены, а пригодные для использования материалы, такие как двери и окна, сохранены и использованы повторно.

3. *Деконструкция*: Деконструкция включает в себя тщательный демонтаж здания, для сохранения материалов для повторного использования. Этот процесс часто более экологичен, чем снос, поскольку приводит к меньшему количеству отходов и выбросов.

4. *Повторное использование*: Деревянные здания также можно использовать повторно, перепрофилировав их для новых целей [6].

В заключение следует отметить, что популярность проектов многоэтажных деревянных зданий вновь возросла в рамках программы устойчивого развития. Древесина стала популярным выбором для высотного строительства.

В то время как использование древесины для проектов многоэтажных зданий когда-то считалось новой и экспериментальной концепцией, современные достижения в области технологий и методов строительства сделали ее более жизнеспособным вариантом.

Достижения в области инженерных изделий из древесины, таких как поперечно-слоистая древесина (CLT), улучшили структурную стабильность и огнестойкость деревянных конструкций, сделав их более безопасными и конкурентоспособными по сравнению с традиционными строительными материалами, такими как бетон и сталь.

Однако, несмотря на эти достижения, по-прежнему существуют проблемы, связанные с высотным деревянным строительством. Одной из главных проблем является пожарная безопасность, и по мере того, как деревянные здания становятся выше, риск возникновения пожара возрастает. Необходимо тщательно учитывать нормы пожарной безопасности и строительные нормы и правила, чтобы гарантировать безопасность зданий для их обитателей.

Несмотря на эти проблемы, потенциальные преимущества высотного деревянного строительства слишком велики, чтобы их игнорировать. Древесина является возобновляемым и устойчивым ресурсом, что делает ее более экологичным вариантом, чем традиционные строительные материалы. Кроме того, она легче бетона и стали, что делает ее более эффективным и экономичным вариантом для высотного строительства.

Высотное деревянное строительство – это многообещающая альтернатива традиционным строительным материалам. По мере дальнейшего совершенствования технологий и методов строительства вполне вероятно, что деревянные конструкции будут играть все более важную роль в строительстве высотных зданий. С развитием технологий и разработкой изделий из искусственной древесины становится возможным строить более высокие и прочные здания с использованием древесины. Однако по-прежнему существует необходимость в дальнейших исследованиях, чтобы в полной мере реализовать потенциал древесины в высотном строительстве.

Список литературы

1. *Ушаков Ю.С.* Народное деревянное зодчество // История русской архитектуры. – М.: Архитектура-С, 2007.
2. *Халпахчьян О.Х.* Всеобщая история архитектуры. Том 1: Архитектура древнего мира / под редакцией О. Х. Халпахчьяна (ответственный редактор), Е. Д. Квитницкой, В. В. Павлова, А. М. Прибытковой. – Второе издание, исправленное и дополненное. – М., 1970. – 512 с.

3. *Афонин В.С.* Этапы формирования мирового многоэтажного деревянного строительства // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2018. – № 2(43). – С. 41-61 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/2kvart18/03_afonin/index.php.

4. *Lilly Cao*. Could Tall Wood Construction Be the Future of High-Rise Buildings? // *ArchDaily*. 15 Jun 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/924341/could-tall-wood-construction-be-the-future-of-high-rise-buildings>.

5. *Green M., Taggart J.* Tall Wood Buildings: Design, Construction and Performance. – Birkhäuser 1st edition (March 9, 2020). – 200 p.

6. *Jodidio P.* Wood Architecture Now! – TASCHEN: Multilingual edition (April 1, 2011) – 416 p.

MODERN TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF MULTISTORY WOODEN BUILDINGS

Viar N., student

*Sultanova A. *, Master of Architecture, Senior Lecturer*

Department of Architecture, Academy of Engineering,

RUDN University, Moscow, Russia

**sultanovs36@mail.ru*

Abstract. Modern trends in the design of multi-storey buildings are aimed at reducing the carbon footprint and the transition to environmentally friendly materials. Wood has become a potential solution as it is a renewable building material and is easier to build and recycle. The purpose of the study is to identify architectural features and determine the prospects for the design of multi-storey residential buildings using wood. A comparative analysis of the projects of existing wooden multi-storey buildings was carried out. Advances in engineered wood products such as cross-laminated timber (CLT) have improved the structural stability and fire resistance of wood structures, making them safer and more competitive than traditional building materials such as concrete and steel.

Keywords: wood, ecology, wooden multi-storey buildings, architecture of multi-storey wooden buildings, wooden buildings and structures, wooden structures, cross-laminated wood.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ГРАЖДАНСКОЕ УЧАСТИЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АРХИТЕКТУРНОЕ ЖИЛЬЕ В ПРОЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ В СИРИИ ПОСЛЕ ВОЙНЫ

Али Али, аспирант

*Российский университет дружбы народов, Россия, Москва
ali.yahia.ali9@gmail.com*

Аннотация. Большую часть исследований по теме устойчивой архитектуры отличает сосредоточенность на экологических аспектах, с чего и начинается идея статьи, заключающаяся в том, что социальная составляющая устойчивой архитектуры недостаточно изучена в исследованиях, особенно в период реконструкция после войн и стихийных бедствий, несмотря на ее важность, которая фокусируется на населении и на его участии в формировании и проектировании окружающей среды.

В свете этого цель исследования определяется путем изучения способов активизации социального измерения устойчивой архитектуры, в основном за счет участия жителей в соответствующем проектировании для каждого региона.

Для этого была разработана теоретическая основа социального измерения устойчивой архитектуры и ее компонентов, а также гражданского участия и его методологий в проектах реконструкции.

Затем проанализируйте ряд международных опытов в этой области и получите некоторые результаты, совместимые с местными условиями в Сирии.

Ключевые слова: архитектурный дизайн – реконструкция – устойчивость – социальная составляющая – гражданское участие

Введение

Мир свидетельствует о наборе растущих изменений день за днем, от культурной и экономической открытости, связанной с глобализацией, информационной и коммуникационной революцией и полученными потребительскими моделями, с помощью которых ценность человека и его роли снизились, особенно в полевых условиях архитектуры и урбанизма, а также с этими изменениями и идти в ногу с растущими, изменяющимися и будущими потребностями

обществ в свете кризисов и бедствий, естественных и человеческих, охватывающих мир, необходимость внедрения устойчивой модели для архитектурной и архитектурной и Процесс городского дизайна увеличивается с человеком и партией в нем, «потому что города и жизнь, которые происходят внутри них, представляют собой ключ к достижению устойчивого развития»

Отсюда возникают многие проблемы, стоящие перед нашими городами и жилыми массивами на архитектурно-градостроительном уровне, и для того, чтобы противостоять этим вызовам и обеспечить устойчивый прогресс в будущем и улучшить экологические, экономические и социальные условия в жилых микрорайонах, мы должны сначала начать с признавая эти проблемы и вызовы, особенно в незаконных жилых массивах, которые представляют собой самую большую проблему на всех уровнях, а также в рамках задач реконструкции жилых массивов, подвергшихся стихийным бедствиям и войнам, в которых жители могут внести значительный вклад в поиск экологически, экономически и социально устойчивые решения для них, особенно с учетом того, что большое количество единиц жилья в мире строится и проектируется местными жителями без помощи архитекторов или планировщиков или даже местных и национальных властей, это означает, что это население все чаще становятся строителями и дизайнерами.

Настоящие жители своих городов, они решают свои жилищные проблемы через эти сообщества, построенные с использованием местных технологий и усилий, поскольку они гибки в удовлетворении своих потребностей и требований.

Это подчеркивает эффективную роль энергии и усилий населения, которые могут многое сделать, если их правильно сформулировать и направить.

Цель

– Изучение социального измерения как неотъемлемой части концепции устойчивой архитектуры и выявление ее различных компонентов.

– Выявление технологий гражданского участия и методологий, разработанных архитекторами и градостроителями для облегчения процесса вовлечения населения и активизации роли гражданского общества и местной власти, за счет качественного развития,

достигнутого этим процессом в обновленных жилых комплексах, или в работа с незаконными и случайными жилищными комплексами, или в реконструкции и восстановлении жилых массивов, подвергшихся стихийным бедствиям или после войны.

– Определение факторов, влияющих на применение метода гражданского участия или возможности его активизации на местах.

– Изучение влияния гражданского участия на архитектурное и городское проектирование и формирование.

Материалы и методы

Будет рассмотрена группа экспериментов из разных регионов мира, каждый из которых использует одну из методологий и политик гражданского участия, с целью пролить свет на этот опыт и места его успехов и неудач, а также выяснить метод, который наиболее способен достичь наилучших результатов, а также узнать влияние.

Процесс участия в архитектурном и городском проектировании и формировании, который отличается от одного опыта к другому.

Эти эксперименты варьируются от направленности на решение проблем с нестандартными территориями, строительство новых жилых массивов или сохранение жилых массивов археологического и исторического характера, а также различаются пространственный, социальный и культурный контекст этих экспериментов.

1. Опыт города Гольчук в Турции, 1999 г.:

Проект реконструкции одного из районов города, пострадавшего от землетрясения в 1999 году, финансируется Всемирным банком.

Проект направлен на строительство постоянного жилья и оказание психологической поддержки пострадавшим от землетрясения.

В начале Всемирный банк, который является финансистом, подчеркнул важность участия всех сегментов местного сообщества, затронутых проектом, и сотрудничества между правительствами, неправительственными организациями и местным сообществом, начиная с первого этапа. Поэтому было проведено социально-экономическое и демографическое обследование региона, а также проведены интервью с центральными и местными органами власти,

проектировщиками, архитекторами и жителями пострадавших от землетрясения городов для определения их потребностей и чаяний.

Однако из-за нехватки времени или средств и отсутствия надлежащего планирования эта стратегия не была соблюдена. Участие жителей вышло за рамки символического участия, так как многие замечания жителей о проекте не были учтены, что привело к несоответствующим культуре региона проектам, таким как оформление туалетов в западном стиле, и малым размерам жилища 88–75 квадратных метров, что не соответствует большому размеру семьи, особенно после демографических изменений, произошедших после землетрясения.

2. Опыт города Касселя в Германии 1981 г.:

Архитектор Йоханнес Оливегрэн спроектировал гибкую модель жилья, состоящую из основного, нерегулируемого блока и набора дополнительных элементов (комната, терраса, парковка, цокольный этаж) в соответствии с желанием жильцов и экономическим потенциалом, затем провел мастер-класс по жителям, через которых им объяснили проект, где он Житель - это процесс выбора этих элементов и добавления их к базовому проекту для создания своей собственной единицы жилья, и каждый из этих добавленных элементов имеет дополнительную материальную ценность.

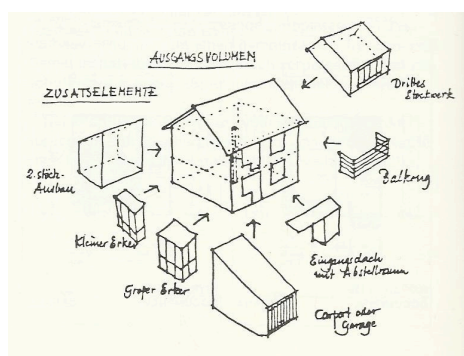


Рис. 1. Блок жилой модели Johannes olivegren, Wohnen in Kasse, Donche-schone aussicht, Kassel, Germany, 1981, (pp: 20-21).

Влияние процесса участия на архитектурный дизайн и формирование проявляется по трем осям:

Функциональные отношения: Добавление архитектурного элемента (комнаты или балкона) влияет на пространство и функциональные отношения в пределах одного этажа, т. е. на горизонтальном уровне. Добавление всего этажа (цокольного этажа) влияет на пространство и функциональные отношения между разными уровнями и элементами вертикального перехода.

- Объемное образование: добавление архитектурных элементов к основному жилому блоку дает объемные образования, которые отличаются от одной жилой модели к другой.

Дизайн фасада: который отличается от одной модели к другой в зависимости от элементов, добавленных горизонтально и вертикально, которые дают различные выступы и отверстия.



Рис. 2. Планы жилых домов и фасады, Johannes olivegren

Результаты

1. Опыт города Гольчук в Турции, 1999 г.:

Этот опыт ограничивается этапом информирования пострадавшего населения о планах и решениях без серьезного отношения к их мнению и без предоставления им возможности по-настоящему участвовать в процессе проектирования, что негативно сказалось на

конечном результате проекта, как это сделала политика участия. так. Это не отвечает потребностям общества, потому что их потребности не были учтены, и у них не было возможности их выразить, а ценности справедливости и равенства не были достигнуты при участии представителей всех слоев общества, как это может проявляться в некоторых семьях, получивших квартиры небольшой площади, и они не использовали энергию общества и не способствовали созданию возможностей для общения между членами общества. Специфика региона и его культура не были учтены при проектировании, что не соизмеримо с местным образом жизни и культурой, и в результате вышеперечисленного не способствовало ощущению сопричастности жителей к месту, в котором они живут, так как большинство жителей покинули свои дома и переехали в другие районы.

2. Опыт города Касселя в Германии 1981 г.:

Этот опыт является одним из новаторских опытов работы с жителями над созданием их домов, который показывает возможность, технику и пределы этого участия, которое происходит под наблюдением архитектора, так что конечный результат контролируется с точки зрения дизайна. функциональность и эстетичность, при этом отвечая потребностям жильцов и учитывая их возможности.

Рекомендации

– Поддержание баланса между экологическими, экономическими и социальными соображениями для достижения устойчивой архитектуры.

– Сосредоточение внимания на человеческом, социальном и культурном измерениях архитектуры и важности роли архитектурных и градостроительных образований в жизни человека и социальных отношениях.

– Необходимость изменить мышление проектировщиков, планировщиков и лиц, принимающих решения, для вовлечения гражданского общества в процесс архитектурного и городского проектирования.

– Предоставление поддержки и кредитов населению на благоустройство, особенно в решении проблемы коллективных правонарушений в районе.

– Точная и продуманная подготовка программ гражданского участия в архитектурно-градостроительном проектировании жилых

массивов, определение методики участия, когда происходит процесс участия, кто является участниками и каковы пределы их участия, интеграция этих планы и программы в рамках региональных и национальных планов и программ по жилью политиков.

– Сотрудничество между различными сторонами, включая органы власти, специалистов, архитекторов и местное сообщество на ранней стадии подготовки жилищных проектов для достижения наилучших результатов.

– Использование международного опыта, особенно того, который соответствует местным требованиям, и того, что было достигнуто благодаря этому опыту, который смог многого добиться в области гражданского участия, особенно в реабилитации коллективных нарушений и трущоб, которые сильно пострадали после войны.

– Обеспечение гибкости дизайна с точки зрения функциональности и дизайна, позволяющее модифицировать жилые единицы в соответствии с меняющимися потребностями населения.

Учитывайте безопасность, социальную конфиденциальность и местную культуру, а также поддерживайте социальные отношения между жителями и пространственную идентичность при проектировании жилых сообществ.

Заключение

Изучив концепцию гражданского участия и изучив ряд международных опытов, большинство из которых показывают положительные результаты в отношении участия жителей, мы также находим некоторые эксперименты, которые не достигли необходимого успеха, и это приводит нас к выводу, что участие жителей, несмотря на его важность, не является единственным ключом к достижению устойчивой архитектуры, и оно не может быть. Жители участвуют в проектировании всех типов зданий и пространств, и участие не означает, что жители одиноки в проектном решении, что это роль архитектора.

Программы участия, выбор соответствующей методологии для местных условий, установление ограничений и руководство участием населения.

Список литературы

1. *Templemants- Plant- Prins*. “A Design Support, System for Building Flexibility and Costs” in: Timmermans, Harry, Design and

Decision Support System in Architectures, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, (1992).

2. *Ghani, Fatima*. Issues in Sustainable Architecture and Possible Solutions, *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, Vol: 12. No: 01, February 2012.

3. *Habraken, John*. Supports: An Alternative to Mass Housing, *Architectural Press*, London, 1972.

4. *Jones, P.B., Petrescu, D., Till, J*. Architecture and Participation, *Spon Press*, New York, 2005.

5. *Kim, Jong-jin*, Introduction to sustainable design, *National Pollution Prevention Center for Higher Education*, USA, 1998.

6. *Lizarralde, G., Johnson, C., Davidson, C*. Rebuilding after disasters: From emergency to sustainability, *Taylor & Francis*, 2009.

7. Office of the Deputy Prime Minister, Sustainable Communities: People, Places and Prosperity: A Five Year Plan from the Office of the Deputy Prime Minister, UK PRESIDENCY, UK, 2005.

8. *Sanoff, Henry*. Community Participation Methods in Design and Planning, *John Wiley & Sons, Inc*, Canada, 2000.

9. *Turner, John F. C*. Dwelling resources in South America, *Architectural Design* 8, 1963.

10. *Turner, John F. C.*, Housing by people: Towards Autonomy in Building Environments, *Marion Boyars*, London, UK, 1976.

11. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat), Human Settlements Development through Community Participation, *Nairobi*, 1991.

12. *Woodcraft, S., Hackett, T., Caistor-Arendar, L*. DESIGN FOR SOCIAL SUSTAINABILITY: A framework for creating thriving new communities, *The young foundation*, UK, 2011.

13. *William McDonough Architects*, The Hannover Principles: Design for Sustainability, *William McDonough & partners*, Germany, 1992.

**SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CIVIL
PARTICIPATION AND THEIR INFLUENCE
ON ARCHITECTURAL HOUSING IN RECONSTRUCTION
PROJECTS IN SYRIA AFTER THE WAR**

Ali Ali, PhD student

Department of Architecture, Academy of Engineering,

RUDN University, Moscow, Russia

ali.yahia.ali9@gmail.com

Abstract. Most of the studies on the topic of sustainable architecture are distinguished by focus on environmental aspects, which begins the idea of an article, which consists in the fact that the social component of sustainable architecture is not sufficiently studied in research, especially during the period of war and natural disasters, despite its importance, which is, which Focus on the population and on its participation in the formation and design of the environment.

In the light of this, the purpose of the study is determined by studying ways to activate the social measurement of sustainable architecture, mainly due to the participation of residents in the appropriate design for each region.

For this, the theoretical basis of the social measurement of sustainable architecture and its components was developed, as well as civil participation and its methodologies in reconstruction projects.

Then analyze a number of international experiments in this area and get some results compatible with local conditions in Syria.

Keywords: Architectural Design - Reconstruction - Sustainability - Social Dimension - Civic Participation

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО ОРНАМЕНТА

Бутримов Ю.Б., аспирант

*Соловьева А.В. *, к.пед.н., доцент*

*Департамент архитектуры, инженерная академия,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

**solovyeva_anv@rudn.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается история возникновения первых архитектурных орнаментов Древнего Египта, заложивших основу для дальнейшего их развития.

Целью нашего исследования является изучение истории зарождения архитектурного орнамента на примере Древнего Египта и дальнейшего его влияния на мировое искусство и архитектуру. В статье были использованы сравнительные методы исследования: изучение и анализ отечественной и зарубежной научной литературы по данной тематике.

В результате проведенного исследования была выявлена главенствующая составляющая египетского орнамента – его растительная часть в виде цветка лотоса и указаны конкретные детали, ставшие прообразом орнаментов в искусстве Древней Греции.

Ключевые слова: архитектурный орнамент, Древний Египет, Фивы, Карнак, Луксор, цветок лотоса, орнаментика, история развития орнамента, Древняя Греция, симметричное изображение

Введение

Переход из трехмерного изображения в двухмерное позволило расширить творческие границы человека. Двухмерное изображение в искусстве началось с орнамента, который изначально выражался в наскальных рисунках и геометрических рисунках предметов быта в период палеолита. Исследователи полагают, что во времена палеолита орнамент не носил «украшательский» характер. Скорее это была функция оберега. Символами обозначались различные стихии, местности (горы, леса, поля), солнце и луна (движение солнца).

Растительный орнамент Древнего Египта

Значительное развитие орнамент получил в период Древнего Египта, когда приобрел четкую структуру, но при этом не

потерял смысловой нагрузки. Каждая линия имела тесную взаимосвязь с природой. Многие элементы изображаемых растений, животных, кристаллов были додуманы человеком, но никогда не теряли сходства со своим прообразом – природой. Именно в Древнем Египте был создан орнамент, который заложил основы орнаментики для дальнейшего развития в Древней Греции, Древнем Риме и появления арабесок.

Основной темой растительного орнамента в Египте был цветок лотоса, а также папируса. Можно лишь догадываться, что изображение конкретного растения зависело от месторасположения в Египте. Это могла быть болотистая местность дельты реки Нил (в таком случае это был цветок лотоса), либо более засушливая часть Египта (в таком случае это растения папируса) (рис. 1).

Изображение лотоса можно увидеть в проекции сверху («розетка») и сбоку (рис. 2).

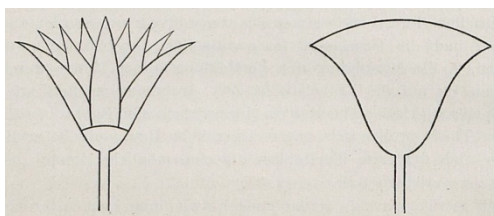
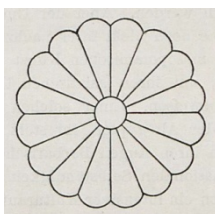


Рис. 1. Египетский орнамент:

слева – цветок лотоса, справа – растение папируса

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893



**Рис. 2. Египетский орнамент. Цветок лотоса
(проекция сверху – «розетка»)**

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893

Есть также вариант совмещения двух проекций на одном изображении. Мастера Древнего Египта совершили прорыв в сознании, создав орнамент, который не копировал изображение, а видоизменял таким образом, что суть его не терялась, а математические законы, законы симметрии, позволяли сделать его поистине красивым. До египтян такого не удавалось никому из людей. По крайней мере, научных доказательств этому нет. По изображениям орнамента в Древнем Египте можно понять, что каждое изображение имело свои композиционные параметры, которые были подчинены общим правилам. Таким образом, стилистика египетского орнамента заметно отличается от изображений прошлых эпох. Растительный орнамент в Древнем Египте получил значение, которого ранее не было. До появления искусства Древнего Египта чаще всего использовали изображение животных. Растения не представляли интереса и считались украшением, их можно наблюдать на некоторых предметах быта. Именно в Древнем Египте растения были переосмыслены, их значения были настолько велики, что некоторые имели сакральный смысл, например, цветок лотоса.

Изображение цветка лотоса на орнаментах Древнего Египта

Проведем более детальный анализ орнамента в виде цветка лотоса, который наиболее часто встречается в египетских изображениях. Этот цветок в Египте имел божественное значение, символизировал перерождение. Существовало множество предположений, какое именно растение изображено. Изначально древнегреческий историк Геродот Галикарнасский в книге «История – Книга вторая. Евтерпа» предположил, что прообразом служил съедобный цветок лотоса – лотос орехоносный (*nelumbium speciosum*): «Когда река выступает из берегов и заливают равнину, на воде вырастают в большом количестве лилии, называемые у египтян "лотосом". Они срезают их, сушат на солнце, потом разбивают макоподобные семена, добываемые из середины лотоса, и готовят тесто, которое пекут на огне. Корень этого растения также съедобен и имеет довольно приятный сладковатый вкус, он круглый и величиною с яблоко» [1]. Однако, *nelumbium speciosum* не произрастал в Египте. Настоящим прообразом лотоса, изображенного на египетском орнаменте, является священное для Египта растение *Nymphaea lotus*

(рис. 2). Об этом сказано У.Г. Гудьером в книге «The Grammar of the lotus», опубликованной в 1891 году издательством Low [2].



Рис. 2. *Nymphaea lotus* (Tiger Lotus) – вид двудольного растения рода Кувшинка (*Nymphaea*) семейства Кувшинковые (*Nymphaeaceae*)
Источник фото URL: <https://worldoffloweringplants.com/nymphaea-lotus-tiger-lotus-white-egyptian-lotus/> (дата обращения 27.02.2023)

Алоиз Ригль в своей книге «Вопросы стиля: основы истории науки об орнаментах» также об этом упоминает и указывает на сходство линий лепестков именно этого растения [3, р. 55]. Основной интерес, по мнению автора книги, в изображении цветения растения, но есть также изображение листьев и бутонов лотоса. В орнаментах часто можно увидеть чередование в изображении бутона и цветка лотоса.

Орнамент Древнего Египта – основа для развития орнамента Древней Греции

Лист лотоса имеет контур с расщелиной между самим листом и стеблем, Алоиз Ригль предполагает, что именно этот контур был заимствован Древней Грецией в изображении листов плюща на своих орнаментах, что также подтверждает мнение искусствоведов о том, что именно орнамент Древнего Египта является основой для развития орнаментики в последующих временах и странах [3, р. 55] (рис. 3, рис. 4).

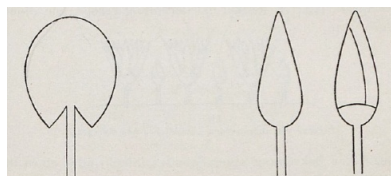


Рис. 3. Египетский орнамент:
слева – лист лотоса, справа – бутон лотоса

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893

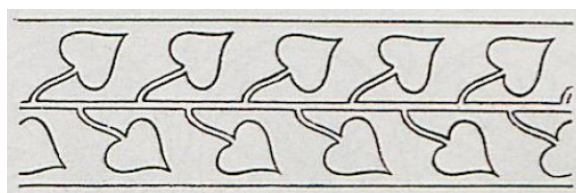


Рис. 4. Греческий орнамент. Лист плюща

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893

На примере изображения цветущего лотоса с символической дугой сверху, которая как бы обобщает цветок, мы можем наблюдать взаимосвязь орнамента и скульптуры [3, р. 60] (рис. 5). Данную гипотезу высказал У.Г. Гудьер, предположив, что изначально скульпторы пытались изобразить форму цветения лотоса и были вынуждены подчеркнуть форму цветка верхней дугой [3, р. 60]. Иначе технически не получилось бы изображение цветка в виде скульптуры. Такой прием изображения цветка перенял орнамент.

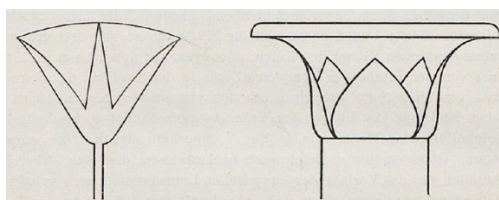


Рис. 5. Египетский орнамент:
слева – изображение цветущего лотоса с символической дугой
сверху, справа – капитель в виде цветущего лотоса

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893

Орнамент не ограничивался плоскими участками стен и распространялся на колонны, которые изначально являлись обычными столбами (стелами). Спустя некоторое время колонны стали использоваться в виде опор для архитрава и абака стала переходным элементом для этого. Поскольку колонна изначально являлась самостоятельным элементом, не задействованным в опоре кровли, то оформлялась она как законченный элемент. Капитель, как завершающая часть колонны, практически всегда имела изображение цветущего лотоса, что повторялось формой капители (рис. 5).

Известны также капители в форме бутонов лотоса. Все значимые вытянутые архитектурные элементы в Древнем Египте имели орнаментальное завершение, что указывало на необходимость акцентирования с помощью художественной выразительности.

Существует также еще один вид изображения цветения лотоса, который состоит из трех частей, соединяющихся в едином орнаменте (рис. 6). Добавились новые элементы: «валюта» (закругления по бокам цветка), «капли» (две симметричные формы, напоминающие капли воды, тонкой частью едва касающиеся «валюты») и «веерообразные листья», находящиеся на вершине цветка (послужили основой для развития орнамента пальметты в Древней Греции) (рис. 7).



Рис. 6. Египетский орнамент. Цветение лотоса в комбинированном виде (египетская пальметта)

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893



Рис. 7. Греческий орнамент пальметты

Источник фото: Н.Ф. Лоренц Орнамент всех времен и стилей / Эксмо, 2010 – 296 с.

Существует множество теорий, что «валюта» египетского орнамента могла быть прообразом «валюты» ионического ордера, что еще раз подтверждает факт огромнейшего вклада искусства Древнего Египта в мировое искусство.

Заключение

Египтяне изобрели новый вид орнамента, в котором элементы ритмично повторяются на длинных узких поверхностях (например фризах). Стоит отметить тенденцию к совершенствованию, привнесению новых элементов, комбинированию различными мотивами и изображениями в одном орнаменте. Так, например, был создан геометрический орнамент, в котором присутствует растительная тематика (рис. 8). Однако, растения в данном орнаменте играют второстепенную роль, отдавая главную роль геометрии.

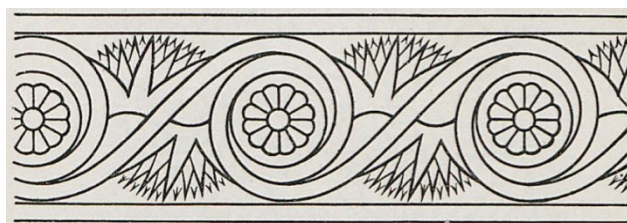


Рис. 8. Египетский геометрический орнамент (спиралевидный)

Источник фото: Riegl, Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik. Berlin: Georg Siemens, 1893

Если взять всё искусство Древнего Египта, то можно заметить, что они не стремились к украшательству, а старались передать свои идеи, чувства и восприятие мира с помощью изобразительного искусства. Эта особенность ставит египтян на одну из самых высоких стадий развития культуры в свое время. Они смогли понять разницу между украшательством и смысловой нагрузкой орнамента.

Список литературы

1. Геродот, -. История. В 2 ч. Часть 1 / Геродот ; переводчик Ф. Г. Мищенко. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 302 с. – (Антология мысли). – ISBN 978-5-534-07062-0. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/516647>.
2. *Goodyear W.H.* The Grammar of the Lotus: a New History of Classic Ornament as a Development of Sun Worship, London: Sampson Low, Marston, 1891.
3. *Riegl Alois Stilfragen: Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik.* Berlin: Georg Siemens, 1893.
4. *Ивановская, В. И.* Орнаменты Древнего Египта и Месопотамии / В. Шевчук : Москва, 2009. – 192 с.
5. *Лоренц Н.Ф.* Орнамент всех времен и стилей / Эксмо, 2010 – 296 с. – ISBN: 978-5-699-43235-6.

HISTORY OF BORN ARCHITECTURAL ORNAMENT

Butrimov Y.B., *PhD student*

Solovyova A.V.* – *PhD in Pedagogy, Associate Professor*

Department of Architecture, Academy of Engineering,

RUDN University, Moscow, Russia

**solovyeva_anv@rudn.ru*

Abstract. This article discusses the emergence of the first architectural ornaments of Ancient Egypt, which laid at the core for further development.

The purpose of our research is to study the history of the origin of architectural ornament on the example of Ancient Egypt. The research shows the influence of Egyptian ornament on world art and architecture.

The article used comparative research methods: study and analysis of domestic and foreign scientific literature on this topic.

An important direction in Egyptian ornament is the plant theme. The lotus flower is the main motif. The research shows specific details of the Egyptian ornament, which are prototypes of ornaments of ancient Greek art.

Keywords: Architectural Ornament, Ancient Egypt, Thebes, Karnak, Luxor, lotus flower, Ancient Greece, symmetry ornament

EVALUATION SYSTEM RECONSTRUCTION OF BIM TECHNOLOGY IN FUTURE ARCHITECTURAL DESIGN

*Wang Zonghui**, PhD student

Dolinina O.E., PhD, senior lecturer

Bautin S.S., PhD student

Department of Architecture, Academy of Engineering,

RUDN University, Moscow, Russia

**zonghui1128@outlook.com*

Abstract. The purpose of reconstructing the evaluation system of BIM technology in futuristic architecture is to find out some suggestions about the evaluation system of futuristic architecture suitable for the current era. The methods used in the article are literature survey, material analysis and comparative research. Results: Applying BIM technology to futuristic architecture is undoubtedly the best solution for architects. After comparing several existing evaluation systems at home and abroad, we can sort out some principles of architectural evaluation systems. Conclusion: The visualization and coordination of BIM technology are indispensable in futuristic architecture. The reconstruction of the futuristic building evaluation system needs to be based on the three principles of planning existing buildings, introducing artificial intelligence, and improving energy efficiency.

Key words: evaluation system; futuristic architecture; BIM; architecture; design principles

The development history and trend of futuristic architecture

In 1914, the Italian architect Sant'Elia published the "Manifesto of Futurist Architecture". He tried to interpret the new urban image of futuristic ideals through painting: "The tall and straight buildings made of concrete, steel, and glass that look like machines are connected into a huge whole through various bridging bridges and passages, spreading everywhere. In the 1920s, the Vesnin brothers of the Soviet Union, as avant-garde architects, designed the competition proposal for the Moscow Labor Palace and the Pravda Building. And V. Tatlin, a representative architect of the Soviet Constructivist movement, designed the Third International Memorial Tower. Their architectural designs have broken

the traditional architectural aesthetic model with rich passion and creativity, and created architectural forms that represent the future. This kind of architectural concept was very advanced at that time, even today when the architectural migration technology and prefabricated building technology have been greatly developed, such a concept is amazing enough.

The 1960s was the year with the fastest development of futuristic architecture. The society is in a golden age of vigorous development, and a large number of technologies are constantly emerging, which seem to be able to solve all the problems faced by human beings at any time. Against this background, a group of architects with active thinking and lofty aspirations emerged. Its representatives include the "Archigram" movement in Britain and the "Metabolism" movement in Japan. "Archigram" was established in 1961. A group of young British architects with Peter Cook as the core broke the moral dogma of modern architecture, and used technology to maximize the imagination of future architecture and cities. Their works are widely publicized through publications and exhibitions. For example, in 1964, Peter Cook proposed the concept of "insert city" that broke the traditional architectural model. The units are inserted according to the needs to form a three-dimensional city that can grow and change. The "Metabolism" movement is composed of young architects such as Kenzo Tange and Kisho Kurokawa in Japan [2]. They borrowed the concepts of metabolism, circulation, and mutation from biology, and proposed some ideas for the city of Tokyo in 2000 according to the living space limitations of the Japanese archipelago [3]. Different from the purely ideal future city concept of the British "Archigram", the future city concept of "Metabolism" is more inclined to solve the practical problems that puzzle them now. As Kisho Kurokawa said: "The significance of the future city proposal does not lie in whether the proposal can exist or whether it can realize technical issues, but in that it prompts today's contradictions and foresees future thinking" [2]. Taking today's architecture as an example From the perspective of practitioners, although there are many disadvantages in the architecture of that era. But I have to say that it was a splendid architectural era.

From the 1920s to the present, the whole world is undergoing rapid changes, and the gradual maturity of computer technology has led to the rapid arrival of globalization and informatization. Information can spread to every corner of the world at high speed, and the convergence of material and culture is also reflected in the field of architecture. Often

a new concept will soon blossom and bear fruit everywhere. But from my personal point of view, today's architectural concepts have not undergone earth-shaking changes compared with a hundred years ago. The arrival of the information age has only accelerated the speed of architects' works. Population and resources are already the shackles on the necks of human beings, so I think the development trend of futuristic architecture is green architecture. However, the development of green buildings requires a sound green building evaluation system as an important technical support. At this stage, many countries in the world already have their own green building evaluation system. With the development of technology, various evaluation systems are constantly improving, and new versions are gradually released. Due to the strong regional nature of green buildings and the influence of different climates, resources, geographical locations and living habits, it is impossible to have an international unified standard around the world. Every country and region is looking for and developing a green building evaluation system suitable for its own country and region.

BIM Technology Applied in Futuristic Architecture

Judging from the development trend of today's architecture, computer-aided technology has a strong "lethal" effect on the construction field, and BIM technology is the most important of computer-aided technology. Building Information Modeling, BIM concept was first proposed by Professor Chuck M. Eastman in the United States. Later, Jerry Laiserin defined the concept of BIM in more detail: "The construction process and facility management are represented in digital form, and at the same time, the information exchange and interoperability of the construction process and facility management are carried out in digital form" [7].

The application of BIM can make the degree of integration of construction projects reach a new high, the production efficiency can be significantly improved, and the engineering cost can be reduced at the same time. These advantages will be reflected in the entire life cycle of the engineering project. With the huge potential benefits, BIM is quietly changing the way project participants collaborate with each other. Various construction units have established BIM research groups, hoping to not fall behind in the information technology revolution. All walks of life also have a unique definition of BIM: Autodesk defines BIM as "computable digital information" created and used in the process of building

design and construction, which automatically manages these digital information through program systems, and makes it Derived files can be correlated and consistent [11]; Compared with other contemporary buildings, BIM can play a better role in the design of futuristic buildings.

The first point is visualization. As mentioned above, futuristic architecture is always full of passion and creativity in architectural form. Its architectural form is often difficult to describe only in words, so using BIM technology, the geometric properties and other information of these building components can be represented in a visual way. In the design stage, the architect can use the three-dimensional way to complete the architectural design and present the results directly to the owner. In the construction phase, construction personnel can use the BIM model to simulate the construction process, simplify complex construction drawings, and improve the accuracy of building construction. In the operation and maintenance phase, managers can also use the BIM model to visually manage space and equipment assets. The second point is coordination. BIM can integrate information from different disciplines into one model, which helps project participants communicate and coordinate, and discover current problems. The coordination function of BIM is reflected in the following aspects: different professional design coordination, construction schedule coordination, engineering quantity estimation and cost budget coordination, and operation and maintenance coordination. For example, using a 3D architectural model during design, you can check for conflicts and contradictions in pipelines and equipment, and discover design defects in advance.

BIM technology is an information model technology based on a huge database. The planning, design, construction, operation and maintenance of construction projects can be simulated and analyzed through computer virtual technology, making the whole process of construction projects monitorable and controllable, thereby reducing costs, shortening construction periods, and ensuring construction quality, so as to achieve refined management in a true sense. Therefore, the application of BIM technology in futuristic buildings is undoubtedly the best solution for current architectural designers.

Reconstructed green building evaluation system

For futuristic architecture, green architecture is not only the trend of future development but also the key to make it stand out among many

buildings. With the support of BIM technology, how to construct the evaluation system of futuristic buildings in green buildings is particularly important. The evaluation system construction of green building is a systematic project, covering many aspects. Take LEED in the United States, BREEM in the United Kingdom, ESGB in China, and IRIIS in Russia as examples.

LEED in the United States mainly examines and judges the impact of buildings on the environment from 8 aspects: integrated design, location and transportation, sustainable site design, effective use of water resources, energy and environment, resources and materials, indoor air quality, and innovative design. There are several judgment clauses in each aspect. LEED certification is applicable to almost all building types and evaluations at different building stages. Its certification system (V4) includes the following 5 categories: LEED BD+C: applicable to newly built or renovated buildings; LEED ID+C: applicable to Evaluation of interior decoration; LEED O+M: Applicable to the evaluation of the improvement of the operation and maintenance performance of existing buildings; LEED ND: Applied to the evaluation of community planning and development; LEED HOMES: Applied to residential evaluation. The content of BREEAM indicators in the UK can be divided into four categories: global content, regional content, indoor environment content, and use management content, mainly from management, health and comfort, energy, transportation, water resources, materials, waste, and land use. 10 indicators of ecology, pollution, and innovation are used to evaluate the built environment, and each indicator has a number of corresponding provisions. Its evaluation system is divided into the following four categories: Master planning, used for community evaluation; New construction, used for evaluation of new residential buildings, office buildings, commercial buildings, medical buildings, etc.; In-use, used for residential buildings Evaluation of other existing public buildings; Refurbishment and fit-out, applicable to the evaluation of renovation of various buildings. China's ESGB emphasizes the principle of adapting measures to local conditions in the evaluation content, and comprehensively evaluates the performance of energy saving, land saving, water saving, material saving, and environmental protection during the entire life cycle of the building in combination with the characteristics of the climate, environment, and resources of the building's location, including seven parts: land saving and outdoor environment, energy saving and energy utili-

zation, water saving and water resource utilization, material saving and material resource utilization, indoor environmental quality, construction management, and operation management. The evaluation of the design stage does not involve construction management and operations management. ESGB is applicable to the evaluation of all kinds of civil buildings, the main evaluation objects are residential buildings and public buildings, and it is not suitable for the evaluation of industrial buildings and community or municipal engineering. Russia's IRIIS conducts a comprehensive evaluation from three aspects: economy and management, life and quality, and ecology and climate, including the perspectives of investment income of buildings, experience of serving people, and ecosystem protection. Compared with the evaluation systems of other countries, IRIIS focuses more on the impact of construction on the surrounding community environment. In addition, the index of increasing employment rate for local residents has been added to the evaluation system.

People need to rediscover the relationship between man and nature, starting from a friendly attitude towards nature, from the production of building materials to the design, construction, use, maintenance, and dismantling of the entire life cycle of the building, so as to consume the least energy and produce the least amount of energy. It is an evaluation system with the characteristics of the post-industrialization era, with waste and greenhouse gases as the core, and the maximum use of natural resources as the highest standard and criterion. And fully pay attention to the role of artificial intelligence in the entire building construction process, from building design to construction to maintenance, let artificial intelligence fully participate. Therefore, the evaluation system of BIM technology in futuristic architectural design should have three points that need to be rebuilt.

The first point is to plan the existing buildings. Starting from the planning system of green buildings, the existing buildings are utilized to the maximum extent. By retaining the external shape of the existing building and changing the internal function of the existing building, the maximum effect of resource saving is achieved. Demolition and reconstruction is always the most resource-wasting form, and the functional transformation of old buildings emerging from European and American countries not only retains local cultural characteristics, but is also the most energy-efficient and environmentally friendly green building development method in principle. In addition, for the futuristic ancient

buildings that are still in Russia today, the principle of "repairing the old as the old" should be adhered to. For these "cultural relics" of the old era, the renovation of the interior and exterior of the building should be minimized, but the load-bearing structure should be reinforced on the basis of the original building structure.

The second point is the introduction of artificial intelligence. After the futuristic architecture combines BIM technology, it also needs to introduce contemporary artificial intelligence technology as one of the parameter indicators. It is very necessary to use new technologies reasonably, such as ChatGPT, which is very popular recently, can be trained in a targeted manner, and then make it a professional construction operation management software. VR/AR+BIM+AI, combined with construction and operation data resources, can continuously improve the design, upgrade the iterative planning prototype, and meet the owner's office and living needs. At the same time, it can also realize the intelligent operation and maintenance management and control of the building, realize the effective digital management of the space, assets, equipment and facilities in the building, and have the functions of operation, detection, early warning, analysis, and command.

The third point is to improve energy efficiency. The architectural design concept has changed from linear design to circular design. That is, the main building materials can be recycled and reused. For example, wooden materials and prefabricated building materials in buildings can be recycled to improve energy efficiency inside buildings. Combining the green building standards of all countries in the world and Russia, there must be clear data requirements on energy efficiency. For example, the electricity consumption standards of green buildings should be at a lower level than that of general buildings of the same level, that is, in public lighting, air conditioning, hot water and other uses. In terms of electricity, the comprehensive power consumption density should be 30% lower than the regional standard.

Conclusion

Based on the above analysis, I believe that the fundamental principle for evaluating future green buildings is to live in harmony with nature. A good building should have three levels of dialogue. One is to be able to communicate with the environment and respond to the impact of the surrounding environment; the other is to be able to communicate with

the society, with humanistic quality and care; the third is to be able to communicate with the times and respond to the themes of environmental protection and artificial intelligence. Since the development of BIM technology in the early 20th century, it has inevitably lagged behind in the evaluation system of futuristic architecture. Therefore, the purpose of reconstructing the futuristic architectural BIM technology scoring system is to find suggestions for the futuristic architectural scoring system suitable for the current era. After comparing the existing green building evaluation systems (such as LEED in the United States, BREEM in the United Kingdom, ESGB in China, and IRIIS in Russia), it is not difficult to find that due to differences in the history of building development, social and economic development levels, and climate regions in various countries, each the evaluation methods are also different. Diversified features. They have different evaluation index frameworks and index weights, and they all have supportive policies and incentives with ethnic characteristics. Therefore, futuristic architecture has the advantages of visualization and coordination after combining BIM technology, but it must also be based on the regional characteristics and actual conditions of Russia. Based on the three principles of ensuring existing building planning, introducing artificial intelligence, and improving energy efficiency, the evaluation index system suitable for future buildings is reconstructed.

References

1. *Li Ning*. Futurism Tendency and Thinking in Today's Architectural Design Field [J]. Architectural Journal, 2012(9):7.
2. *Zheng Shiling, Xue Mi*. Kisho Kurokawa [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1998.
3. *Ma Guoxin*. Tange Kenzo [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1994.
4. *Ren Jun*. History of Future Architecture [J] . Architects, 2008(8):9.
5. y, c. hope. – April 29, 2022. Volume 6. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2022. – P. 104–106. – EHDN
6. *Edward B. Taylor*. Anthropology [M]. Translated by Lian Shusheng. Nanning: Guangxi Normal University Press, 2004.5.
7. *Ma Rongquan*. Development Status and Future Trends of Prefabricated Buildings [J]. Construction Technology (Chinese and English), 2021, 50(13): 64-68.

8. *Du Changhua*. Applicable green building practice technology and development thinking [J]. Journal of Hebei University of Geosciences, 2020(3): 77-81.

9. *Bykova G.I.* Futuristic ideas of the twentieth century in modern architecture / G. I. Bykova, A. Mikhaleva // . – 2018. – V. 3, No. 3. – C1 DOI 10.24411/2346-8408-2018-10023. – EDN XVMELJ.

10. e, i. mansur. Technical University, 2021. – P. 255–257. – EDN VVQNFH.

11. *Wan Mohammad W.N.S.* The adoption of Building information Modeling (BIM) for BIM-based project contractors during the construction phase / W. N. S. Wan Mohammad, M. R. Abdullah, S. Ismail // . – 2022. – Vol. 16, no. 2. – P. 92-102. – EDN XLWLAK.

12. *Sozer H.* Dynamic evaluation method to increase the effect of the automation system on the building energy performance / H. Sozer, F. Tuysuz // . – 2020. – Vol. 253. – P. 119811. – DOI 10.1016 /j.jclepro.2019.119811. – EDN MHWEFI.

13. Kavtarov, a. Grozny, May 18–20, 2021. – Grozny: "SPEKTR" (IP Inorkaev Vakha Abu-Rashidovich), 2021. – P. 351–355. – EDN MFZHBT.

14. Nadezhina, v. -April 29, 2022. Volume 6. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2022. – P. 104–106. – EHDN

15. green "construction" trends in modern Russia / n. With. Astafieva, I. V. laguta, e. kukarina, i. emelyanova // urban planning and architecture. , No. 4(37). – S. 109-117. – DOI 10.17673/Vestnik.2019.04.16. – EDN TGKVNJ.

16. *Shchetinin Yu.Yu.* April 15–19, 2019. – Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), 2019. – P. 507-510. – EDN WWJCQU.

КОНЦЕПЦИИ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТИ НА ТЕРРИТОРИЯХ, СВЯЗАННЫХ С ВООРУЖЕННЫМИ КОНФЛИКТАМИ

Гомес Лопес А.В., аспирант

Руководитель: Олег Витальевич Бик, к.арх.,

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

1042205102@pfur.ru

Аннотация. Процесс, начатый в конце 2016 года с подписания Мирного соглашения, положил конец вооруженному конфликту, длившемуся более 60 лет. В рамках этого процесса были разработаны архитектурные проекты, направленные на индивидуальное и коллективное возмещение ущерба жертвам, реинтеграцию бывших участников боевых действий и обеспечение хорошей жизни местных общин.

В этой статье автор анализирует некоторые методы, необходимые для формулирования архитектуры на этнических территориях в послевоенный период, с учетом социокультурных, экономических и экологических условий, от теоретического обзора концепций и анализа до тематического исследования, все в рамках реализации аспирантской диссертации в российской университете дружба народов.

Ключевые слова: архитектура для памяти, устойчивость, местные материалы, этнические группы, модернизация, культурный центр, послевоенный период, музей памяти

Фундаментальным измерением архитектуры является память, которая создает основу для связи прошлого с настоящим и будущим. Таким образом, память напрямую связана с архитектурой, потому что, не зная, где мы были, мы понятия не имеем, куда идем, у нас нет никаких ориентиров¹. В архитектуре есть потенциал, заключающийся в ее способности передавать память народов. В этом тексте архитектура рассматривается как полезное средство

¹ «Те, кто не может вспомнить прошлое, обречены повторять его» – популярная фраза Хорхе Огюстина Николаса Руиса де Сантаяны (1863–1952). Испанский философ, поэт и писатель на английском языке.

для создания эмоциональных связей с пространством и с местом, для сохранения и пробуждения конкретных пережитков, связанных с прошлыми временами, воспоминаниями и преобразованиями в отношении состояния этнических территорий в Колумбии, которые пострадали от вооруженных конфликтов. Архитектура обладает потенциалом придать пространству оттенок присутствия и отсутствия.

Для общего понимания текущего состояния проблемы необходимо рассмотреть аспекты, которые она охватывает (см. рис. 1)², затем рассмотреть вклад и опыт на национальном и международном уровнях, а также вместе с анализом тематического исследования, проведенного в Колумбии на полугородской и сельской территории. Анализ методов и действий, применяемых в предложениях на сельских и этнических территориях.

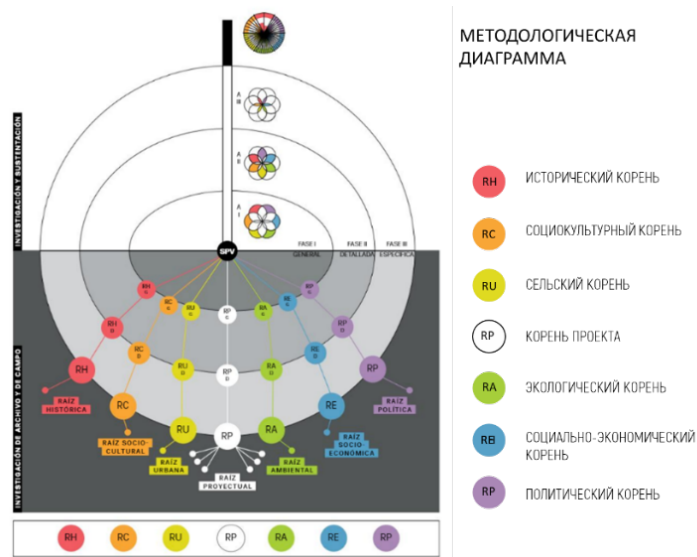


Рис. 4. Схема методологии анализа проблем
Схема автора

² Схема методологии взята из <https://la.network/planos-vivos-la-arquitectura-se-desde-la-comunidad/?platform=hootsuite>, где объясняются аспекты, которые следует учитывать при анализе этнической территории.

Историческое и политическое измерение: Анализ процесса насилия, которому подверглась община, является первым шагом к пониманию этапов и, таким образом, к поиску наиболее приемлемого решения, предлагаемого в соответствии с реальностью. Исторический фактор связан с рядом политических решений, которые на протяжении всей истории приводили к подчинению этнических и крестьянских общин к перемещению со своих территорий, иногда вплоть до нарушения прав человека этих этнических групп³.

Пространственное физическое измерение: Рассмотрение геолокации музея важно, поскольку оно позволяет распознать территорию [1], понять, находится ли она на городской или сельской территории, в случае исследования архитектурный объект и его физический контекст содержат различные характеристики, такие как: расположение в промежуточной точке между важными торговыми и транспортными путями, ведущими к музею. Также важно учитывать на национальном уровне централизацию школ, больниц, парков, морфологии, пешеходной системы.

Экологический аспект: С экологической точки зрения понятно, что богатство почвы было наиболее привлекательным фактором для продолжения конфликта на сельской территории, поэтому будучи географически расположенными в центральной и переходной зоне, этнические группы, населяющие эту территорию, страдали от насильственного перемещения и подчинения со стороны других РВСК-АН⁴.

Социокультурное измерение: Социальная структура этих групп происходит от большой кочевой коренной группы, населявшей Колумбию задолго до испанской колонизации, эта группа, получившая название Аравак⁵, путешествовала по территории всегда в направлении воды (реки, берега, моря и озера) из-за своей экономической организации. Занимаются охотой и рыбалкой, но в основном из-за того, что живут в прибрежных районах. После колони-

³ Международное УВКБ ООН как организация, защищающая коренные народы, работает над укреплением сообществ и организаций этнических общин, страдающих от нарушений прав человека в Колумбии.

⁴ РВСК-АН: Революционные вооружённые силы Колумбии – Армия народа, это партизаны Колумбии.

⁵ Араваки – это сообщество коренных народов, проживающих в Южной Америке и Карибском бассейне.

зации в руках испанцев они были подвергнуты процессу порабощения, что привело к их временному расселению [2], в настоящее время эти группы, как правило, располагаются в центре джунглей, где у них есть доступ к животным для охоты, близость к водным источникам и его святым местам является основной частью его космогонии⁶.

Важно понимать, что большинство их территорий являются основными точками для незаконных вооруженных формирований, поскольку посреди джунглей можно передвигаться скрытно, не привлекая внимания полиции или органов национальной безопасности.

Следствием присутствия вооруженных групп в этих местах является то, что они находятся в эпицентре конфликта, поскольку, когда вооруженные силы атакуют эти незаконные группы, они делают это на указанных территориях, где проживают этнические группы [3].

Теоретический подход и аспекты

Было создано множество подходов к пониманию концепции архитектуры памяти, и она будет рассмотрена в этой статье с разных сторон.

Философский аспект: Для Аристотеля знание происходит из чувственных впечатлений. Пять чувств определяют параметры навигации по грубой карте реальности. Знание приходит к вам через чувства [4]. Дело в том, что память находится в том же месте души, что и воображение, но разница между ними в том, что у памяти есть особый ингредиент – время. Это оставляет нам формулу: Сенсорные впечатления + Время = Память [5]. Это рассуждение очень своевременно переплетает память с нематериальными идеалами архитектуры.

Социологический аспект: Память – это поиск стратегий, которые позволяют обществу узнать, кем они являются, для достижения решения проблемы преемственности и идентичности по

⁶ Все индейские мифы о происхождении мира содержат рассказ о великом путешествии с востока и о священных каноэ, притянутых вверх по молочной реке гигантскими анакондами, для людей, живущих сегодня в лесах Пирапараны, мир природы пронизан смыслом. Каждый камень и водопад имеет свою историю. Растения и животные – это другие проявления той же духовной сущности. <https://batenka.ru/aesthetics/reading/davis3/>.

отношению к будущему и прошлому времени. Это основная линия мышления того, кто хочет сохранить память. Прецедент, который оставляет Хальбвакс [6], – это его исследование и развитие концепции коллективной памяти, он говорит, что коллективная память – это социальный процесс реконструкции прошлого, и все что было пережито определенной группой, сообществом.

Для этого автора пространство придает стабильность, позволяя жителю почувствовать, что вещи сохраняются и не теряются, подчеркивая затем, что это пространство, занимаемое архитектурным объектом, связывает воспоминание с прошлым временем и с будущим [7].

Архитектурный аспект: Когда дело доходит до памяти и архитектуры, важно проверить текущее состояние объекта, это связано с характером взаимодействия людей, которое возникает в результате постоянного сопоставления с указанным компонентом. Разные люди формируют совместное восприятие, имея доступ к одним и тем же пространствам и местам, через которые они обычно проходят в своей повседневной жизни, и отсюда начинается возможный анализ их качества жизни.

С другой стороны, Хосе Моралес представляет более широкую версию определения памяти, отдавая предпочтение воспоминаниям: «Это фигуры, которые предстают перед нами, в основном, в виде незавершенного и фрагментарного мира всего того, чем является город и его архитектура» [8].

Восстановление пространства трагедии – это материализация воспоминаний. Эмоциональная привязанность тех, чья жизнь оказалась под угрозой, придает этому месту дополнительную ценность. Вот почему требуется применение символического языка, пространства приобретают смысл благодаря действиям человека в нем, но, когда они становятся чем-то неопишным, это требует процесса кодирования. В этих случаях связь архитектуры и памяти очень тесна, а «сырьем» являются ощущения и воспоминания [9].

Понимание памяти с точки зрения концепции *genius loci*, где здание является вместилищем воспоминаний, историй и значений, которые оживляют здание, в этом смысле необходимо воссоздать эмоциональное, чтобы попытаться мысленно реконструировать уже не каждую стену и каждый камень, а истинный смысл здания и настоящая ценность архитектуры [10].

Исторический аспект: В понимании этого аспекта важно признать вклад Шеветана Тодорова, который говорит, что забывание – это естественный процесс, учитывая, что нам, людям, дается бесконечное количество информации, заставляя нас выбирать то, что запомнилось [11]. Вот почему разумно говорить, что память – это отфильтрованное и реконструированное прошлое. Он выносит на обсуждение теоретическое количество актов, направленных против человечества во имя патриотизма и власти в истории, он дает понять, что необходимо критически взглянуть на собственное прошлое, пока оно существует. Нужно подходить ко всему в гражданском и объективном духе⁷. Это ставит нас перед вопросом о том, как следует справляться с травмами прошлого, именно так каждая группа и сообщество могут сделать выбор в пользу развития здоровой идентичности.

Методология и тематическое исследование

Архитектура памяти и этапы вмешательства на послевоенной территории Андреас Хюссен, который в своей работе «Вокруг памяти и пространства»⁸ подробно описывает различные подходы к тому, что представляет собой архитектура памяти в Германии после нацистского Холокоста [12], этот подход Андреаса Х. Перенесен на современный эталон, который связывает его литературные произведения с проекцией музея на память о Южной Африке, имея в виду время, когда после различных массовых убийств и вооруженных конфликтов в 1991 году был объявлен конец апартеида⁹, наследие Андреаса Хьюссена сегодня становится видимым в музее red location в городке Нью-Брайтон в Порт-Элизабет, Южная Африка.

⁷ Genius loci, Гений места или дух места, выражение применимо к человеку, ревностно оберегающему неповторимую атмосферу места.

⁸ В поисках утраченного будущего это сборник статей немецкого философа, в котором он размышляет о времени, памяти, национальной идентичности и исторических травмах с точки зрения немецкого дела.

⁹ Система расовой сегрегации в Южной Африке и Намибианоте действовала до 1992 года. Эта система расовой сегрегации заключалась в создании отдельных мест, как жилых, так и учебных или развлекательных, для различных расовых групп, в исключительном праве лиц с белой кожей голосовать и в запрете браков или даже сексуальных отношений между белыми и черными.

Музей и пустое пространство

Хюссен признает Даниэля Либенскинда одним из немногих архитекторов, признавших ценность пустого пространства, это пустое пространство стремится сформулировать взаимосвязь между пережитым пространством и пережитым временем, это было достигнуто благодаря взаимодействию двух линий, одна – прямая, но фрагментированная, а другая – извилистая, но продолжающаяся бесконечно, указанная продольная ось, которая многократно пересекает зигзагообразные структуры здания, переводится как пустоты, так называл архитектором Либенскиндом.

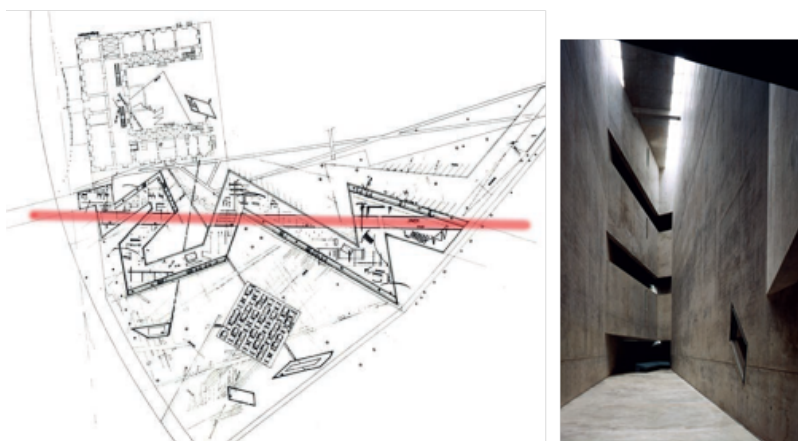


Рис. 6. Архитектурный план, в котором промежутки и зигзагообразная форма очевидны, вызывают воспоминания и размышления в музее

Ссылка: <http://marionbarbe.canalblog.com/archives/2010/11/09/19562941.html>

Этим пустотам удастся отсылать к отсутствующему, тем, кто страдал в то время и кого сегодня уже нет и к истории, которая была прервана конфликтом, эта пустота в пространстве является точкой перехода, где возможно отражение теми, кто живет в этом пространстве. В представлении проекта RED LOCATION архитектор Джо Ноэро составляют дизайн с нуля из 12 ржавых ящиков, в которых хранятся памятные вещи о боях в Южной Африке [13], ящики находятся в главном помещении, архитектор перемещает

пустое пространство, о котором говорит Хьюсен, благодаря расстоянию между ящиками.

Музей red location имеет возможность исследовать историческую память и коллективно воссоздавать прошлое, и таким образом молодые люди открывают для себя прошлое и понимают будущее.

Музей отвечает на ряд вопросов, которые, в противном случае, было бы нелегко понять. Взрослые, которые имеют отношение к историям, также открывают часть себя, когда во время экскурсии по музею рассказывают свои собственные биографии на стенах, цветах и текстурах.

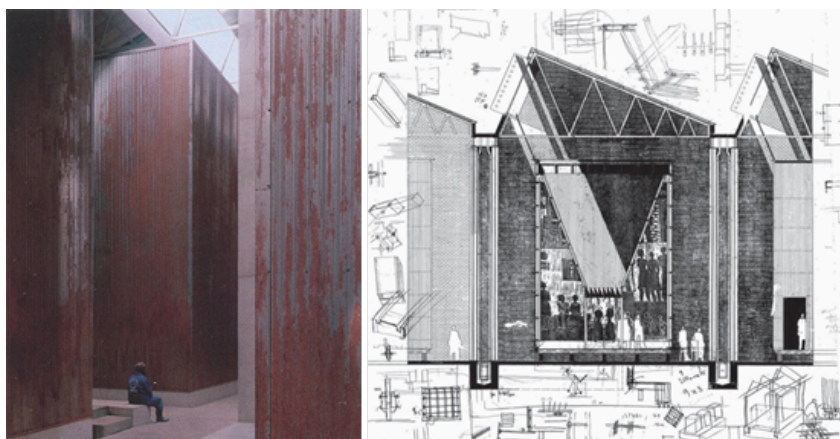


Рис. 7. Изображение интерьера музея, где архитектор создает перегородки между контейнерами, чтобы дать место для памяти и размышлений

Ссылка: <https://aasarchitecture.com/2012/10/red-location-museum-by-noero-wolff-architects/>

Вышесказанное отражает возможность освободить разум для музея. Каванаг [14], который отметил, что музеи воплощают три формы символического пространства:

- обеспечивают формальное в интеллектуальном смысле
- предоставляют «социальные пространства»
- предоставляют «пространства мечты»

Что касается социальных пространств, Кавана [14] объясняет, что это пространства, с которыми люди взаимодействуют независимо от характера выставок. При посещении музея укрепляются связи между людьми. «Часть этой связи укрепляется за счет обмена опытом посещения и, в частности, за счет обмена личным и коллективным опытом, а также воспоминаниями».

Именно сила памяти в музее Red Location позволяет посетителям узнать еще больше. Когда люди сталкиваются со своими эмоциями, они, как правило, нелегко забывают. Музеи памяти – это места, где встречаются воспоминания и истории, и это может быть эмоциональным переживанием. Кроме того, другой важной потенциальной ролью музея red location является его важная роль в содействии африканизации общества. Признанием проблематичности является подход к архитектурному предложению.

Заключение

В нашем случае, который оставил нам наследие колумбийского конфликта на протяжении десятилетий, архитектура несет этический долг по созданию и сохранению памяти, мест примирения. Мы, как страна, еще не сделали этого решительно. В соответствии с нашей традицией мы поступили иначе и решили стереть и минимизировать боль тысяч жертв конфликта.

В соответствии с этими определениями мы видим, что идея памяти в архитектуре вытекает не только из идеи воспоминания или забвения, но, скорее, из идеологического и многомерного состояния, которое говорит нам о неоднородном структуре, в отношении которого должен быть поднят новый подход к архитектуре. С этой точки зрения мы могли бы работать с архитектурой, которая управляет местом, как стимулом для создания архитектурной новизны из социальной динамики, которая обрабатывается в пространстве (пустом и заполненном), при условии, что это новое пространство построено вместе с памятью, но прежде всего, что память – это то, что свойственно обществам, а не столько местам.

Таким образом, новые пространства, создаваемые на этой территории, должны, без сомнения, иметь понятие памяти с социальной и культурной проекцией, проецируемой на архитектурное произведение для созерцания, в исторический контекст, архитектурное произведение всегда говорит о настоящем с проекцией на

будущее несмотря на то, что независимо от того, опирается ли он на некоторые исторические переменные прошлого или нет.

В конкретном случае Колумбии можно утверждать, что память – это средство, позволяющее почувствовать принадлежность к месту и двигаться в будущее, архитектура обязана материализовать память, чтобы мы не забывали свое прошлое.

Важно учитывать, что роль архитектуры в сочетании с другими дисциплинами, такими как экономика, социология, естественные науки, может в значительной степени усилить положительное влияние архитектурного проекта на территорию.

Список литературы

1. *Андреас Хьюссен А.Х.* Части настоящего, городские палимпсесты и политика памяти / А. Х. Андреас Хьюссен. – Стэнфорд-Калифорния: издательство Стэнфордского университета, 2003. – 165 с. – ISBN 0-8047-4561-7.
2. *Пардо Айяла П.А.* Коренные народы и их права в условиях вооруженного конфликта: риторика или скрытая и явная реальность? / А.С.Р.А. Энджи Кэтрин Пардо Айяла // Журнал кафедры социальной работы факультета гуманитарных наук Национального университета Колумбии. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 125–139.
3. *Торрес С., Перес Г.Т.С., П.Г.* Среда обитания и сельские поселения в Колумбии после включения и после заключения соглашения. / Т.С., П.Г. Торрес С., Перес Г. // Территориальный городской журнал. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 85–106. – ISSN 0124–7913.
4. Аристотель и его трактат «О памяти и припоминании» (Вступительная статья к переводу) // Космос и душа. М: Прогресс-Традиция, 2005. С. 391–406.
5. *Аристотель А.* О РАЗУМНОМ И ЧУВСТВЕННОМ - О ПАМЯТИ И ЗАПОМНИНИИ / А. Аристотель. – Греция: Агилар, 2016. – 52 с.
6. *ЭГУЗКИ УРТЯГА Е.Ю.* ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРИСА ХАЛЬБВАКСА / Е.У. ЕГУЗКИ УРТЯГА // МЫСЛЬ. – 2013. – Т. 69, № 258. – С. 149–168. –ISSN 0031–4749
7. *Пабло Колакран П.К.* Обзор концепции коллективной памяти / П. К. Пабло Колакран // Коммуникативный сюжет. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 63–73. –ISSN 1668–5628.

8. Гауса М., Гуалларт В., Мюллер В., Сориано Ф., Поррас Ф. и Моралес Дж. Словарь современной архитектуры Metapolis. Барселона: -2000-. Действовать.

9. Джулиан Бондер Дж.Б. РАБОТАЕТ ПАМЯТЬ: РАЗМЫШЛЕНИЯ И ПРАКТИКИ / Ж. Б. Джулиан Бондер // Память. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 9–25.

10. Асенцио А.А. Где обитает мысль / А. А. Ана Асенцио // Фонд Archia. – 2017. – № 1. – С. 5-8. – 05.2017. – URL: <https://blogfundacion.arquia.es/2017/05/arquitectura-popular-y-memoria/> (дата обращения: 22.02.2023).

11. Цветан Тодоров Т.Т. Использование памяти / Т. Т. Цветан Тодоров. – Чили: знаки памяти, 2013. – 58 с. – ISBN 978-956-9144-05-9

12. Патрисия Фунес П.Ф. Хюссен, Андреас (2002). В поисках утраченного будущего. Культура и память в эпоху глобализации, / П.Ф. Патрисия Фунес // Академическая память. – 2002. – Т. 11, № 12. – С. 263–267.

13. Вуйисиле Мсила В.М. Освободительная функция музея: на примере музея «Красная локация» в Нью-Брайтоне / В. М. Вуйисиле Мсила // Антрополог. – 2013. – Т. 15, № 2. – С. 209–218.

References

1. *Andreas Huyssen A.H.* Present parts, urban palimpsests and the politics of memory / A.H. Andreas Huyssen. – Stanford-California: Stanford university press, 2003. – 165 с. – ISBN 0-8047-4561-7.

2. *Pardo Ayala P.A.* Los pueblos indígenas y sus derechos de cara al conflicto armado: ¿Retórica o realidad latente y manifiesta? / A.C.P.A Angie Catherine Pardo Ayala // Revista del Departamento de Trabajo Social, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 125-139.

3. *Torres C, Perez G.T.C, P.G.* Hábitat y Asentamientos Rurales en Colombia a partir de la Inclusión y el Posacuerdo. / T. C, P. G. Torres C, Perez G. // Bitacora urbano territorial. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 85-106. – ISSN 0124-7913.

4. Аристотель и его трактат «О памяти и припоминании» (Вступительная статья к переводу) // Космос и душа. М: Прогресс-Традиция, 2005. – С. 391–406.

5. *Aristoteles A.* DEL SENTIDO Y LO SENSIBLE - DE LA MEMORIA Y EL RECUERDO / A. Aristoteles. – Grecia: Aguilar, 2016. – 52 c.

6. *EGUZKI URTEAGA E.U.* VIDA Y OBRA DE MAURICE HALBWACHS / E.U. EGUZKI URTEAGA // PENSAMIENTO. – 2013. – T. 69, № 258. – C. 149-168. – ISSN 0031-4749.

7. *Pablo Colacrai P.C.* Una revisión del concepto de memoria colectiva / P. C. Pablo Colacrai // La Trama de la Comunicación. – 2010. – T. 14, № 1. – C. 63-73. – ISSN 1668-5628.

8. *Gausa, M., Guallart, V., Muller, W., Soriano, F., Porras, F., & Morales, J.* Diccionario Metápolis de arquitectura avanzada. Barcelona: -2000-. Actar.

9. *Julian Bonder J.B.* LOS TRABAJOS DE LA MEMORIA: REFLEXIONES Y PRÁCTICAS / J. B. Julian Bonder // Memoria. – 2009. – T. 5, № 1. – C. 9-25.

10. *Asensio A.A.* Donde habita el pensamiento / A. A. Ana Asensio // Fundacion arquia. – 2017. – № 1. – C. 5-8.. – 05.2017. – URL: <https://blogfundacion.arquia.es/2017/05/arquitectura-popular-y-memoria/> (дата обращения: 22.02.2023).

11. *Tzvetan Todorov T.T.* Los usos de la memoria / T.T. Tzvetan Todorov. – Chile: signos de la memoria, 2013. – 58 c. – ISBN 978-956-9144-05-9

12. *Patricia Funes P.F. Huyssen, Andreas* (2002). En busca del futuro perdido. Cultura y memoria en tiempos de globalización, / P. F. Patricia Funes // Memoria academica. – 2002. – T. 11, № 12. – C. 263-267.

13. *Vuyisile Msila V.M.* The Liberatory Function of a Museum: The Case of New Brighton's Red Location Museum / V. M. Vuyisile Msila // Anthropologist. – 2013. – T. 15, № 2. – C. 209-218.

CONCEPTS AND METHODS OF MEMORY ARCHITECTURE DESIGN REQUIRED IN COLOMBIA AFTER THE SIGNED OF THE PEACE AGREEMENT

Gomez Lopez A.V., PhD student
*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*
1042205102@pfur.ru

Abstract. Colombia is going through a transition process that began at the end of 2016 with the signing of the Peace Agreement, which put an end to an armed conflict that had lasted for more than 60 years. As part of this process, architectural designs have been developed aimed at the individual and collective improvement of victims, the reintegration of ex-combatants and the good life of local communities.

In this article, the author analyzes some necessary methods for the formulation of architecture in post-war ethnic territories, taking into consideration the sociocultural, economic, and environmental conditions, from a theoretical review of concepts and analysis to a case study, all within the Framework of the doctoral thesis at the Peoples' Friendship University of Russia

Keywords: Architecture for memory, sustainability, local materials, ethnic groups, modernization, cultural center, post-war period, museum of memory

**THE PRINCIPLES OF TRADITIONAL ARCHITECTURE
WITH THE APPROACH OF THE EFFECT
IN IMPROVING THERMAL COMFORT
(FOR EXAMPLE, THE HOT AND DRY CLIMATE OF IRAN)**

Ivan Khalil, Associate Professor,
Khalil-i@rudn.ru

Mahnaz Barekat,
1042225015@pfur.ru

Hadi Ahmadlou,
ahmadlu@yandex.ru

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. Although today the issue of sustainability has attracted the attention of architects and urban planners, but a brief observation of contemporary architecture shows that in practice, buildings rely on the power of technology to meet human needs, and the capabilities of climate and environment in meeting human needs have been neglected in the construction of buildings. While the traditional architecture of Iran in ancient times has always brought thermal comfort to its residents. The coordination of building principles with climatic conditions has resulted in environmental comfort, saving energy and controlling environmental conditions. Therefore, reinterpretation of these features can be used in contemporary architecture as rich patterns of past architecture. The issue raised here is the capacities of native architecture for use in modern architecture. This research, with *descriptive and analytical method* With a practical purpose and with the *method of qualitative and quantitative inference*, a field analysis of native houses in the hot and dry climate of Iran (a case study on the houses of Yazd city) was carried out, and data collection was done with the help of *library studies and field observation*. The findings of the research show that in many cases, native housing patterns of hot and dry climates have a significant effect on improving the thermal comfort of building users.

Keywords: principles of architecture, traditional housing, Hot and dry climate, Thermal comfort of the building, Traditional architecture of Yazd

INTRODUCTION

The *traditional architecture of Iran* has unique features that, while paying attention to the environment, also responds to the climatic needs of each region, which is abundantly visible in *hot and dry climate* regions. In this regard, it is possible to improve the architecture of today's buildings by knowing and examining the principles of traditional architecture and the characteristics that are suitable and compatible with the climate. In this research, first, the principles of traditional housing design in hot and dry climates are examined and then, according to the studies conducted and the qualitative investigation of the architectural features of this climate, the effective factors in the thermal comfort of people will be deduced through the structural principles of traditional architecture.

The purpose of this research, *Understanding the design strategies of indigenous housing in hot and dry areas that meet the needs of contemporary housing in relation to the thermal behavior of the building and investigating the effect of the shape of the building in hot and dry areas on the issue of thermal comfort in the building.*

The research hypothesis is based on the principle that the principles of native housing design criteria in thermal comfort the users of the space is effective, in this regard, the main question of this research is how the principles and characteristics of native housing in a hot and dry climate can be effective in the thermal comfort of the users of the building? The findings of the research can lead to providing solutions for the revival of past architecture in contemporary housing in relation to the climate and environmental conditions and improving the quality of design in contemporary housing architecture.

HOT AND DRY CLIMATE

Hot and dry climate is one of the conditions affecting architecture. Climatic features in this region: lack of water, extreme heat in summer along with sand storms at some times of the year and wind blowing in different directions as well as extreme cold in winter. The main indicator of architecture in this climate is introversion. In a hot and dry climate that has strong storms and high heat in summer and extreme cold in winter, harmony with the environment and nature is necessary. In these areas Due to strong sunlight in summer and extreme cold in winter, the location of the building should be in south and southeast direction to

receive more energy in winter season. Also the use of wind deflectors in Hot and dry climate plays an important role in energy management. In fact, wind deflectors do the work of suction [1].

PRINCIPLES OF TRADITIONAL IRANIAN ARCHITECTURE IN HOT AND DRY CLIMATE (YAZD)

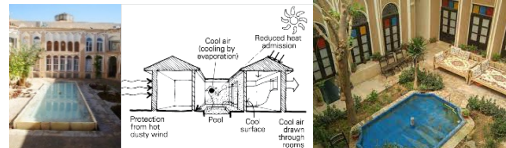
In the hot and dry climate of Iran, native cities have a compact and dense structure and the houses have interconnected walls that the boundary between them is unrecognizable. The orientation of the building largely depends on the general orientation of the city. The main goal in choosing the direction of the building in a hot and dry climate is to minimize the intensity of the sun in the summer and reduce the daily temperature in the interior of the building. Another goal is to maximize the intensity of the sun in winter, and the north-south direction is preferred [2].



Pic. 1. Dense urban structure in the traditional region of Yazd

Central courtyard: In hot and dry climates, the central courtyard is the central focus of houses and is considered a social space with an environmental approach. In Yazd and other cities of the central plateau of Iran, in the front of the courtyard where there is maximum shade, a large open hall is designed, which is usually directly or indirectly connected to the wind turbine. Large rooms behind this hall and Small rooms are located on the other two or three sides of the courtyard. The temperature at the bottom of the central courtyard is cooler than at the top and around the building. With the coming of night, the warm air of the yard rises and is gradually replaced by the cool night air in the lower part of the yard. The cool air is stored in the thin layers of the courtyard bodies and then it is transferred to the spaces and rooms around the courtyard. In the morning, the air in the central courtyard warms up slowly and remains cold until the radiation the sun shines directly on the yard. The hot wind that passes over the house during the day, doesn't

enter into the yard and only creates blind spots in the yard. The floor of the courtyard was paved with square bricks and water and broom were used to clean it, which made the courtyard cool [3].



Pic. 2. The performance of the central courtyard

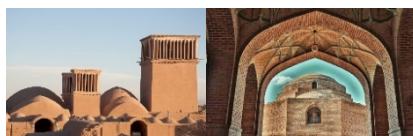
Openings: In hot and dry climates, large windows are less used, especially if they are not prevented from penetrating the interior space by sunshades or proper orientation of the building. Small windows are located in the upper part of the walls and almost under the ceiling. In a hot and dry climate, the outer walls of the central courtyard houses do not have many windows, because only one side of them faces a narrow alley and the other side is the neighboring wall. There are many doors and windows in the inner walls facing the courtyard. Cross-ventilation is done by these windows, and wind deflectors also help to ventilate the interior air [4].



Pic. 3. Windows in the central courtyard

The ceilings: The roof is more exposed to the sun's radiation and heat than the walls of the house. The hemispherical cover of the arch has a convex and non-uniform surface that adjusts the sun's radiation in different directions at different hours of the day by its curved surface. The hemispherical cover of the arch has a convex and non-uniform surface that adjusts the sun's radiation in different directions at different hours of the day by its curved surface. And as a result, it reduces the temperature of the ceiling. The angle of the sun's rays hitting the domed

and arched roofs is different from one point to another, and part of its surface remains in the shade in the morning and evening [5].



Pic. 4. Roofs of houses in Yazd

Wind deflectors: Wind deflector is a part of the body of buildings in hot and dry areas of Iran, which has an effective role in regulating the temperature and bringing the temperature of the living space to the level of human comfort by directing the wind flow and using the clean energy of nature [6]. In the wind deflector, pleasant wind enters from one direction and exits in the back direction due to negative pressure and suction of warm air inside. Also in the path of some windbreaks There was a niche or closet that had a wooden door to control the wind, which functioned as today's refrigerators [7].



Pic. 5. Performance of wind deflectors

Walls: Bulky walls are important elements of native houses in hot and dry climates, which have an average thickness of about *one meter*. *Concrete and brick* are not good thermal insulators, but they have the property of storing heat and transfer it slowly to the interior of the building. by using this Characteristically, the building can be designed to absorb heat during the day and release it at night when the house needs it [8].

Native materials: Native buildings were always built with available materials. In hot and dry climates, *mud* was generally used to build walls. Other materials used to build massive walls were *stone, brick and clay*. These materials are important factors in hot and dry climate.

which have thermal resistance and high heat capacity and absorption of the sun through external surfaces [9].

Color: Color is considered to be a very important and controlling factor in the walls and ceiling, which has the maximum reception and absorption of solar energy. Bright colors on the external surfaces are very effective in reducing the daily temperature of the building and increase the heating capacity and provide the comfort of the residents at night [10].

The advantages of having a central courtyard in the traditional and native architecture of Iran in a hot and dry climate can be categorized as follows: (Table 1).

Table 1

Evaluation of the benefits of native housing in hot and dry climates





| Effective building elements | Benefits |
|---|--|
| <p>Central courtyard</p> <p><i>Effect on ambient temperature</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>A natural space collector of light, wind, water and plants</i> • <i>Cooling and purifying the air before it enters the internal parts of the building</i> • <i>Creating a gentle breeze due to the emergence of the chimney phenomenon in the central courtyard</i> • <i>Absorbing and accumulating cool air during the night and purifying and directing it to the openings of the interior spaces</i> • <i>Breeze, reducing building air pressure and constant ventilation of indoor spaces</i> |
| <p>Openings</p> <p><i>Indoor air conditioning</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Natural ventilation by building many windows in the inner walls facing the yard</i> • <i>Small windows located in the upper part of the windows facing the sun to control the heat inside the building</i> • <i>Preventing the phenomenon of greenhouses in indoor spaces through the small dimensions of the openings and also the wicker curtains of the openings</i> |

| | |
|---|---|
| The ceilings <i>Effective on the comfort zone of the building</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>The distribution of sunlight on a wider surface of the roof by choosing domed roofs</i> • <i>Increasing the height of the internal ceiling due to the dome shape for the exit of hot air from the building</i> • <i>Increasing the speed of air flow and creating climatic comfort by constructing a dome roof</i> |
| wind deflectors <i>Effective in receiving and absorbing energy</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>A natural space collector of light, wind, water and plants</i> • <i>Placing the wind deflector in the direction of the favorable wind to create coolness in the indoor spaces</i> • <i>The operation of natural ventilation by the windbreaker (pulling cool air into the building and removing polluted and hot air outside the building)</i> |
| Walls <i>Effect on thermal behavior based on the comfort of indoor spaces</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Using thick walls due to its thermal advantage (retaining heat during the day)</i> • <i>Creating minimum temperature fluctuations in indoor spaces by building thick walls</i> • <i>Absorption of heat without raising the temperature by thick walls</i> • <i>Using high walls to shade the building and reduce high temperature</i> |
| Native materials <i>Effect on solar radiation</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Minimum energy consumption in the extraction of materials and no need for transportation of materials due to its natural origin</i> • <i>Creating suitable thermal, acoustic and structural conditions by choosing local materials</i> • <i>Zero pollution in the production of materials</i> • <i>Zero fossil energy consumption</i> |
| Color <i>Effective in receiving and absorbing energy</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Increasing the use of bright colors on external surfaces to reduce the daytime temperature</i> • <i>Increasing stability and thermal capacity and providing comfort at night by using light colors on the façade</i> • <i>Using whitewash and plastering on the exterior to prevent receiving solar energy</i> |

In order to evaluate the advantages of native housing in hot and dry climate, the criteria obtained in case examples are examined. The study samples include 8 houses in Yazd city, whose selection index was samples with more frequency. The selected species were selected according to (Table 2) from the comparison of typologies examined in Yazd houses.

Table 2





Investigated typologies in Yazd houses

| Selected examples | 1 courtyard-4Sides | 1 courtyard-3Sides | 2 courtyard-4Sides | 1 courtyard-2 Sides |
|--------------------------|---|---|--|---|
| |  |  |  |  |

Considering that the degree of index of each criterion in terms of design quality is different in each residence, a scoring system has been used to extract the design criteria more precisely. The scoring system of the items is based on the global livability literature, which means that For each component a score in 3 levels poor, good and very Well considered. In this way, the scoring of the criteria is 3, 5, 7 respectively from the least to the most. Point 3 is the lowest level of validity of the criterion in any inspected house and number 7 is the highest level of validity of each criterion.

Table 3

Analysis of the examined criteria in study samples

| | | Elements and forms | Central courtyard | | Openings | | The ceilings | | Walls | | Windbreaker | Native materials | Color |
|-----------------------|--|--------------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|--|
| | | | Plant elements | Cooling pond | Opening for ventilation | Opening form for temperature control | Domed roof for the exit of hot air | High dome roof for shading | Thick wall for heat storage | Wall shading for temperature control | Using a wind-breaker to ventilate and cool | Use of local materials | Use of light colors and materials to control |
| 1 courtyard - 3 sides | Nemato-lahi house  | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 3 | 7 | 7 |
| | Taraghi House  | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 |
| | Fateha house  | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 1 yard 4 sides | Sedasima house  | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |





| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2yard - 4 sides | <i>Mortaz House</i>  | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | |
| | <i>Rasulian House</i>  | 7 | 3 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 |
| 1vard -2 sides | <i>Vaziri house</i>  | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 |
| | <i>Abdolrahi mkhan house</i>  | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 |
| | | 56 | 44 | 50 | 56 | 52 | 48 | 56 | 44 | 50 | 56 | 45 |



Chart1. uantitative chart of the examined criteria in the study samples

RESULTS

The percentage of scores of the linear diagram obtained from the study samples shows the effective role of the mentioned factors in the thermal comfort of the space users.

- The design criteria in all samples are compatible with each other in terms of the use of air flow and connection with the environment.
- In the use of native materials, the construction of native housing is completely in accordance with native materials, and energy consumption has been saved through the use of native materials.
- The thickness of the walls has led to the control of heat exchange during the day and the control of the internal temperature at

night, also the high walls have led to the depletion of the outside air temperature through shading on the walls of the central courtyard.

- Natural ventilation by *wind deflectors* causes cool air to enter the building and warm air from the interior spaces to the outside of the building and cools the interior spaces.

- Due to the dome shape of the roofs during the day, the hot air is pulled up and pushed out, also the shading of the roofs through the curved shape has controlled the temperature.

- The dimensions of the windows and their introversion towards the central courtyard, as well as their placement on the fronts facing the light, control the heat inside the building.

- The use of bright colors on external surfaces plays an effective role in preventing the building from not receiving solar energy.

- The central courtyard plays an effective role in conditioning the air and thermal comfort of the residents through vegetation and evaporative cooling caused by the pond.

CONCLUSION

The results of this research can be used for housing designers in relation to issues related to native architectural criteria and its adaptation in contemporary housing design; The physical criteria of native housing in the hot and dry climate of Iran, which is related to the shape and function of the building in relation to the thermal behavior of the building, includes introversion and the existence of a central courtyard, the correct and appropriate use of materials in the construction of buildings and special construction methods, which these criteria through creating higher thermal comfort, preventing energy exchange between indoor and outdoor space, using renewable energy in heating and cooling indoor spaces, creating a sense of peace and security, Bringing humans closer to nature, zero pollution and zero fossil energy consumption in the production of materials, reducing unnecessary transportation and energy transfers and preventing the occurrence of greenhouse phenomena in indoor spaces to create sustainability in buildings, have paid attention. Now, according to the investigations, it can be said that the hypothesis has been proven and the principles of The characteristics of native housing in a hot and dry climate are effective in the thermal comfort of the building, by applying the valuable principles and criteria of the rich architecture of the past in contemporary architecture, it can be used as

a new form of architectural housing in creating a connection with the past architecture in responding to the environment and creating Sustainable housing should be useful and effective, and it should lead to the revival of native housing architecture in contemporary architecture and the comfort of building users.

REFERENCES

1. *Asgari Nezhad. A.* Compatible Architecture with the climate memarie hamsaz ba eghlim Paper pre sented at the third Conference on Optimization of fuel consumption in buildings, Tehran. 2004.
2. *Memarian G.H.* Iranian architecture, NO 1, Tehran, 2008.
3. *Bahadori M.N.* Natural cooling in hot arid regions, in Solar energy application in buildings, edited by A.A.M. Sayigh, Academic Press Inc. New York, 1977 pp. 195-225.
4. *Boninem M.* Aridity and Structure, Desert Housing, (ED: Golavv.G). New York, no 82.1980.
5. *Haji ghasemi K.* Ganjnameh, culture of works of Islamic architecture of Iran, 2004, NO 17, 2019, pp. 25–36.
6. *Mahmoudi B., Mofidi shamirani M.* An analysis of the architectural typology of windbreaks in Yazd and finding the optimal functional type, Fine Arts Quarterly, NO 36, 2008, pp. 27–36.
7. *Naini F.* Life in the yar, yard in traditional Iranian houses, Tehran, 2002.
8. *Fathi H.* Building with people, translated by Ashrafi A., Tehran, 1993.
9. *Vakilnejad R., Vazirizadeh F., Mofidi Shemirani M.* Principles of Static Cooling Systems in Traditional Iranian Architecture: Journal of the Scientific Association of Architecture and Urban Planning of Iran, NO 5, 2013, pp. 147–158.

СПОСОБЫ ВОСПРИЯТИЯ МОНУМЕНТАЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОЙ ПЛАСТИКИ В АРХИТЕКТУРЕ

Карпусь О.С., ст. преподаватель

*Терехина Е.С. *, ст. преподаватель*

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**terekhina-es@rudn.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются основные характеристики монументально-декоративной скульптуры, и различные уровни восприятия пластики зрителем. Целью нашей работы является выявление значимости размера, детализации, цвета и материала скульптуры, относительно архитектурного пространства и основных принципов пространственной структуры. В результате исследования установлено, что восприятие архитектурной пластики формируется в зависимости от размеров пространства архитектурной среды.

Ключевые слова: монументально-декоративная пластика, скульптура, архитектура, уровень восприятия, синтез архитектуры и скульптуры, внешний облик сооружения

Исследуя синтез искусств, в частности архитектуры и монументально декоративной скульптуры, выявлены проблемы взаимосвязи двух вышеуказанных параллельных искусств. Одной из проблем является соотношение объемов и членений архитектурного сооружения с декоративной пластикой и степень детализации скульптурного образа, с точки зрения восприятия зрителя. Это касается и реалистичной скульптуры, которая тоже нуждается в установлении определенного уровня восприятия в общем тектоническом строе сооружения. Используя различные выразительные средства и специфический язык, скульптурная пластика приобретает эмоциональную нагрузку в пределах синтеза с архитектурой. «Независимо от того, является ли произведение искусства реалистическим или абстрактным, только содержание произведения искусства может определить, какая должна быть выбрана модель и как она должна быть подчинена организации изображения или композиции» [1].

В искусстве скульптуры, которое становится важным участником процесса создания архитектурно-пространственного образа, включенного в окружающую среду, довольно большую роль играет композиционное моделирование в художественном образе здания. В связи с этим монументально-декоративная пластика отражает в художественных образах реальный мир моделирует его по-своему, пользуясь особыми средствами и способами. «В произведения искусства силы, которые находятся в равновесии, остаются видимыми и в этом заключается причина, почему такие неподвижные виды искусства, как скульптура и живопись, могут передать жизнь, полную действия» [1]. Обычно замысел скульптора и архитектора выражен в символических образах и аллегорических фигурах, и их пластическая форма стремится к предельной лаконичности, за счет повышения качества декоративных элементов и раскрывающимся возможностям.

Существует масса исследований и научных экспериментов по теме зрительного и эмоционального восприятия архитектурного сооружения, где монументально-декоративная пластика имеет четкое место и выраженный уровень декоративного восприятия на фасаде здания, и соответственно детализировка пластических объемов зависит от расстояния восприятия объекта зрителем. «Восприятие есть высокоизбирательный процесс не только в смысле концентрации на том, что привлекает внимание, но и в смысле способа рассматривания объекта и обращения с ним» [1]. «Целью зрения является постижение окружающего мира, всего объемлющего окружающего мира, а не только той его части, которая случайно оказалась перед глазами» [2].

Рассмотрим общие способы определения скульптурных функций и характер выявления уровня декоративного восприятия пластики. Для этого необходимо установить основные закономерности взаимосвязи фасадов зданий и различных видов монументально-декоративной скульптуры. Основные принципы пространственной структуры и размеров архитектурного пространства определил и исследовал известный архитектор А.В. Крашенинников, которые обозначились как обобщенная модель, состоящая из социально-пространственных комплексов, масштаб которых формируется относительно определенного ядра или ориентира.

А.В. Крашенинников выделяет такие территориальные участки, как «микространство – место нахождения человека или

группы людей, ограниченное условиями персонального общения. Размеры микропространства колеблются от 1 до 10 метров, формируется вокруг скамьи в парке, остановки автобуса, входа в жилой дом и т.п. Мезопространство – участок территории, включающий несколько мезопространств, объединённых условиями социального контроля. Местами мезопространств являются поляна в парке, пешеходная площадь, жилой двор. Размеры мезопространства колеблются от 10 до 100 метров. Макропространство – участок территории, включающий несколько мезопространств, объединённых пешеходной связью. Примерами макропространств являются городской парк, пешеходная зона общественного центра, междомагистральная территория в современной жилой застройке или квартал в исторической части города. Размеры макро-пространства колеблются от 100 до 1000 метров» [3].

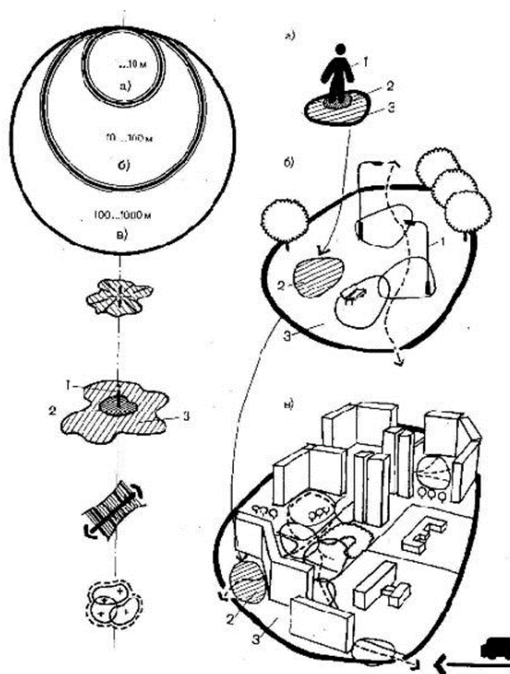


Рис. 1. Крашенинников А.В. Жилые кварталы:
учеб. пособие для архитекторов и строителей спец. вузов
https://vk.com/album-58080947_180857584

Основные принципы зрительного и эмоционального восприятия определил и исследовал Р. Арнхейм, которые обозначились как приписывание «чему-то» определенного места в системе: расположения в пространстве, степени яркости, величины расстояния [1].

Зрительное восприятие в трактовке Арнхейма – активный, динамический процесс. Зрение не может быть измерено в статических, количественных единицах – сантиметрами, длиной волн и т. д., поскольку оно включает в себя как важнейший, существенный элемент напряжение, динамическое соотношение сил. «Каждая визуальная модель динамична... Любая линия, нарисованная на листе бумаги, любая наипростейшая форма, вылепленная из куска глины, подобны камню, брошенному в пруд. Все это – нарушение покоя, мобилизация пространства. Зрение есть восприятие действия» [1].

На основе данных пространственной структуры, которые подразделяются на различные по масштабам территории, можно выделить несколько групп архитектурно-скульптурного синтеза с учетом способов художественной формулировки, таких как скульптурная форма, степень детализации и уровень восприятия. В зависимости от способов художественной формулировки, утверждаются уровни восприятия монументально-декоративной пластики на соответствующих видах архитектурных пространств.

Таблица 1

| | Вид пространственного комплекса | Уровень восприятия | Виды пластики | Название объекта | Пластика | Размер | Объект | Скульптор/Архитектор |
|----|---------------------------------|----------------------------|------------------|---|--|----------------|----------|----------------------|
| 1. | Микропространство | Высокий уровень восприятия | Рельеф-панно | «Искусственная среда/ Artificial Environment» |  | 130 м x 2,5 м. | Парк | /Recycle Group |
| 2. | Мезопространство | Средний уровень восприятия | Рельеф-панно | «Southpark Seafood» |  | 3,5 м. | Ресторан | Кит Джекелум/ |
| 3. | Макропространство | Низкий уровень восприятия | Венчающая статуя | Возрождение Африки |  | 49 м. | Галерея | /Пьер Гудиаби |

Высокому уровню восприятия соответствует скульптура или монументально-декоративная пластика, которая воспринимается с близкого расстояния в архитектурном пространстве от 1 до 10 метров. Для данного вида скульптуры важны высокое качество скульптуры, сложность пластического объема и детализация, активное применение цвета и текстур.

Среднему уровню восприятия соответствует скульптура или монументально-декоративная пластика, которая воспринимается с расстояния от 10 до 100 метров. Для данного вида скульптуры свойственно снижение качества скульптуры, примитивизация пластического объема и сниженная детализация, активное применение цвета и текстур.

Низкому уровню восприятия соответствует скульптура или монументально-декоративная пластика, которая воспринимается с расстояния от 100 до 1000 метров. Для данного вида скульптуры свойственно снижение качества скульптуры, значительная примитивизация пластического объема и значительная сниженная детализация. Цвет и текстура не влияют на характер и образ пластики, на данном уровне восприятия.

Заключение

В результате нашего исследования выявлено, что средства выражения и характер монументально-декоративной пластики, зависят от уровня восприятия скульптуры зрителем. В зависимости от размеров архитектурного пространства и основных принципов пространственной структуры, определена значимость размера, детализации, цвета и материала скульптуры.

Список литературы

1. *Арнхейм Р.* ИСКУССТВО и визуальное восприятие. – 3-е изд., перераб. и доп. = М.: Издательство Прогресс, 1974. – 384 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/doc170802423_437286785?hash=5Ch0dzfaR38C4g3avjN68ILJg9Sn6FoPLtZdZoOxHXL.
2. *Дж. Гибсон.* Экологический подход к зрительному восприятию. – 2-е изд., перераб. и доп. = М.: Издательство Прогресс, 1988. – 463 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/doc123708210_443118913?hash=rUOwZIC2WYLn2i

FPr1GhBnHdxz4I4nPrCUUwSzYoPP&dl=VZg8MtChpueHFvnaPgKzSPhh8qrvY2iPeJt3NiDhsY8.

3. *Крашенинников А.В.* Жилые кварталы: учеб. пособие для архитекторов и строителей спец. вузов / под общ. ред. Н. Н. Миловинова, Б. Я. Орловского, Л. Н. Белкина. – Москва: Высш. шк., 1988. – 87 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/album-58080947_180857584.

4. *Лежава И.Г.* Архитектурное пространство и функция // Проблемы архитектуры. – М.: Стройиздат, 1981.

5. *Бембель И.* Среда обитания или Что может архитектура? // Капиталь: архитектура, строительство, дизайн. Петербургский журнал для профессионалов. – 2012, № 2 (22). – С. 19–23.

6. *Иконников А.В.* Архитектура XX века. Утопии и реальность. Т. 1. – М., 2001. – С. 29.

Karpus O.

Terekhina E.

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Abstract. The article discusses the main characteristics of monumental and decorative sculpture, and the different levels of perception of plasticity by the viewer. The significance of the size, detail, color and material of the sculpture is revealed in relation to the architectural space and the basic principles of the spatial structure. As a result of the study, it was revealed that the perception of architectural plasticity is formed depending on the size of the architectural environment.

Keywords: monumental and decorative plastic; sculpture; basic principles of the use of monumental and decorative plastics; synthesis of architecture and sculpture; the appearance of the building

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ГАНЕ

*Кисси Юджин Нейзер**, аспирант

Халиль Иван, старший преподаватель, канд. арх. н.

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**kissineizer@gmail.com*

Аннотация. В данной статье изложен ретроспективный анализ развития архитектурного формирования жилых домов в Гане. Главной целью работы стало определить высококачественную традиционную архитектуру в виде жилых домов, материалов и символических орнаментов Ганы и ее влияние на современную архитектуру страны. Рассмотрена история доколониальной, колониальной и пост-колониальной архитектуры, ее влияние на развитие формирования жилых домов в Гане. Статья раскроет традиционную архитектуру в Гане, включая ее типы, материалы и стиль построения, а также европейскую архитектуру.

Ключевые слова: ретроспективный анализ, архитектурное формирование, колонизация, влияние колонизации на развитие архитектуры, жилые дома, типы жилья, развитие жилых застроек

Введение

Жилая архитектура в Голд-Косте, Гана, с исторического прошлого состоит из традиционных зданий различных конструкций. С одной стороны, европейские, азиатские и ближневосточные типологии такие как замки, крепости, дороги, железные дороги, церкви, школы, больницы, жилые здания и т.д. Колонизация страны (1843) ускорила физическое развитие страны. Например, строительство губернатором Гугтисбергом, геодезистом, гавани Такоради, средней школы Ачимота и больницы Корле Бу знаменует собой важный поворотный момент в социально-экономическом развитии страны [8].

До того, как европейцы захватили Голд-Кост (ныне известный как Гана), большая часть домов была построена из местных материалов. Эти дома были построены в соответствии с традиционной

технологией. Ганские семьи в основном управлялись расширенной семейной системой. Поэтому архитектурный стиль большинства домов был построен в стиле внутреннего двора, известного в народе как «многоквартирные дома». В основном это были одноэтажные здания [7]. Однако ситуация изменилась во время колонизации и пост-колонизации. Внедрение нового стиля строительства и использование новых материалов оказало большое влияние на традиционную архитектуру страны.

Цель исследования – изучение старой традиционной архитектуры и архитектуры периода колонизации и пост-колонизации и также ее включение в современную архитектуру Ганы.

Доколониальная Гана

До прибытия европейцев в Гану на традиционную архитектуру Ганы в основном влияли размер семьи или группы в поселении, религиозные верования, а также климатические условия. Большинство доколониальных зданий в основном были сделаны из глины и укоренены с помощью пальмовых ветвей. Здания были спроектированы в стиле многоквартирных домов или с внутренним двором. Это позволяло всем членам определенной линии жить в одном и том же комплексе. Проект дома был направлен на использование общинной культуры людей и поддержку создания системы расширенной семьи [11, 1].

Глинобитные дома обладали качественной прохладой в жарком тропическом климате, а традиционное здание Ашанти, например, внесено в список Всемирного наследия ЮНЕСКО из-за его впечатляющей конструкции, дизайна, чистоты и комфорта [12].

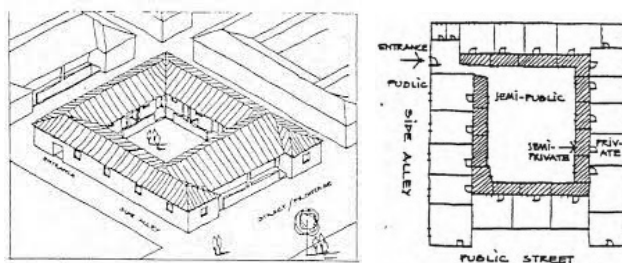


Рис. 1. Многоквартирные дома [15]

Традиционный стиль

Традиционный стиль архитектуры в Гане можно разделить на три категории в зависимости от используемых материалов, географического положения, а также состояния здания и традиций народа.

• *Стиль Южной традиции*

Известная как Великая цивилизация Ашанти была вдохновлена великим королевством Ашанти в Гане. Так южные районы Ганы приняли новую разработку Ашанти, используя их собственный традиционный материал. Эти дома построены с использованием: плетня и мазни, стен 'атапкаме', высушенных на солнце кирпичных стен, которые были доступны горожанам в зависимости от уровня знаний о зданиях и их способности строить. Эти дома обычно строятся в форме кольцевого или квадратного блока [13].



Рис. 2. Здание атапкаме из плетня и мазни [2, 13]

• *Северный традиционный стиль*

В зонах саванн много соломенных трав. Поэтому сухая солома становится лома становится наиболее распространенным материалом для строительства. Большинство зданий построены либо полностью из сухой соломы, либо частично из глины, а солома использована для создания крыши. Зона саванн, расположенная в северной части страны, характеризуется жителями мусульманского арабского происхождения. Поэтому большинство этих зданий построено в виде купола и имеет круглую форму [9].



Рис. 3. Архитектурный стиль северной Ганы [10]

• *Стиль здания Ашанти*

У Ашанти, племени в Гане, был особый способ добавить символические штрихи к зданию. Эти символы взяты из традиционных символов Ганы, которые можно найти, в том числе, на национальных орнаментах, таких как ткань Кенте. Расположенные вокруг внутренних дворов здания были построены из дерева, бамбука и глиняной штукатурки и первоначально имели соломенные крыши. Уникальные декоративные барельефы, украшающие стены, отличаются смелостью и изображают самые разнообразные мотивы. Распространенные формы включают спиральные и арабесковые детали с изображениями животных, птиц и растений, связанных с традиционными символами «Адинкра». Как и в случае с другими традиционными видами искусства Асанте, эти рисунки не просто декоративные, но и обладают символическим значением, связанным с идеями и верованиями народа асанте, передающимися из поколения в поколение [12].



Рис. 4. Символы адинкра, ткани Кенте, стиль здание Ашанте [12, 14]

Развитие жилой застройки во время колонизации

Колонизация внесла некоторые изменения в стиль домов, с введением фортов и замков датчанами, англичанами и португальцами в качестве своих домов для работоторговли того времени. Замок Осу, построенный датчанами в Аккре где-то в 1661 году, использовался в качестве дома для президента Ганы до 2008 года, когда была построена новая президентская резиденция. Это было четырехэтажное здание. Другие различные европейские жилые дома были построены во время колонизации британцами, которые проживали в основном в Аккре. Несмотря на то, что город еще не был столицей, его близость к морю делала его подходящим для поселения. Дома при такой постройке обычно составляли от одного до двух этажей.

Самые ранние памятники архитектуры на территории Ганы – укрепления, возведенные европейскими завоевателями в XV–XVII веках. Это португальский замок Эльмина с чертами ренессансной архитектуры (1482), голландский Форт Ашер в Аккре (1605), Форт Кейп-Кост (1655), оранжевый форт в Секонди (около 1700) и другие [5].



Рис. 5. Замок Эльмина, замок Осу, замок Кейп-кост [4]

Колонизация страны в 1843 ускорила и её физическое развитие. Множество жилых домов было построено европейскими архитекторами, хотя и с помощью местных строящих, причем была задействована рабочая сила со стороны последних. Кроме того, были использованы европейские стандарты материалов. Дворец был построен в 1925 году англичанами через некоторое время после третьей Англо-Ашантийской войны в 1874 году, когда англичане разрушили первоначальный дворец, построенный Асантесом [5]. Это резиденция великого короля королевства Ашанти в Гане. Хотя вокруг него произошли огромные изменения.



**Рис. 6. Дворец Манхия в Кумаси (Manhyia Palace) [4]
Пост-колониальный**

После завоевания страной независимости в 1957 г. широко развернулись строительные работы в крупных городах. Использовались новейшие строительные материалы (бетон, стекло, алюминий и пр.), роль строительства возрастает (при технической поддержке СССР в Аккре был создан домостроительный завод). Строятся крупные административные и общественные здания, создаются жилые микрорайоны с торговыми центрами, школами и детскими садами [3].

Современная Аккра (НувоРич: АРХИТЕКТУРА СУПЕР-РИЧ)

С течением времени Аккра перешла от использования местных стилей и материалов в строительстве домов к зарубежным постройкам нового типа. Например, был принят менее используемый ранее уровень застройки зданий с жилыми домами средней этажности. Наличие новых материалов и использование высокотехнологичных методов в строительстве проложили путь к динамизму в строительном секторе Ганы.

В современной архитектуре Ганы сегодня сочетаются традиционные символы и современные материалы для строительства некоторых общественных зданий. Примером этого может послужить дом Флагстаффа для президента Ганы. Форма здания была вдохновлена Золотым табуретом народа Ашанти. Это одно из самых важных представлений о божественной природе короля. Здание состоит из четырех корпусов, соединяющихся сверху воздушным мостом.

Здание в основном состоит из стали и стекла. Стекло используется в качестве климатической завесы, которая покрывает все здание. Эти плавные линии контрастируют с очень ортого-

нальным, очень землистым зданием за ним. Это здание состоит из 4 слоев. Они являются настоящими резиденциями и офисами президента и придают зданию его коричневатый цвет [6]. Это здание и многие другие представляют, как традиционная и современная архитектура могут объединиться для становления новой эры в этой сфере.



Рис. 7. Дом Флагстаффа для президента Ганы [6]

| ГРАФИКА АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ | | | |
|--|---|---|---|
| Период 13 век - 14 век | Период 14 век - 17 век | Период 17 век - 20 век | Посколонизация до н.э |
| <p>Период до прибытия европейского. До прихода европейских работников они жили в собственном традиционном доме, построенном из местных материалов. Это позволило всем членам определенной семьи жить в одном и том же комплексе. Приведенная ниже диаграмма дает конкретную иллюстрацию того, как были построены дома.</p>  | <p>Это период расцвета империи Ассанте и их новаторство в традиционном символическом многоквартирном доме. Это также период начала торговли между Ганой и Гансией и начала работ по другим частям мира. Это был период перемен и для Ганы в строительном секторе. Были построены форты и замки, чтобы увеличить торговлю.</p>  | <p>В 1874 году Бом Кост (он в то время назывался Гана) был объявлен британской колонией. Ассанте все еще находились за пределами национальных границ. Англичане, которые прибыли с Португалией, и Голландия все еще рассматривали Гану как часть себя. Были сделаны рисунки, чтобы передать его в дом Голландии. Голландцы, после обретения независимости от дома президента Британцы вели множество строительных работ, включая строительство школы. В 1933 году после землетрясения в Ассанте здания до сих пор существуют.</p>  | <p>После введения независимости (1957) началось строительство в деревнях города. Использовались всевозможные материалы (фактически в том числе бетон, стекло, алюминий) и новое строительство при техническом поддержке ООН в Ассанте было создано демонстрационный завод. Строится крупный административный и общественный здания и социальные жилье микрорайоны с торговыми центрами и т.д. и использование традиционных материалов и символов, высококачественных методов строительства в новых конструкциях.</p>  |
|  |  |  |  |
| 13 век | 14 век | 17 век | 20 век |
| Использованы материалы | | | |
|  |  |  |  |

Выводы

1. В ходе научного исследования в первую очередь были выявлены исторический этап архитектуры и типы домов, которые существовали в Гане до колонизации европейцами, типы используемых материалов и их доступность по цене; экономические и социальные преимущества материалов, в том числе благоприятность для климата; метод строительства домов, его преимущества и недостатки.

2. Во-вторых, были раскрыты изменения, произошедшие в стиле архитектурной формы, в типах материалов, используемых в строительстве во время колонизации.

3. В-третьих, появление новых строительных материалов привело к изменению внешнего вида поселений в Гане, и хотя строительство не таким простым, оно сделало его более безопасным, чем при использовании местных материалов. Народная архитектура ассоциируется с многочисленными преимуществами. Однако её внедрение в разработку устойчивых зданий не было должным образом оценено.

4. С другой стороны, несмотря на обеспечение зарубежными материалами легкости и безопасности при строительстве, в современном мире их стоимость просто зашкаливает. Поэтому, очевидно, что необходима разработка местных материалов, а также использование традиционных дизайнов в сочетании с современной архитектурой (с точки зрения стиля и прочности), обеспечивающих идеальный внешний вид и долговечность вместе с сохранением традиций.

Список литературы

1. *Афрам С.О., Дэвид К.* Непрерывность, Полезность и перемены: Городской жилой комплекс в Гане // Международный День открытых дверей 2009. – С. 36–45.
2. Деревня искусств Абетеним и школы утрамбованной земли в Гане. Ссылка: <https://www.fieldstudyoftheworld.com/abetenim-arts-village-and-the-rammed-earth-schools-of-ghana/>.
3. Дом Флагстаффа, Аккра Гане. Ссылка: <https://3rdworldarchitecture.wordpress.com/2018/01/11/the-flagstaff-house-accra/>.
4. Замок в Гане. Ссылка: <https://www.dreamstime.com/photos-images/castle-ghana.html>.
5. Красота Ганской архитектуры в четырех зданиях. Ссылка: <https://theculturetrip.com/africa/ghana/articles/the-beauty-of-ghanaian-architecture-in-four-buildings/>.
6. *Кулькова О.С., Сануси Х.А.* Прошлое и настоящее Российско-ганских отношений: партнерство, проверенное временем // Социальная и экономическая география, 2016, Социальная и экономическая география. – С. 296–309.

7. Культовые проекты домов, которые определяют наши города по всему миру. Ссылка: <https://www.bloomberg.com/news/features/2021-05-06/the-design-history-of-ghana-s-compound-houses>.

8. Культурная энциклопедия. Ссылка: <https://www.culturalencyclopedia.org/an-architectural-history-of-ghana-entry>.

9. Народная архитектура: Гана. Ссылка: <https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-styles/a5577-vernacular-architecture-ghana/>.

10. Народная архитектура Западной Африки. Ссылка: <https://www.architectural-review.com/places/africa/exploring-eye-west-africas-vernacular-architecture>.

11. Проектирование Зданий в Гане: Путь К Сегодняшнему Дню. Ссылка: https://meqasa.com/blog/building-design-in-ghana-road-today/?_ga=2.110945216.436178296.1653924013-1267344116.1653924013.

12. Традиционные здания Асанте. Ссылка: <https://whc.unesco.org/en/list/35/>.

13. Традиционные методы строительства на юге Ганы. Ссылка: <https://ahiglobal.wordpress.com/2012/03/14/traditional-building-methods-in-southern-ghana/>. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/russia-ghana-relations-in-the-past-and-the-present-a-time-proven-partnership>.

14. *Samuel Baah Kissi, Peggy Ama Fening*. The philosophy of adinkra symbols in Asante textiles, jewellery and other art forms. DOI: 10.18488/journal.2.2019.94.29.39.

15. *Samuel Owusu Afram, David Korboe*. Continuity, Utility and Change: The Urban Compound House in Ghana. DOI: 10.1108/OHI-04-2009-B0005.

A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURAL FORMATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN GHANA

Kissi Eugene Neizer¹, PhD student

Khalil I.², PhD of Architecture, Assistant lecturer

Department of Architecture, Academy of Engineering,

RUDN University, Moscow, Russia

¹kissineizer@gmail.com; ²Evanovich_47@yahoo.com

Abstract. This article presents a retrospective analysis of the development of the architectural formation of residential buildings in Ghana. The main goal of the work was to identify high-quality traditional architectures in the form of buildings, materials and ornamental symbols of Ghana and its incorporation in the modern architecture of the country. The history of pre-colonial, colonial and post-colonial architecture and their influence on the development of the formation of residential buildings in Ghana are considered. The article will cover traditional architecture in Ghana, including their types, materials and style of construction, as well as European architecture.

Keywords: retrospective analysis, architectural formation, colonization, effects of colonization on architectural development, residential houses, types of houses, development

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Тюленева П.В., студент

*Департамент архитектуры, инженерная академия,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
yuleneva_polina@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются современные технологические установки для проведения обследований объектов культурного наследия, их преимущества и недостатки. Выбор в пользу старых или современных методов обследований производится на основе сравнения полноты результатов визуального осмотра двумя методами. Целью работы является обзор современных методов обследования объектов культурного наследия и анализ их эффективности. Для достижения данной цели были сформулированы следующие задачи: изучить современные неразрушающие методы обследования объектов культурного наследия; проанализировать отчет о детальном обследовании памятника архитектуры; провести самостоятельное визуальное обследование объекта культурного наследия и проанализировать результат. Согласно результатам исследования, наиболее полную информацию об объекте можно получить, используя современные установки.

Ключевые слова: визуальное обследование; инструментальное обследование; объект культурного наследия; современные технические установки; реконструкция; неразрушающие методы обследования

Введение

На сегодняшний день объектам культурного наследия уделяется огромное внимание. Согласно данным единой межведомственной государственной информационно-статистической системы за 2021 год в реестр было включено 97977 объектов [1]. Для включения в реестр на объекте культурного наследия необходимо провести государственную историко-культурную экспертизу. Данная процедура состоит из ряда мероприятий для обоснования включения объекта в реестр, определения категории историко-культурного значения объекта; установления требований к градострои-

тельным регламентам в границах территорий зон охраны объекта культурного наследия, в границах территории достопримечательного места; обеспечения сохранности объектов культурного наследия, включенных в реестр, и другие. Одним из мероприятий, проводимых на объектах культурного наследия с целью обеспечения их сохранности и дальнейшей безопасной эксплуатации, является обследование.

Существующие методы обследования

Обследование зданий (сооружений) – комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров грунтов основания, строительных конструкций, инженерного обеспечения (оборудования, трубопроводов, электрических сетей и др.), характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта, и включающий в себя обследование технического состояния здания (сооружения), теплотехнических и акустических свойств конструкций, систем инженерного обеспечения объекта, за исключением технологического оборудования[2].

Выделяют три этапа обследования: подготовительные работы, предварительное (визуальное) и детальное (инструментальное). На этапе подготовительных работ происходит ознакомление с объектом, его объемно-планировочным решением, историей, ранее проводимыми реконструкционными работами. Визуальное обследование проводят с целью предварительной оценки технического состояния по внешним дефектам. В процессе проведения визуального обследования производят измерения (например: размеры трещин, смещение элементов и др.) и делают фотофиксацию. Впоследствии изготавливается техническая документация со схемами и ведомостями дефектов с фиксацией мест и характера. Если визуальное обследование не дает полной картины состояния объекта, то проводят детальное обследование. Оно включает в себя определение необходимых геометрических параметров здания, инструментальное определение параметров дефектов и повреждений; определение реальных эксплуатационных нагрузок и воздействий, воспринимаемых обследуемыми конструкциями с учетом влияния деформаций грунтового основания; определение реальной расчетной

схемы здания и его отдельных конструкций; определение расчетных усилий в несущих конструкциях, воспринимающих эксплуатационные нагрузки; расчет несущей способности конструкций по результатам обследования. Так как в нашем случае речь идет об объектах, несущих историческую ценность, любое инструментальное вмешательство должно быть неразрушающим [3].

На данный момент выделяют следующие методы неразрушающего контроля:

- Ультразвуковой и акустический метод (оценка целостности объекта, обнаружение утечек, дефектов);
- Метод магнитных частиц (позволяет обнаружить разрывы и трещины в железосодержащих материалах);
- Метод контроля проникающими веществами (определение наличия трещин и пустот, пористости материала);
- Вихретоковый метод (обнаружение трещин, измерение толщины материала; подходит преимущественно для механических конструкций);
- Вибродиагностический метод (отслеживание сигнатуры вибраций конструкции);
- Электрический метод (определение плотности материала, степени полимеризации, толщины материалов и покрытий);
- Тепловой метод (определение коррозионных повреждений, отложений, пустот, включений);
- Радиационный метод (выявление дефектов материала, посторонних предметов в конструкции, проверка на коррозию).
- Визуальный метод.

Современные неразрушающие технические установки для проведения обследования

Развитие технологий привело к появлению новых методов неразрушающего контроля и усовершенствовало старые методы, путем появления новых технических установок. В таблице 1 приведены примеры современных аналогов первых технических устройств для неразрушающего обследования [4].

Таблица 1

**Первые технические установки для проведения обследования
и их аналоги**

| Первые установки | Современные установки | Назначение |
|--|--|--|
| Оптический нивелир | Лазерный нивелир Leica Lino L6R | Определение усадки фундамента |
| Эталонный молоток К.П. Кашкарова с угловым масштабом; Прибор типа КМ | Ультразвуковой тестер бетона Pundit | Определение прочности бетона в конструкциях |
| Зубило, молоток, линейка | Ультразвуковой дефектоскоп УК-10ПМС | Глубина трещин в бетоне и каменной кладке |
| Щуп, линейка, штангенциркуль | Электронный микроскоп Taijia | Ширина раскрытия трещин |
| Ручной виброграф ВР-1 | Экофизика-110А | Параметры вибрации конструкции |
| Оптическая дефектоскопия | Акустическая установка Sylvomatic by CBS-CBT | Распознавание пород, выявление пороков древесины, влажность, обнаружение синевы и гнилей в древесине |
| Визуальный осмотр конструкции | Наземный лазерный сканер Leica RTC360 | Определение видимых повреждений и дефектов конструкции |

Приведенные устройства в таблице 1 в столбце «Современные установки» не являются единственными используемыми установками.

Несмотря на появление различного современного оборудования для неразрушающего обследования многие компании все еще используют старые технологии. Это вызвано тем, что современные установки имеют ряд недостатков, например, требование высокой квалификации сотрудника, проводящего обследование. Ряд преимуществ и недостатков современных установок из таблицы 1 для проведения неразрушающего обследования приведен в таблице 2.

Таблица 2

**Преимущества и недостатки современных установок
для неразрушающего обследования**

| Современные установки | Преимущества | Недостатки |
|---|--|---|
| Лазерный нивелир Leica Lino L6R | - большая длина рисуемых плоскостей - точность измерений - простота использования - возможность работы нескольких человек по показаниям одного прибора | - высокая стоимость - хранение и перемещение в специальной упаковке - работа от аккумулятора |
| Ультразвуковой тестер бетона Pundit | - широкий спектр исследуемых характеристик - точность измерений - вывод результатов измерений на ПК - возможность использования для различных материалов (конкретно у прибора Pundit) | - высокая стоимость - высокая квалификация сотрудника - работа от аккумулятора |
| Ультразвуковой дефектоскоп УК-10ПМС | - определение физических и механических характеристик материала без взятия образца - точность измерений - формирование отчета в виде числовой таблицы | - высокая стоимость - высокая квалификация сотрудника - работа от аккумулятора |
| Электронный микроскоп Taijia | - точность измерений - простота настройки и снятия показаний | - высокая стоимость |
| Экофизика-110А | - точность измерений - вывод результатов измерений на ПК | - высокая стоимость - работа от аккумулятора |
| Оптико-электронная установка PAUL Wood Scanning System | - точность измерений - большой спектр исследуемых характеристик - исследование внутренней структуры и дефектов | - высокая стоимость - высокая квалификация сотрудника - работа от аккумулятора - стационарное устройство |

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| Наземный лазерный сканер Leica RTC360 | - точность измерений - исследование труднодоступных мест - выявление трещин - вывод 3D модели на ПК [5] | - высокая стоимость - высокая квалификация сотрудника - работа от аккумулятора |
|---------------------------------------|--|--|

Исходя из данных, приведенных в таблице 2, основными недостатками современных устройств для неразрушающего обследования объектов являются дороговизна, потребность в электропитании и высокая квалификация сотрудника, работающего с прибором.

Визуальное обследование объекта культурного наследия

Было произведено визуальное обследование объекта культурного наследия «Усадьба Суханово», расположенного в деревни Суханово Московской области.

Информация об объекте:

Период возникновения: XVIII–XIX века (1805-1824 гг.)

Местоположение: Московская область, Ленинский район, деревня Суханово

Краткая историческая справка: В допетровские времена здесь была царская вотчина, в которую входили деревни Суханово, Лопатино и Боброво, Волконским усадьба досталась в начале XIX века, и уже под руководством княгини Екатерины Волконской строился сохранившийся дворцово-парковый ансамбль. Над созданием поместья, надворных построек и парка трудились петербургские архитекторы, имевшие отношение к императорскому двору.

Объекты в составе усадьбы:

– Господский дом с шестиколонным портиком ионического ордера типичен для русской усадебной архитектуры начала XIX века.

– Усыпальница князей Волконских

– Сухановский парк

утрачены: павильон «Эрмитаж», катальная горка, сфинксы и пристань у пруда, обелиск с двуглавым орлом

сохранены: Беседка «Храм Венеры», Скульптура «Девушка с кувшином», Одноарочный мостик, Дом причта (1820-е годы)

Состояние на сегодняшний день: По состоянию на 2013 год господский дом занимает частный детский лицей.

Приборы, используемые при проведении обследования:
фотоаппарат, линейка, штангенциркуль, шуп.

Предварительные результаты проведенного визуального обследования сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Анализ визуального осмотра Усадьбы Суханово

| Объект | Описание повреждений | Предварительная оценка повреждений |
|---------------------------|--|------------------------------------|
| Кухонный флигель (рис. 1) | Деструкция отделочных слоев фасада (рис. 2) | Незначительные |
| | Часть цоколя механически повреждена, покрыта мхом. Возможны повреждения каменной кладки (рис. 3) | Значительные |
| Дом управляющего (рис. 4) | Трещина в стене с парковой стороны по всей высоте здания (с возможным продолжением в фундаменте) шириной раскрытия более 50 мм (рис. 5) | Критические |
| | Трещина в стене (правый торец) по всей высоте здания шириной раскрытия более 50 мм | Критические |
| | Деструкция элементов кирпичной кладки | Критические |
| | Механические повреждения цоколя здания | Значительные |
| | Трещина в стене (левый торец) длиной 560 мм шириной раскрытия не более 30 мм | Значительные |
| | Трещина в стене (левый торец) по всей высоте 1 этажа шириной раскрытия не более 50 мм | Критические |
| | Обрушение лестницы входной группы | Малозначительные |
| | Трещина в стене (входной фасад) длиной 360 мм шириной раскрытия не более 30 мм с последующим деструкция кирпичной кладки над дверным проемом | Критические |

| | | |
|---------------------------------|---|----------------|
| Ротонда-Усыпальница (рис. 6) | Деструкция отделочных слоев на фасаде и фасадных элементах | Незначительные |
| | Механические повреждения цоколя, покрытие мхом (рис. 7) | Значительные |
| | Деструкция кирпичной кладки в местах повреждения отделочных | Незначительные |

Исходя из полученных результатов, видно, что объект «Усадьба Суханово» нуждается в реставрации. Проведенный осмотр показал, что в критическом состоянии находится Дом управляющего, но точное заключение можно сделать лишь при проведении детального (инструментального) осмотра.



Рис. 1. Общий вид



Рис. 2.



Рис. 3.



Рис. 4. Вид с парковой стороны



Рис. 5.



Рис. 6. Вид с парковой стороны



Рис. 7.

В качестве визуального осмотра, проведенного современными установками, рассмотрим Детальное обследование строительных конструкций зданий объекта культурного наследия «Усадьба Бутина», проведенное научно-исследовательским и проектно-чертежным учреждением «Венчур». В данном обследовании использовались устройства, среди них – ультразвуковой толщиномер А1207, лазерная рулетка Leica DISTO D8 и др. [6].

В ходе анализа двух результатов обследований видно, что визуальное обследование с применением современных приборов дает более широкий спектр информации, например, точные габариты здания и размер повреждений на нем.

Заключение

Объекты культурного наследия представляют огромную ценность, так как они являются памятником архитектуры и осязаемой частицей истории нашей родины. На сегодняшний день разработано множество неразрушающих методов обследования и контроля конструкций. Для этих методов разработаны и усовершенствованы различные технологические установки. Современные установки позволяют при минимальном количестве исследований получить максимальную информацию об объекте, но их используют редко, в силу дороговизны.

Чтобы делать обследование максимально детальным, но при этом снизить экономические показатели, стоит использовать технические установки, позволяющие определить наибольшее число необходимых характеристик. Также, для снижения затрат на высоко-

техническое оборудование, стоит комбинировать его использование совместно с традиционными приборами.

Список литературы

1. Единая межведомственная информационно-статистическая система
2. ГОСТ 31937–2011 ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ Правила обследования и мониторинга технического состояния.
3. ГОСТ Р 55567–2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования.
4. Электронная библиотека Санкт-Петербургского университета высоких технологий. <https://tehlib.com/ispy-taniya-i-obsledovaniya-zdanij-i-sooruzhenij/instrumentalnye-sredstva-nerazrushayuschego-kontrolya-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdanij/>
5. Детальное обследование строительных конструкций зданий объекта культурного наследия «Усадьба Бутина» https://www.ozis-venture.ru/files/docs/Reviews/Obsledovanie_pamyatnika_arhitektury.pdf

MODERN METHODS OF SURVEYS OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

Tyuleneva P.V., student

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia
tyuleneva_polina@mail.ru*

Abstract. Modern technological installations for conducting surveys of cultural heritage objects, their advantages and disadvantages are considered. The choice in favor of old or modern methods of examination is made on the basis of a comparison of the completeness of the results of visual inspection by two methods. The aim of the work is to review modern methods of surveying cultural heritage sites and analyze their effectiveness. To achieve this goal, the following tasks were formulated: to study modern non-destructive methods for examining cultural heritage objects; analyze a report on a detailed survey of an architectural

monument; conduct an independent visual inspection of the cultural heritage site and analyze the result. According to the results of the study, the most complete information about the object can be obtained using modern installations.

Keywords: visual examination; instrumental examination; object of cultural heritage; modern technical installations; reconstruction; non-destructive examination methods

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНЫ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПРИМЕРЫ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гомес Лопес А.В., аспирант

*Руководитель: Бик Олег Витальевич, к.арх.н.,
Департамент архитектуры, инженерная академия,
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
1042205102@pfur.ru*

Аннотация. Архитектура традиционная занимает особое место в истории архитектуры. Она отражает характер географической среды, социально-экономические особенности общества, вкусы и бытовые привычки населения. Дом выглядит как живой и гибкий организм, он постоянно изменяется в соответствии с жизнью семьи.

В мире существует большой регион, охватывающий несколько стран с тропическим климатом, которые имеют традиционную архитектуру и множество древних культур, которые веками сосуществовали в гармонии с джунглями, приспосабливаясь к климату и географическому положению, используя местные материалы, разрабатывая конструктивные методы, характерные для окружающей среды, добиваясь устойчивого развития. Однако принято считать, что их знания противоположны прогрессу и модернизации. И теперь все больше идей современности и глобализации охватывают различные сообщества, отталкивая их от традиционных знаний.

Именно по этой причине целью исследования является расширение этой части традиционной архитектуры, анализ научной литературы, синтезирование в этом образце архитектурных объектов по всему миру, определение реализованного конструктивного метода, настоящий текст представляет ряд конкретных данных и критериев для строительства с глиной, начиная от сбора и систематизации традиционного строительного опыта, заканчивая исследованиями, сделанными о современном структурном дизайне и использовании добавок для лучшей прочности.

Ключевые слова: устойчивость, строительство из глины, саман, архитектурное наследие, ветряные башни

Введение

Строительство с использованием природных ресурсов развивалось на основе наследования знаний, как и все традиционные знания, состоящие из проявления логических ответов на местные потребности, а также на условия и ресурсы, предлагаемые природной средой. Вместе с тем недостаток традиционных знаний заключается в том, что, поскольку они передаются в устной форме и через опыт из одного поколения в другое, редко имеются документы, позволяющие их характеризовать и распространять.

Ниже приведен обзор нескольких российских и зарубежных научных публикаций, в которых утверждается, что землепользование, испытанное в прошлом, содержит множество функций, предлагающих различные архитектурные решения, доказало свою универсальность на протяжении веков в работах, которые теперь являются частью всемирного наследия, положительно влияют на устойчивость окружающей среды, поскольку они являются материалом, производящим минимальные выбросы углерода, они помогают сократить экономические расходы.

Важно поставить себя в центр проблемы и предложить решение. прогресс означает не то, чтобы начать с нуля и сделать что-то другое, а то, чтобы основываться на знаниях, имеющих древнюю ценность, и решать современные проблемы существования в условиях изменения климата с помощью инновационных решений, отражающих постоянное уважение и связь с природой.

Результаты исследования и их анализ

Строительство с использованием земляного материала было сделано с течением времени и во всем мире, поскольку обладают тысячелетней традицией, которая сопровождает почти все культуры во все эпохи человечества. Часть этого великого материального богатства была включена в большой список всемирного наследия архитектуры на земле ООН [1], для проведения этого списка были приняты во внимание I – Типология и методы строительства, II – Текущее состояние имущества, III – Угрозы собственности и IV – Приоритеты действий, включены объекты построенных на земле, варьируется между гробницами, жилищами, стенами, церквями, по поводу латиноамериканского опыта они продвинулись в исследованиях с момента оценки и идентификации доколумбо-

вого наследия и его цивилизации, нашли через строительство с глиной путь к пониманию прошлого и образа жизни наших предков.

В течение почти более трех десятилетий был построен важный концептуальный архив, который позволяет поощрять практику этой архитектуры, и, способствует устойчивому развитию, строительство с земляным материалом переоценивается в рамках Устойчивой и экологической архитектуры, неразрывно связанной с концепциями соответствующих технологий, энергоэффективности, культурные традиции, экологический след и т.д. В соответствии с этим концептуальным подходом его современные архитектурные практики становятся все более известными во всем мире, в которых утверждение земляного материала как строительного проявляется во множестве функциональных и эстетических решений без конкретного географического местоположения.

История земляного материала в мире

Происхождение глины как строительного материала теряется во времени. Есть руины зданий около 5000 г. до н. э., и это архитектурное наследие было найдено на Востоке, в Азии, в Северной Африке, Европе и, более поздние примеры, на Американском континенте.

Объекты, входящие в список объектов всемирного наследия, в основном, относятся к двум группам: археологическим объектам и историческим городам. Вы можете обнаружить много различных стилей и архитектурных методов, которые были использованы в строительстве зданий. Одним из них является: Тулоу – это большое закрытое и укрепленное земляное здание, чаще всего прямоугольной или круглой конфигурации, с очень толстыми несущими стенами из утрамбованной земли высотой от трех до пяти этажей и вместимостью до 800 человек. Меньшие внутренние здания часто окружены этими огромными периферийными стенами, которые могут содержать коридоры, склады, колодцы и жилые помещения, вся структура напоминает небольшой укрепленный город.

Эта деревня, образованная несколькими зданиями в круглых, прямоугольных и четырехугольных формах, имеет укрепленные внешние структуры, которые образуются путем уплотнения земли, смешанной с камнем, бамбуком, деревом и другими доступными материалами, чтобы сформировать стены толщиной до 6 футов

(1,8 м). Ветви, полосы дерева и бамбуковую щепу часто размещают на стене в качестве дополнительного армирования. В результате получается хорошо освещенное, проветриваемое, ветро- и сейсмостойкое здание, теплое зимой и прохладное летом. Тулоу, как упоминал Минору Уэда [2], в своей статье, дает ценные уроки проектирования в отношении пассивных систем охлаждения, предоставляет большой потенциал для применения в современной архитектуре.



Рис. 1. Фуцзяньские тулоу – объект всемирного наследия ЮНЕСКО

Этот комплекс зданий предлагает знать, какие характеристики земляного материала позволили ему остаться в течение длительного времени и продолжать жить с несколькими семьями в Китае.

Характеристики земляного материала

Земля-глиняный бетон. Он является частью этого большого семейства бетонов, общего термина для строительного материала,

состоящего из агрегатов, агломерированных связующим веществом [3]. Эти гранулированные материалы имеют сходство в поведении и специфических свойствах. Изучение и знание технических характеристик сырья земли необходимо для хорошего дизайна здания. Они позволяют в полной мере использовать возможности Земли в стратегическом выборе реализации и понимать явления, которые могут привести к последующим патологиям.

Глина

это рыхлый материал, возникающий в результате трансформации основной родительской породы. Это обусловлено более или менее одновременным взаимодействием климатических факторов (солнце, ветер, дождь, мороз), биологических агентов (флора и фауна), миграции веществ (через дождь, испарение, грунтовые или поверхностные воды) и химических и физических изменений. Выбор типа земли для строительства имеет решающее значение, не все земли подходят для этого, и это зависит от использования и тип глины. Поэтому необходимо знать конкретный состав почвы, чтобы иметь возможность анализировать ее характеристики и при необходимости изменять их. Как правило, большое содержание одного из компонентов затрудняет его использование или опасно, поэтому важно найти землю с подходящими пропорциями каменистого материала [4]. Почвы, подходящие для строительства, обычно расположены в промежуточном слое, также называемом «горизонт В», между глубиной 50 сантиметров и 2 метра, они обычно не содержат органического вещества. Во внешнем слое земли находится самое высокое содержание органического вещества (остатки животного и растительного происхождения), что делает невозможным установление будущего поведения земли, ставя под угрозу ее долговечность и прочность в качестве материала для строительства. Кроме того, желательно исключить почву, содержащую растворимые соли, которые при контакте с водой могут переместиться в разные части массы, вызывая ослабление структуры или поверхностные выцветания (максимум 2 %).

Акустические свойства

Хотя все еще довольно плохо документировано, акустические свойства земли считаются хорошими. Земляная отделка,

довольно грубая, обладает удовлетворительной абсорбционной способностью и поэтому приносит замечательную акустическую коррекцию. Это явление усиливается для низких частот увеличением толщины материала. Земля, благодаря своей высокой плотности, улучшает звукоизоляцию стен.

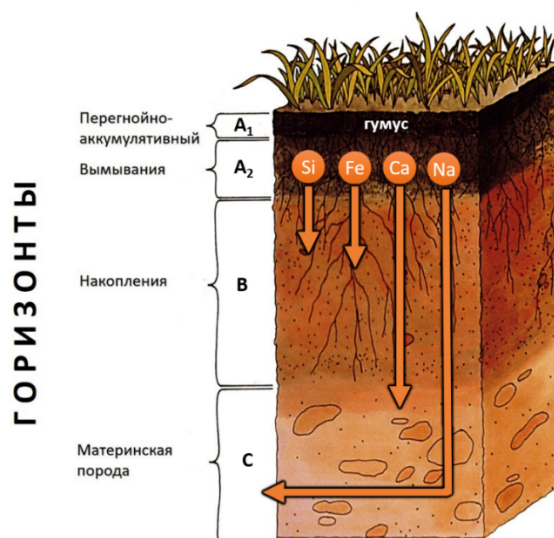


Рис. 2. Схема строения почвенного профиля

Важнейшими свойствами грунтов, направленными на их использование в строительстве, являются:

а) В выборе: гранулометрический состав, пластичность, втягивание и пористость.

б) При контроле исполнения: влажность и степень уплотнения.

Поведение при пожаре

Необработанная земля, как минеральный материал, такой как камень и цементный бетон, негорючая и классифицируется A1 по европейскому стандарту, M0 по французскому стандарту. Если его смешать с большим количеством волокна на 1 % от его объема или массы, в зависимости от того, что является наиболее неблагоприятным случаем, следует провести реакцию на огневые испыта-

ния. Вообще говоря, конструкции из сырой земли обладают хорошей устойчивостью к ней. Например, перегородка из сжатого земляного блока толщиной 9,5 см соответствует критериям гидроизоляции и противопожарной изоляции в течение 45 мин.

Чувствительные качества

Сырье земли признано за неоспоримые эстетические и тактильные качества, в том числе благодаря их улавливающему свет поверхностному зерну и теплым, естественным тонам.

В мире существуют разные виды применения глины, объяснение каждого из них будет расширено.

- Саман

Саман – слово, которое происходит от арабского «аль-туб», представляет собой необожженный кирпич, строительный материал, изготовленный из глиняной массы (глины и песка), иногда смешанной с соломой, сформованный в кирпичную форму и высушенный на солнце.

Использование пресс-форм или ящиков правильной геометрии способствует, с одной стороны, увеличению скорости конструктивного производства, но, прежде всего, напрямую влияет на увеличение сопротивления конструкций, это проявилось в возможностях изготовления более высоких и сложных конструкций. Процесс формования позволяет поддерживать контроль качества деталей по форме, размерам и грузоподъемности, а также облегчает их оснастку и запираение в стыках стен, что позволяет сохранить устойчивые здания на протяжении веков.

Саман обладает определенными тепловыми свойствами, позволяет создать комфорт в доме, так как летом освежает, а в зимнее время эти дома сохраняют тепло. Мы должны также принимать во внимание другие аспекты, которые имеют большое значение, такие как, например, вес этих саманов намного больше, чем у обычного кирпича или блока; что приводит к тому, что во время землетрясения он разрушается гораздо быстрее, также имеет тенденцию представлять изменения в устойчивости здания.



Рис. 3. Строительство в саман и Город Арг-э Бам в Иране

Шибам, Йемен

Город Шибам в Йемене, прозванный «Манхэттен пустыни», частично построен из самана. С землей и своими руками в качестве единственных инструментов каменщики города построили здания высотой 29 м. Стены имеют «плоды», они шире у основания, чем наверху – а отверстия более многочисленны и шире к крыше зданий.

Техника, в основном, состоит из Строительства глиняных блоков, они варьируются в соответствии с местной традицией, которые сушатся на солнце и впоследствии позволяют строить несущие конструкции стен, арок, сводов или куполов путем перекрытия нитей.

Арг-э Бам (ارگ بم на персидском языке, Цитадель Бама) был самым большим зданием в мире, сделанным из формованной глины, сочетающей в себе такие методы, как саман и грязь [10]. Он был расположен в Баме, городе в провинции Керман, на юго-востоке Ирана. Наряду с его окрестностями он считается объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО. Огромная цитадель, расположенная на Шелковом пути, была построена до 500 года до нашей эры.

Кондиционирование

В дополнение к смотровым башням и богато украшенной вершине стен на линии горизонта крепости следует выделить «ветроуловители» или «ветряные башни» (персидский: badgir بادگیر). Это структуры, которые выступают из зданий, чтобы поймать ветер и направить его внутрь. Иногда воздух проходил через пруд с водой в здании, чтобы охладить его и удалить пыль. Различные типы «ветряных башен» использовались в разных зданиях. Например, существуют четырехполосные ветряные башни для больших зданий, которые способны улавливать ветер с разных сторон, а для небольших зданий есть односторонние башни [11].

Землебит

Это технология строительства стен из прессованной почвы. Является одним из древних методов строительства с использованием природного потенциала для изготовления устойчивого строительного материала, был известен на континентах мира как один из традиционных методов строительства стен, даже в Ассирии были найдены основы этой техники, датируемые 5000 г. до н. э. В археологических зонах культур Яншао и Луншань, расположенных в Китае, было засвидетельствовано использование утрамбованной земли. Дома Яншао были построены в эпоху неолита-бронзы недалеко от Желтого бассейна. Из-за необходимости этих крайне кочевых народов переселиться, в этом процессе они вырыли округлую прямоугольную яму глубиной в несколько футов. Затем их утрамбовали, а над ними соткали решетку. Затем его оштукатурили грязью. Пол также был утрамбован. Были добавлены структурные узлы для поддержки крыши. Затем его покрыли соломой со стеблями проса. Мебели было мало: неглубокий камин посередине с табуретом, скамейка вдоль стены и матерчатая кровать. Продукты питания и предметы размещались или подвешивались к стенам, частично за пределами гаража для животных [8].

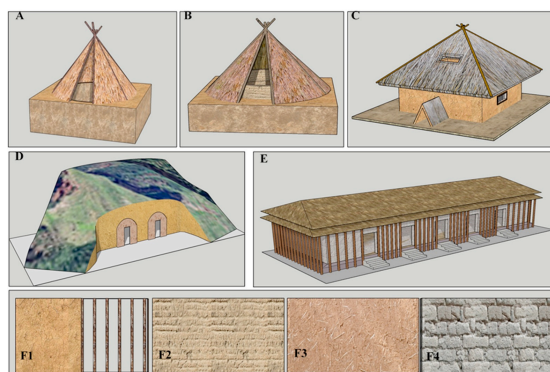


Рис. 4. Изменение структуры жилищ в эпоху неолита-бронзы в бассейне Желтой реки

Формы и формы старых домов: (A) без стен; (B) колодезный полудом с низкими стенами; (C) наземное строительство; (D) пещерное жилище; (E) дворец; (F1) глиняная стена с деревянным каркасом; (F2) утрамбованная земляная стена; (F3) грязевая трава, уложенная смешанной стеной; (F4) саман

Здания из Землебита также встречаются по всему Средиземноморью и на той же широте в Иране, Пакистане, Индии и Китае. Повторное открытие утрамбованной земли в качестве устойчивого строительного материала привело к ее использованию в Австралии и на юге Соединенных Штатов с начала 1970-х годов [7]. Сегодня утрамбованная земля получает повышенный интерес, поскольку устойчивые методы строительства становятся все более важными. В Латинской Америке, например, были установлены строительные стандарты для людей, не имеющих званий архитектора или инженера, это активизировало использование глины и бамбука, что способствовало доступу к жилью для людей из сельских территориях, которые не имеют достаточно денег для найма профессионала.

Бахареке

Бахареке – это техника строительства с глиной, где используется ряд переплетений, покрытых смесью грязи, эти переплетения обычно из различных материалов, таких как: дерево, тростник, бамбук.

Смесь состоит из перемешивания глины с водой и соломой или каким-либо подобным волокном, создающим консистенцию между пластиком и вязкостью, эта смесь помещается на структуру, которая работает как скелет. Волокна обеспечивают большую сплоченность и предотвращают появление слишком большого количества трещин и падение осколков со стены.

Этот метод реализован для установки разделительных стен, поскольку они обычно не используются конструктивно, однако они могут быть усилены структурным каркасом, который может выполнять функцию сопротивления вертикальным нагрузкам.

Блок из сжатого грунта СЕВ

Техника СЕВ (*Compressed earth block*) является результатом уплотнения земли, создавая состояние вещества, которое, имея достаточную влажность, может сохраняться в компактной форме, затем через ручной пресс все эти частицы распределяются, создавая таким образом уплотненный земляной кирпич, для его разработки в большинстве случаев используется ручная машина, хотя вы можете использовать некоторые вариации механических машин, эти машины выполняют функцию придания формы кирпичу.

Смесь может быть из разных комбинированных материалов, но наиболее распространенной будет просеянная земля и в некоторых случаях смешанная с очень низким процентом цемента, это от 3 до не более 10 %, однако, чтобы добраться до этого, придется делать различные тесты, но одним из самых важных будет сжатие и капиллярность; но чтобы проверить его работу, его придется проанализировать в лаборатории. Основные нормы и стандарты стали результатом обширных исследований (таблица 1) [6], благодаря которым эти стандарты теперь служат основой для формулировок экологических проектов, которые сокращают выбросы углерода и способствуют устойчивому развитию стран Европы, которые посвятили все исследования этому типу испытаний, включая Новую Зеландию и Францию, Центральную Америку, Южную Америку и США наряду с некоторыми странами африканского континента.

Таблица 1

Основные нормы и стандарты стали результатом обширных исследований, таблица и перевод автора

| Стандарт | Страна | Год | Выборка эксперимента | Требуемое сопротивление (МПа) | |
|--|----------|------|---|-------------------------------|-------------|
| | | | | сух | насыщенный |
| АФНОР ХР Р 13-901 Кому. | Франция | 2017 | ВТС разделен на 2, уложенный цементным раствором толщиной 1 см, или тот, который будет использоваться в работе (состав и материал). | 2 4 6 | 1 2 3 |
| НМХ С 508 В. | Мексика | 2015 | ВТС, в горизонтальном положении. | 3 6 9 | - |
| АБНТ НБР 8491 С- | Бразилия | 2012 | ВТС разделен на 2, усажен цементной пастой толщиной 3 мм. | - | 2 |
| NMAC 14.7.8 D. | США | 2009 | ВТС, в горизонтальном положении. | 2.1 | 2.1 |

| | | | | | |
|-----------------------------|----------|------|---|---------------|-------------|
| УНЕ 41410 И. | Испания | 2008 | Весь ВТС или половина ВТС, в горизонтальном положении. | 1.3 3 5 | - |
| НТЦ 5324 F. | Колумбия | 2004 | ВТС разделен на 2, уложенный цементным раствором толщиной 1 см, или тот, который будет использоваться в работе (состав и материал). | 2 4 6 | 1 2 3 |
| ИС 1795 G. | Индия | 2002 | Весь ВТС, в горизонтальном положении. | - | 2 3.5 |

Выводы

Глина является очень прочным строительным материалом, о чем свидетельствует наследие, которое по всему миру сохранилось до наших дней в удивительном состоянии целостности. По этой причине представляет большой интерес его возможное применение как для консервации и реставрации объектов, изначально построенных из глинистых материалов, так и для новых архитектурных объектов. Как известно, различные наземные методы строительства являются полностью устойчивыми с экологической, экономической и социокультурной точек зрения. Это очень богатый материал, с которым легко обращаться, который совместим с большинством конструктивных систем и который уравнивает температуру помещений. Кроме того, благодаря их пригодности можно увеличить или уменьшить их долговечность, механическую в зависимости от требуемого использования. Глины широко применяются в промышленности (в производстве керамической плитки, огнеупоров, тонкой керамики, фарфора-фаянсовых и сантехнических изделий), строительстве (производство кирпича, керамзита и др. стройматериалов), для бытовых нужд, в косметике и как материал для художественных работ (лепка).

Можем показать влияние использования глины на протяжении всей истории архитектуры, положительно влияя на устойчивую архитектуру, посредством анализа методов строительства из глины, исторических аспектов зданий и основных норм и стандартов. Учитывая эти результаты, использование глины в архитектуре будет иметь решающее значение. Глина в строительстве будет иметь

множество преимуществ в пространственном отношении на территориях с ограниченным доступом к другим технологиям и которые требуют срочных архитектурных решениях.

Список литературы

1. *Gandreau D., Delboy L.* Patrimoine mondial: inventaire de l'architecture de terre. – 7-е изд. – Paris: UNESCO, 2012. – 280 с.
2. *Ueda M.* A Preliminary Environmental Assessment for the Preservation and Restoration of Fujian Hakka Tulou Complexes // sustainability. – 2012. – № 4. – С. 2803–28017.
3. *Савицкий Н.В.* Эффективная технология производства самана // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 4. – С. 11–15. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2014_4_4.
4. *Моисеева В.И., Пирогова Я.В., Тюменцев М.Е., Паньков П.А.* Техничко-економическіе обоснования применения глины в энерго-эффективном строительстве // Инновации и Инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 272–274.
5. *Guerrero Baca L.F.* Potencial ecológico de la edificación con adobe // UAM. – 2014. – № 1. – С. 23–35.
6. *Cabrera S., Gonzalez A., Rotondaro R.* Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo // Informes De La Construcción. – 2020. – № 560. – С. 1–12.
7. *Patel A.* Stabilization of rammed earth // IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2014. – № 3. – С. 1298–303.
8. *Peng Lu., Yan Tian., Storozum M., Chen P., Wang H., Wang X., Xu J., Jing L., jie L., Zhang L., Duowen M.* Shifting Patterns of House Structures during the Neolithic-Bronze Age in the Yellow River Basin: An Environmental Perspective // LAND. – 2021. – № 10. – С. 1–16.
9. *Рахимов Р. & Рахимова Н.* К развитию и расширению глинобитного строительства // Academia. Архитектура и строительство. – 2021. – № 1. – С. 170–175.
10. *Petralla S.* Arches and Ribbed Vaults of the Iranian Tradition // MASONS AT WORK-University of Pennsylvania, Phialdelphia, PA. – 2012. – № 1. – С. 1–14.

11. *Ahmadkhani Maleki b.* Wind catcher: passive and low energy cooling system in iranian vernacular architecture // *ijtp Journal*. – 2011. – № 3. – C. 130–137.
12. *Catro J., Cruz T., Puig T., Vilanova, Martinez R., Baez H., Castañeda C., Ortega J., Perez S., Aguila F., Vilanova de Allende R.* Architecture of earth: adobe as construction material in the Prehispanic epoch // *boletin de la sociedad geologica mexicana*. – 2017. – № 2. – C. 177–188.
13. *Niroumanda H., *, Zainb V., Jamilc M.* Assessing of Critical Parametrs on Earth Architecture and Earth Buildings as a Vernacular and Sustainable Architecture in Various Countries // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – № 89. – C. 248–260.
14. *Peric A.* Characterization of materials used for earth architecture in Eastern Croatia // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – № 1. – C. 1–7.
15. *González I., Rojas J., Ortega M.* Structural and architectural optimization from topological logics to constructive solutions for land architecture in pelaya cesar // *revista boletín redipe* 9. – 2020. – № 4. – C. 216–224.

THE USE OF CLAY AS AN ECOLOGICAL MATERIAL, EXAMPLES AND MAIN CHARACTERISTICS

Gomez Lopez Angie Vanesa

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia
0422051102@pfur.ru*

Abstract. Traditional architecture occupies a special place in the history of architecture. It reflects the nature of the geographical environment, socio-economic characteristics of society, tastes and everyday habits of the population. The house looks like a living and flexible organism, it is constantly changing in accordance with the life of the family.

There is a large region in the world, covering several countries with a tropical climate, which have many ancient cultures and traditional architecture, which have coexisted for centuries in harmony with the jungle, adapting to the climate and geographical location, using local materials, developing constructive methods characteristic of the environment,

achieving sustainable development. However, it is generally believed that their knowledge is the opposite of progress and modernization. And now more and more ideas of modernity and globalization are embracing various communities, pushing them away from traditional knowledge.

It is for this reason that the purpose of this study is to expand this part of traditional architecture, to read various studies in different places around the world, to synthesize architectural objects around the world in this sample, to determine the implemented constructive method, this text presents a number of specific data and criteria for construction with land, starting from both the collection and systematization of traditional construction experience as from research done on modern structural design and the use of additives for better strength.

Keywords: sustainability, clay construction, adobe, architectural heritage, wind towers

ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МУЗЕЕВ И ИХ АРХИТЕКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ (I–XIX вв.)

Соловьева А.В., к.пед.н., доцент

solovyeva_anv@pfur.ru

Аун В.Ж., аспирант

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

1042215036@pfur.ru

Аннотация. Данная статья представляет собой краткий исторический обзор возникновения музеев с первых лет до XX в. и их архитектурные особенности. Целью исследования является изучение эволюции архитектуры музеев и их архитектурных особенностей. Задача – выявление закономерностей формирования музейной архитектуры на основе развития идеи создания музея.

Методы исследования заключаются в использовании историко-архитектурного анализа и синтеза, для чего было выбрано несколько известных музеев и проведен сравнительный хронологический анализ.

В результате исследования мы можем сделать вывод – архитектура музеев не отличается последовательностью и преемственностью на протяжении всей своей долгой истории.

Ключевые слова: музеи, история музеев, архитектура музеев, эволюция музеев.

Слово «музей» часто ассоциируется со зданием, но в самом начале истории появления музеев это понятие обозначало коллекцию предметов (экспонатов) по искусству и науке. На самом деле, в древнегреческом языке термин «Мусейон» (музей) означал священное место – «храм музы¹» [1]. Сам музей был описан как место для изучения и сбора артефактов и коллекций богатых людей или учреждений искусства, а с XVIII века уже включает в себя здание.

¹ Музы – богини в древнегреческой мифологии, дочери бога Зевса и Мнемосины, покровительницы искусств, литературы, истории и наук. Музам посвящались храмы, которые назывались «мусейонами» - от этого слова и произошло слово «музей».

Старейший в мире музей был построен 2500 лет назад в период Нео вавилонской империи, но только в 1925 году его открыл археолог Леонард Вулли [3]. Музей Эннигальди-Нанны (540 г. до н.э.) находился в штате Ур, расположенном в современной провинции Ди Кар в Ираке, и представлял собой квадрат, разделенный, как будто, на маленькие и большие комнаты, образующие своего рода лабиринт (рис. 1, 2).



Рис. 1. Руины, показывающие, что осталось от музея Эннигальди

Источник:

<https://www.middleeasteye.net/sites/default/files/2021-02-2>

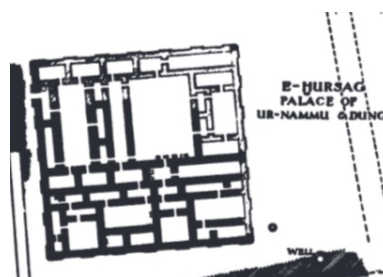


Рис. 2. План теменоса Ура в нововавилонский период (адаптировано из работы Вулли и Маллоуэна, 1962)

Источник:

<https://cnx.org/resources/2df0f390b3a4e4bc0f4865d16544e6a96fc57b11/figure4.jpg>

Однако, в **XV веке** возникла идея создания частных пространств для выставок в существующих дворцах, таких как Палаццо Медичи (Риккарди), который открылся около 1440 года во Флоренции (рисунок 3) [2].

Позже в **XVI-XVII веке** музеи были не только во дворцах, но и в резиденциях правителей, политиков, ученых, врачей. Например, в Мюнхенской Резиденции (в Германии), построенной в 1385 году, было создано специальное место для показа (между 1569–1571 годами), которое называли «Антиквариум». Это было сооружение длиной 66 м, стенки которого были покрыты узорами и красками, с нишами и плинтусами (рисунок 4) [2]. Конец **XVII века** ознаменовался переходом от специально спроектированных част-

ных помещений к общественным зданиям, таким как университеты и академии (например: Бергамо, Италия), церкви или монастыри (например: аббатство Безансон – старейший общественный музей во Франции) [2].



**Рис. 3. Палаццо Медичи
(Риккарди)**

Источник:
<https://www.artesvelata.it/wp-content/uploads/2021/05/Michelozzo-Palazzo-Medici-arte-svelata.jpg>

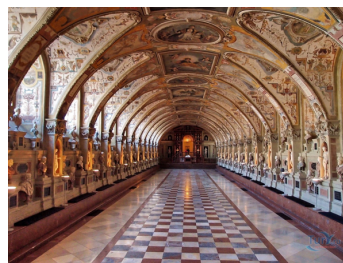


Рис. 4. Антиквариум

Источник:
<https://www.tury.ru/img.php?gid=315691&pid=2123960&v=1200>

В XVIII веке музей стал объектом изучения и осознанного проектирования. В это время в России появилось понимание музея как культурного учреждения – даже, если можно было найти существовавший ранее музей, например, Оружейная палата в Кремле или ризница храма Василия Блаженного в 16 веке; но эти коллекции были частными и не предназначались для показа широкой публике [2]. Таким образом, двумя первыми музеями, построенными специально для того, чтобы быть музеем для широкого показа, являются Кунсткамера (1714) (рисунок 5) и Государственный Эрмитаж (1764, а до 1917 г. – Императорский Эрмитаж). Хотя оба музея были в стиле барокко, их архитектурные планы различались.

В Лондоне в 1753–1759 годах был основан Британский музей в архитектурном стиле Греческого возрождения (рисунок 6), приняв четырехугольный план с четырьмя крыльями. Этот стиль получил широкое распространение и стал популярным в конце XVIII века [3].



Рис. 5. Кунсткамера

Источник:

https://myk.yanao.ru/upload/iblock/7d2/Kunstkamera_SPB.jpg



Рис. 6. Британский музей

Источник:

https://www.euromag.ru/storage/c/2014/01/20/1390163252_206881_89.jpg

Архитектура **XIX века** развивалась в условиях, когда в каждой стране смена стилей происходила по собственным законам, не выделяются закономерности, которые были характерны для развития стилей в прошлом. Был своего рода художественный упадок, возникший из-за смещения стилевых канонов и национальных традиций, однако при этом отмечали развитие технологий, использование современных материалов и появление новых форм. В этот период завершилась старая эпоха в развитии мирового зодчества и началась новая, которая обусловила новые пути развития и закономерности. XIX век стал веком установления архитектурной типологии. Французский теоретик и архитектор Жан-Николя-Луи Дюран разработал собственную универсальную методику архитектурного проектирования для всех типов зданий, основанную на модульной сетке из подобных квадратов. Такая рациональная система позволяла ему составлять типовые чертежи планов, фасадов и разрезов зданий самого разного назначения. Он предложил план, включающий: 4 крыла одинаковой длины, каждое с отдельным входом, расположенные в квадрате, в который были вписаны греческий крест и ротонда (в качестве модульного элемента музейного здания) в центре креста (рисунок 7). Этот проект плана стал эталоном для оформления музеев в **XIX** веке [1], что показано на примере «Глиптотеки» и музея Альтес, построенных в том же году - в 1830, в Германии, в неоклассическом стиле. Четырехкрылый план в «Глиптотеке» сформировал линейный путь (рисунок 8). Прямоугольный

план музея Альтес обрамлен двумя дворами, вокруг которых расположены последовательно галереи, связанные с ротондой (рисунок 9). Также необходимо заметить, что вход ведет прямо к ротонде (под вдохновением от Пантеона в Риме). По мнению Певзнера (1902-1983 гг.) музей Альтес позволил Ротонде стать излюбленным мотивом музеев [2].

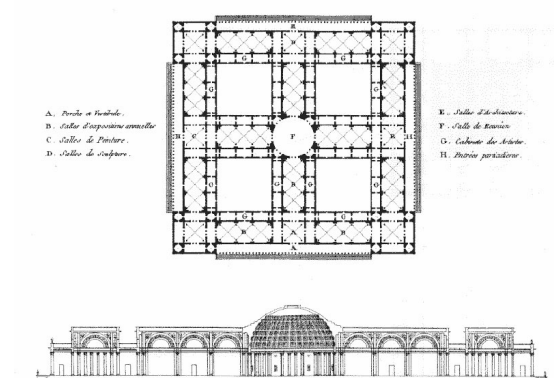


Рис. 7. План, предложенный Дюраном (1802-05 гг.)

Источник: https://www.archaiologia.gr/wp-content/uploads/2014/09/Skotinioti_Volos_Museum_2.jpg

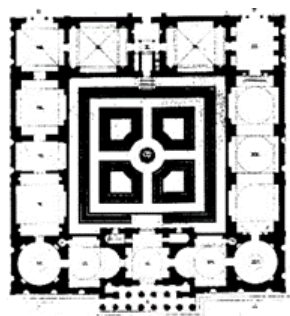


Рис. 8. План Глиптотека

Источник:
https://live.staticflickr.com/2713/4340853944_1b45c39808_b.jpg

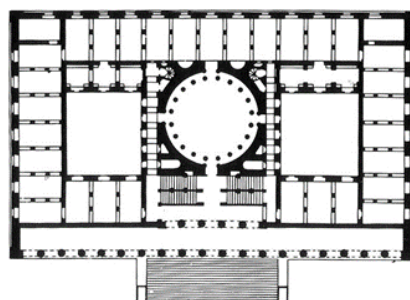


Рис. 9. План Старого музея

Источник:
https://img-fotki.yandex.ru/get/5500/anilow.f3/0_6b7fa_a2e8004_XL.jpg

В России количество музеев увеличилось до более чем 150 музеев. Основным принципом в архитектуре привел дизайнеров к заимствованию форм древнерусского зодчества и мотивов, например, в Государственной Третьяковской галерее (1856) и в Государственном историческом музее (1872) (рисунок 10). Можно увидеть, что Политехнический музей (1872) спроектирован под архитектуру русского возрождения: сочетание византийских элементов и допетровской архитектуры (рисунок 11). Тогда как Государственный Русский музей (1895) в Санкт-Петербурге образован четырьмя дворцами, представляющими ретроспективную панораму русской архитектуры: барокко (Строгановский дворец) и неоклассицизм (Мраморный дворец и Михайловский дворец). Михайловский дворец, например, является шедевром классической эпохи [4]. Что касается плана музея, то понятно, что каждое здание принимало разные проекты, планировку и форму.



Рис. 10. Государственный исторический музей (1872)

Источник:

<https://i.pinimg.com/originals/14/c5/06/14c5065bbcd765d8fe2b4bae5e9df804.jpg>



Рис. 11. Политехнический музей (1872)

Источник:

<https://archello.s3.eu-central-1.amazonaws.com/images/2020/04/17/DS-C-4806-1--.1587100214.9028.jpg>

В XIX веке, музеи начали делиться на специализированные: художественные, этнографические, исторические, военные, естественно-исторические и технологические музеи, основываясь на особенностях своих коллекций. Количество музеев резко возросло в XIX веке, с невероятным диапазоном охваченных тем и предметов. Этот период называют Золотым веком музеев, где можно было найти много разных стилей, таких как: ренессанс, греческий, барокко, неоклассический, византийский и русский стиль, основан-

ный на использовании традиций русского национального зодчества допетровского времени и русского народного искусства, а также ассоциируемых с ними элементов византийской архитектуры.

Что касается архитектуры, то не было типичного плана или дизайна, который можно было бы применить ко всем музеям, можно было найти много разных стилей, таких как: ренессанс, греческий, барокко, неоклассический, византийский и русский стиль, основанный на использовании традиций русского национального зодчества допетровского времени и русского народного искусства, а также ассоциируемых с ними элементов византийской архитектуры. Изменения в функциях, стилях и материалах повлияли на весь облик музейной архитектуры и ее эволюцию.

Заключение

Можно сделать вывод, что на протяжении многих веков шло развитие музеев исходя из определенных особенностей времени, политики, разной системы мышления и комплекса культур. Изначально слово музей означало какую-либо коллекцию, но со временем это понятие стало обозначать дома и здания, в которых находились экспонаты, ведь основной целью было создание мест для показа. В современном понимании музеи – это учреждения, которые занимаются изучением и хранением памятников культуры, а также просветительскими целями.

С XV по XVII век мы видим, что музеи размещались в зданиях, в которых возникали различные типы пространства для создания специфического «экспозиционного пространства». Архитектура этих мест относилась в основном к архитектуре эпохи Возрождения, в меньшей степени к греческому и римскому стилям, заметно, что в некоторых музейных планировках пространство было недостаточно гибким или не учитывалось вообще.

В XVIII веке произошли тотальные изменения, когда музеи стали объектом архитектурного изучения и каждая страна выработала свой архитектурный стиль. В этот период образовались храмы-музеи или дворцы-музеи, которые обычно строились в подражание греческим храмам: с треугольными колоннами, выстроенными в линию и украшенными классическими гирями.

Позже, в эпоху современной архитектуры, к архитектуре музеев подошли с другой точки зрения. Только к началу XIX века

появилась архитектурная типология со свободным стилем во внешней и внутренней планировке. Кроме того, можно заметить, что в некоторых зданиях присутствуют отголоски прошлого – классические фронтоны, римские пилястры, купола и другие элементы, вдохновленные архитектурой XVIII века.

Список литературы

1. *Ди Паскуале Г.* Александрийский музей: миф и модель. От частного к публичному: природные коллекции и музеи. 2005. 1–12.
2. *Цорци К.* Музейное пространство, где архитектура встречается с музееведением. Лондон и Нью-Йорк: Рутледж, 2016. ISBN 978-1-4724-3901-7.
3. Академия Хана: Смирк, Британский музей. [Электронный ресурс]. URL-адрес: <https://www.ханакадемия.org/humanities/becoming-modern/victorian-art-architecture/early-victorian/a/smirke-the-british-museum> (дата обращения: 08.05.2022).
4. Прогулки по Русскому музею. Санкт - Петербург. Часть 1 // 2017. <https://architectstyle.livejournal.com/71054.html> (дата обращения: 19.06.2022).

THE EVOLUTION OF FORMATION OF MUSEUMS AND THEIR ARCHITECTURAL FEATURES (I–XIX centuries)

*Solovieva A.
Aoun V.*

Abstract. This article is a brief historical overview of the emergence of museums from the first years to the XX century. and their architectural features. The purpose of the study is to study the evolution of the architecture of museums and their architectural features. The task is to identify the patterns of formation of museum architecture based on the development of the idea of creating a museum. The research methods consist in the use of historical and architectural analysis and synthesis, for which several well-known museums were selected and a comparative chronological analysis was carried out. As a result of the research, we can conclude that the architecture of museums does not differ in consistency and continuity throughout its long history.

ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВА

Камной А.М., студент

arsenekamroyi@mail.ru

Научный руководитель: Чайко Д.С., к.пед.н., доцент

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены особенности формирования жилого комплекса на улицах Москвы. Крупные города густонаселены и заняты торговыми и деловыми постройками, а также заполнены жилыми комплексами. Большинство людей предпочитают жить в центральной части города. Именно поэтому уровень организации жилых построек имеет огромное значение, так как от этого зависит удобство расположения, облик центральной части города.

Ключевые слова: жилые комплексы, строительство

Строительная отрасль играет важную роль в экономике любой страны. Повышение качества реконструкции объектов, капитального ремонта и строительства, предотвращение рисков для окружающей среды, здоровья и жизни людей и жилищного строительства требуют от представителей отрасли большой ответственности. В значительной степени уровень строительства и развития может быть использован в качестве показателя экономической ситуации, а следовательно, может быть использован в качестве показателя уровня жизни населения.

На такое положение дел в отрасли помимо объективных причин повлияли и субъективные факторы, прежде всего несовершенство действующего законодательства [1].

Строительство является одной из важнейших составляющих национальной экономики страны, которая требует четкой организации производственных процессов при возведении строительных объектов. Многие участники (инвесторы, заказчики, подрядчики и т.д.) вовлечены в эти процессы. Актуальность данной работы заключается в том, что для успешной строительной работы в современных условиях необходимо решать определенный тип задач,

которые напрямую связаны с факторами, обеспечивающими организацию и управление строительным производством, а также его финансовую устойчивость.

Проблема состоит в том, что период возведения является одним из ключевых факторов жизненного цикла объекта строительства, поэтому необходимо правильно подходить к выбору метода организации строительных работ.

Организация строительного производства предполагает предоставление целевых решений по обеспечению исполнения обязательств по договорам. То есть ввод их в эксплуатацию в установленные сроки и с заданным качеством, при соблюдении интересов участников строительства. В организации строительного производства участвуют:

- клиенты,
- дизайнеры,
- подрядная организация,
- транспортники,
- поставщики,
- компании-разработчики [2, 75 с.].

В периоде 1970-1980 гг. в СССР стал временем разработки многоэтажных жилых домов/комплексов с развитой системой социально-бытового обслуживания, в состав которой были включены: лечебные, учебно-воспитательные, культурно-просветительные, спортивные учреждения. Минусом стало отсутствие комплексного подхода, что выразилось в сбалансированности застройки по различным показателям [4].

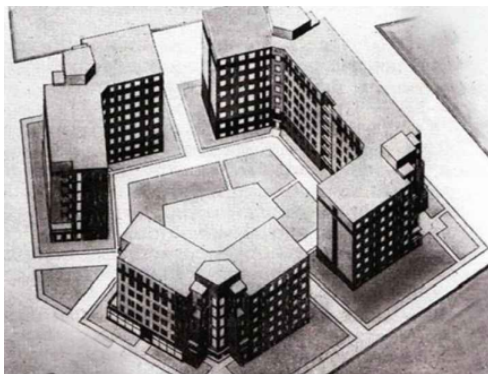


Рис. 1. «Дом-коммуна» комплекс зданий в Сыромятниках, г. Москва

Рассмотрим пример постройки жилого комплекса в центре города Москва. В структуре жилого комплекса в центральной части города Москва обычно выделяют следующие функциональные зоны: жилая (квартиры, приквартирные пространства), деловая (офисные помещения, филиалы банков), общественная, которая в свою очередь подразделяется на торговую, социально-бытовую, учебную, досуговую, спортивную, рекреационную части. Если проанализировать функционально-пространственную среду жилых комплексов крупных городов, таких как Москва, можно отметить, что лучшим методом постройки является многоуровневое функциональное зонирование. Оно подразумевает размещение парковок на нижних этажах, также постройка некоторых общественных учреждений на нижних ярусах, верхний ярус оставляется под жилые помещения. Степень использования общественного обслуживания, а также уровень его развития и типология помещений будут различаться в зависимости от уровня комфортности жилого комплекса [3].

При формировании жилого комплекса в больших городах важно построить разноуровневое пространство.

Под первым уровнем обычно подразумевают двор комплекса, в котором коммуницируют все его жители. В нем обычно отсутствуют какие-либо обслуживающие элементы. Затем следующий уровень представлен общественным пространством, в котором размещены объекты общественного спроса жителей. Третий уровень включает в себе объекты нерегулярного спроса населения и связанные с ними взаимодействия (районные центры). Последний уровень представляет собой взаимодействие человека с различными крупными элементами города: центром, городскими парками, уникальными зданиями и прочее.



Рис.2. 4–21 – этажей ЖК «N'ice Loft» г. Москва

Двор – это пространство, в котором собирается определенная группа людей, объединенная местом их размещения. Во дворе человек должен чувствовать себя защищено и рассматривается как квартал или Урбан-блок. Он окружен жилыми помещениями, этажность которых соизмерима с размером человек и шириной двора. Средняя этажность домов составляет от пяти до девяти этажей.

Во втором уровне сформировано общественное пространство, которое соединяет между собой различные кварталы, а также транспортную систему. Первые этажи домов, фасады которых имеют выход в эту зону, отдаются под объекты обслуживания населения. Как и на первом уровне, здесь нет возможности для проезда машин, зона рассчитана на вело-пешеходное движение. Автостоянки расположены в многоуровневых подземных и наземных сооружениях.

Данная зона формируется посредством озеленения и облагораживания территории, что обеспечивает некую зону отдыха.

Таким образом, формирование жилой среды в крупных городах, таких как Москва необходимо проводить на разных уровнях, каждый из которых обеспечит комфортное проживание людей и их коммуникацию между собой. То, в каком месте живет человек, обеспечивает его состояние и любовь к жизни в центре города. Он выступает как значимый элемент городской структуры и формирует новую среду жизни человека в крупных поселениях. Инфра-

структура является важным активом жизни в таком большом городе, как Москва. В таких зданиях обычно весь первый этаж сдается компаниям, здесь может поселиться любой тип компании (детские центры, магазины, салоны красоты, цветочный магазин, детский сад, кафе, почта, пункт выдачи заказов, аптека, поликлиника, детская спортивная секция, зоомагазин, магазин детских товаров, магазин канцтоваров и компьютерный клуб).

Список литературы

1. *Визгалов Д.В.* Города – лучший бренд России // Городской альманах. Вып. 3. – М.: Фонд «Институт экономики города», 2008.
2. *Вяткина Б.М.* Современные принципы организации городского квартала как тенденция гуманизации жилой среды (на примере городов стран Западной Европы) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 2 (7). – С. 75-95.
3. Принципы формирования жилой среды // электронная публикация. URL: <http://ostarch.ru/main/projects/principles> (дата обращения: 1.12.2017).
4. Эволюция проектирования многоэтажных российских жилых комплексов с обслуживанием // Аркос. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arkos-proekt.ru/articles/evoliutsiya-proektirovaniya-mnogoetazhnich-rossiyskich-zhilich-kompleksov-s-obsluzhivaniem>.

THE PRINCIPLE OF THE FORMATION OF A RESIDENTIAL COMPLEX IN LARGE CITIES ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF MOSCOW

Abstract. The article presents the features of the formation of a residential complex on the streets of Moscow. Large cities are densely populated and occupied by commercial and business buildings, as well as filled with residential complexes. Most people prefer to live in the central part of the city. That is why the level of organization of residential buildings is of great importance, since the convenience of the location, the appearance of the central part of the city depends on it.

Keywords: housing complex, construction

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА ПАЛЕСТИНЫ

Ханани Махмуд И. М., аспирант

Колесников А. А., доцент, к.н.

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена тематика разработки адекватной методики оценки качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для населения Палестины. Также показано, что для климата Палестины характерен континентальный климат с четырьмя основными климатическими характеристиками: высокий дневной и годовой температурный диапазон, короткие переходные сезоны весны и осени, уменьшенное количество осадков и фактическое отсутствие относительной влажности. В результате проведенных исследований показано, что применение интегрированного метода качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для населения Палестины в рамках которой в стандарт BREEAM интегрированы критерии соответствия жаркому климату и критерии инвестирования позволяет определить рейтинг каждого региона по показателю экологического состояния с целью направления финансовых ресурсов на разработку природоохранных программ, поэтому исследования работы имеют практическую значимость.

Ключевые слова: разработка, методика, качества жизни, экологической эффективности зданий, Палестина

Введение

Состояние окружающей среды является важным показателем комфорта жителей. Современные методы оценки элементов окружающей среды в системах измерения качества жизни жителей нуждаются в совершенствовании [1]. Показано, что основная проблема в правильной оценке качества жизни по экологической составляющей характеристик зданий для жителей заключается в том, что местная температура и относительная влажность напрямую влияют на конструктивные и формообразующие характеристики

возводимых зданий на ранних стадиях строительства. Не менее важным является влияние климата Палестины на качество и долговечность монолитных железобетонных зданий и сооружений, характеризующихся особыми условиями жаркого и сухого климата в большинстве сезонов, поэтому особенности разработки методики оценки качества жизни и экологической эффективности зданий с учетом климата Палестины нуждаются в детальной проработке [2]. Разработка новой методологии оценки экологического состояния страны является очень актуальной, так как данное направление требует выявления районов страны, находящихся в наихудшем состоянии, с целью направления финансовых ресурсов на решение проблемы, основанной на оценке качества жизни с учетом текущих экологических условий, для обеспечения стабильного социального развития Палестинского государства [3, 4].

Цель статьи – исследовать проблемы разработки отечественной методики качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для Палестины.

Методы исследования включают комплекс методологического аппарата систематизации, обобщения и анализа научной и исследовательской литературы по тематике изучения качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для Палестины.

Обсуждение

Оценка качества жизни важна в сопоставлении с целями будущего развития экологической и социально-экономической политики [5]. Поскольку понятие «качество жизни» является социологической категорией, описывающей удовлетворение материальных и культурных потребностей людей, показатели, которые рассматривают ученые при оценке качества жизни, весьма разнообразны. Важным аспектом качества жизни людей являются экологические показатели жилых зданий и сооружений.

Согласно правилам, установленным ученым Владимиром Кёппеном в его классификации климата, климат Палестины по температурному режиму характеризуется как субтропический. Почти все географы и климатологи делят территорию Палестины на три климатических региона, а именно [2]:

- горный климатический регион;
- степной климатический регион;

- пустынный климатический регион.

Для Палестины характерен континентальный климат с четырьмя основными климатическими характеристиками [4]:

- высокий дневной и годовой температурный диапазон;
- короткие переходные сезоны весны и осени;
- уменьшенное количество осадков;
- фактическое отсутствие относительной влажности.

В целом, климат в Палестине представляет собой сочетание жаркого сухого климата с высокой интенсивностью солнечной энергии, высокой влажностью и перепадами температур не только в течение года, но и между днем и ночью, что сильно влияет на свойства бетона на всех этапах.

В условиях жаркого сухого климата природно-климатические факторы оказывают негативное влияние на строительную отрасль в целом, особенно на строительство монолитных железобетонных конструкций, где жаркий сухой климат сильно влияет на все этапы подготовки к строительству монолитных бетонных конструкций и железобетонных сооружений.

Именно поэтому при разработке методов QOL и оценке экологической эффективности зданий в Палестине необходимо учитывать стандарты строительной отрасли по экологическим параметрам. Современные мировые стандарты экологической эффективности строительной отрасли в основном относятся к экологическим, энергетическим и экономическим показателям так называемых «зеленых зданий», которые были разработаны как добровольные рейтинговые системы сертификации. Двумя ведущими примерами являются BREEAM в Великобритании и LEED в США [6-8]. LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design) – это добровольная рейтинговая система для строительной отрасли, предназначенная для осуществления перехода к проектированию, строительству и эксплуатации таких зданий путем предоставления проектной и Это рейтинговая и сертификационная система, разработанная Советом по экологическому строительству США (USGBC) в 1993 году в качестве стандарта для оценки энергоэффективности и устойчивости зданий.

Стандарт LEED состоит из шести разделов [6]:

1) обеспечение экологической устойчивости проектов (прилегающая территория);

- 2) эффективность использования водных ресурсов;
- 3) энергосбережение и атмосфера;
- 4) материалы и ресурсная база;
- 5) качество внутреннего воздуха и среды;
- 6) новые стратегии в проекте и инновации.

Рейтинговая система BREEAM характеризуется методологией, которая дает баллы по нескольким разделам, относящимся к различным аспектам безопасности жизнедеятельности, воздействия на окружающую среду и комфорта. Применение этого стандарта имеет практическое значение для данного исследования, так как позволяет ранжировать каждый район Палестины по экологическим показателям и выделять финансовые ресурсы на разработку экологических программ. Баллы умножаются и суммируются с весовыми коэффициентами, которые отражают их значимость для участка застройки, и, соответственно, преобразуются в баллы.

Оценка BREEAM проводится в соответствии со следующими критериями

– Управление: ввод в эксплуатацию и последующее управление для обеспечения оптимальной работы системы; управление процессом строительства с точки зрения эффективности использования ресурсов, энергопотребления и загрязнения окружающей среды; предоставление рекомендаций нетехническим пользователям здания для понимания и эффективной эксплуатации системы здания.

– Здоровье и социальное благополучие: доступ к достаточному дневному свету, обеспечение вида из окон для отдыха глаз, комфортные температурные условия, необходимая акустика, качество воздуха и воды в помещениях, естественная вентиляция и качество освещения.

– Предотвращение загрязнения окружающей среды: использование хладагентов и предотвращение утечек, предотвращение стока ливневых вод, предотвращение выбросов парниковых газов, предотвращение загрязнения естественных водных путей стоками зданий, контроль внешнего освещения и шумового загрязнения.

– Энергетика: снижение выбросов CO₂, связанных с потреблением энергии, снижение выбросов CO₂ и загрязнения воздуха за счет возобновляемых источников энергии, использование приборов учета энергии, наружное освещение, меры по повышению энерго-

эффективности, солнечные водонагреватели, минимизация потерь тепла, энергоэффективные транспортные системы (лифты, эскалаторы), использование дымоходов.

- Эффективное управление застроенными территориями и окружающей средой: поощрение и минимизация повторного использования земли.

- Транспорт: доступ к общественному транспорту; безопасная среда для пешеходов и велосипедных прогулок; близость к социальной инфраструктуре (школы, детские сады, зоны отдыха); максимальное использование парковочных мест; продуманная планировка, снижающая необходимость владения автомобилем; предоставление работы из дома; карты и информация.

- Водоснабжение: минимизация использования питьевой воды для санитарных целей; счетчики воды; контроль утечек; повторное использование воды; сбор и использование дождевой воды.

- Материалы: использование строительных материалов с низким уровнем воздействия на окружающую среду в течение всего жизненного цикла здания; повторное использование материалов; сертификация основных материалов; соответствующая защита открытых площадок и ландшафтного дизайна.

- Отходы: повторное использование материалов; переработка бытовых отходов; утилизация строительных отходов [9-10].

Исходя из жаркого климата Палестины, для Палестины важно разработать адаптированную национальную методологию оценки качества жизни и экологической эффективности зданий. Поэтому в рамках исследования в данной работе была разработана усовершенствованная палестинская национальная методология оценки качества жизни и экологической эффективности зданий путем интеграции критериев пригодности для жаркого климата и инвестиционных критериев в критерии BREEAM. Палестинские критерии пригодности для жаркого климата следующие:

- Минимизируйте проникновение тепла в помещение: минимизируйте размеры окон, затенение, компактная форма здания.

- Обеспечить естественную вентиляцию путем отвода теплого, влажного воздуха под перепадом давления: расположение и размер соответствующих отверстий, создание дополнительных воздухопроводов и шахт.

– Обеспечить дополнительное охлаждение за счет проектирования внутренних дворов и ветряных шахт, подземных воздухопроводов, озеленения и полива.

Инвестиционные критерии оценки качества жизни и экологической эффективности зданий для палестинцев учитывают финансовый расчет инвестиционных затрат, включая все налоги и сборы, связанные с качеством жизни и экологической эффективностью зданий для палестинцев. Общая стоимость здания и строительных элементов рассчитывается в соответствии с уравнением 1:

$$C_{q(\tau)} = C_I + \left(\sum_{i=1}^{\tau} (C_{q,i} \times R_d) - V_{f,\tau} \right) \quad (1)$$

где τ – расчетный период;

$C_{q(\tau)}$ – общие затраты (по начальному году $\tau = 0$) за расчетный период;

C_I – начальные инвестиционные затраты для осуществления мер по повышению энергоэффективности зданий для жителей Палестины;

$C_{q,i}$ – годовая стоимость осуществления мер по повышению энергоэффективности зданий для жителей Палестины в течение расчетного года;

$V_{f,\tau}$ – конечное значение стоимости осуществления мер по повышению энергоэффективности зданий для жителей Палестины в конце расчетного периода (дисконтированное к начальному году $\tau = 0$);

R_d – ставка дисконтирования расчетного года, рассчитываемая по формуле 2:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+R_r/100} \right)^p \quad (2)$$

где p – количество лет от начального периода;

R_r – ставка дисконтирования, скорректированная на показатель уровня инфляции;

Ставка дисконтирования, используемая в макроэкономических и финансовых расчетах, определяется после анализа чувствительности к различным процентным ставкам. Необходимо рассчи-

тать окончательные значения для элементов здания, срок службы которых превышает расчетный период. Кроме того, проводится анализ чувствительности к структуре затрат на строительство здания и инженерных систем и анализ чувствительности к прогнозам цен на энергоносители, который необходимо провести для всех энергоносителей, интенсивно используемых в здании.

Таким образом, применение комплексной методики оценки качества жизни и экологической эффективности зданий для населения Палестины будет иметь практическое значение для данного исследования, так как позволит ранжировать каждый район по показателям экологического состояния с целью направления финансовых ресурсов на развитие экологических программ.

Применение интегрированного метода качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для населения Палестины с применением стандарта BREEAM

Энергоэффективность: Палестина имеет ограниченный доступ к энергоресурсам и сталкивается с частыми перебоями в подаче электроэнергии. Несмотря на некоторые усилия по продвижению использования солнечной энергии и энергоэффективных приборов, необходимо сделать гораздо больше для повышения энергоэффективности зданий и инфраструктуры. Рейтинг: Средний.

Эффективность использования воды: Палестина сталкивается со значительным дефицитом воды и имеет ограниченный доступ к чистым водным ресурсам. Пропагандируются такие устойчивые практики, как сбор дождевой воды, утилизация серой воды и системы капельного орошения, но многое еще предстоит сделать для экономии воды и улучшения доступа к чистой воде. Рейтинг: Средний.

Здоровье и благополучие: Палестина сталкивается с серьезными проблемами в области здравоохранения из-за загрязнения воздуха и ограниченного доступа к медицинским учреждениям. Были предприняты усилия по развитию зеленых зон в городских районах и улучшению качества воздуха, но для решения этих проблем необходимо сделать еще больше. Рейтинг: Средний.

Транспорт: Транспортная инфраструктура Палестины ограничена и зачастую неэффективна, что приводит к заторам и загрязнению воздуха. В настоящее время предпринимаются усилия по

развитию устойчивого транспорта, такие как велосипедные дорожки и усовершенствование общественного транспорта, но для решения этих проблем необходимо сделать еще больше. Рейтинг: Средний.

Управление отходами: Палестина сталкивается со значительными проблемами в области управления отходами, с неадекватной инфраструктурой и ограниченными программами по переработке отходов. В настоящее время предпринимаются усилия по продвижению сокращения отходов и их переработки, но многое еще предстоит сделать для улучшения практики управления отходами. Рейтинг: Средний.

Землепользование и экология: Палестина обладает богатым природным наследием, включая Мертвое море и реку Иордан, но сталкивается с серьезными проблемами из-за неустойчивой практики землепользования. Перевыпас скота, чрезмерное использование водных ресурсов и незаконные поселения являются основными проблемами, которые необходимо решить для сохранения природной среды. Рейтинг: Плохой.

Исходя из этих критериев, рейтинг Палестины по стандарту BREEAM будет следующим:

Энергоэффективность: Средняя

Эффективность использования воды: Средняя

Здоровье и благополучие: Средний

Транспорт: Средний

Управление отходами: Средний

Землепользование и экология: Плохо

Общий рейтинг Палестины: Средний

Этот рейтинг подчеркивает необходимость значительного улучшения практики землепользования и экологии, а также дальнейших усилий в области энергоэффективности, водоеффективности, управления отходами, здоровья и благополучия, а также устойчивого транспорта.

Заключение

В статье приводятся исследования по проблематике разработке адекватной методики оценки качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для населения Палестины. Изучены особенности климатических характеристик Палестины, показано,

что для его территории выделяют три климатических региона: горный, степной и пустынный. Также показано, что для Палестины характерен континентальный климат с четырьмя основными климатическими характеристиками: высокий дневной и годовой температурный диапазон, короткие переходные сезоны весны и осени, уменьшенное количество осадков и фактическое отсутствие относительной влажности. В результате проведенных исследований показано, что применение интегрированного метода качества жизни и экологической оценки эффективности зданий для населения Палестины с применением стандарта BREEAM позволяет определить рейтинг каждого региона по показателю экологического состояния с целью направления финансовых ресурсов на разработку природоохранных программ, поэтому исследования работы имеют практическую значимость.

Список литературы

1. *Бельхадж С., Ибрагимов Р.А.* Технология бетонирования в условиях жаркого климата Марокко // Известия КазГАСУ. 2020. № 2 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-betonirovaniya-v-usloviyah-zharkogo-klimata-marokko> (дата обращения: 16.02.2023).
2. *Воробьев А.А., Елфимов В.И.* Повышение качества бетонных работ в условиях сухого жаркого климата // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2005. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-betonnyh-rabot-v-usloviyah-suhogo-zharkogo-klimata> (дата обращения: 16.02.2023).
3. *Ливенцов М.А.* Климатические условия и их влияние на особенности проектирования зданий и сооружений // Наука, образование и культура. 2018. № 6 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskie-usloviya-i-ih-vliyanie-na-osobennosti-proektirovaniya-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 16.02.2023).
4. *Максимова М.В., Мельникова С.О.* Объемно-планировочные решения малоэтажных жилых зданий в условиях жаркого климата // Вестник СибАДИ. 2017. № 3 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obemno-planirovochnye-resheniya-maloetazhnyh-zhilyh-zdaniy-v-usloviyah-zharkogo-klimata> (дата обращения: 16.02.2023).

5. *Смирнов Е.Б., Дацюк Т.А., Таурит В.Р.* Оценка экологической безопасности проектируемых зданий // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 3 (71). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologicheskoy-bezopasnosti-proektiruemyh-zdaniy> (дата обращения: 16.02.2023).

6. *Сухинина Е.А.* Сравнение методов экологической оценки «зелёных» стандартов в строительстве // АМІТ. 2022. № 2 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-metodov-ekologicheskoy-otsenki-zelyonyh-standartov-v-stroitelstve> (дата обращения: 16.02.2023).

7. *Туманов Д.В., Чиркун С.И., Бухвалова В.Ю.* Оценка качества жизни населения как инструмент построения эффективной системы государственного и муниципального управления // Теоретическая экономика. 2019. № 8 (56). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-zhizni-naseleniya-kak-instrument-postroeniya-effektivnoy-sistemy-gosudarstvennogo-i-munitsipalnogo-upravleniya> (дата обращения: 16.02.2023).

8. *Халлаф А.* Влияние климата на формообразование в архитектуре // Инновационная наука. 2019. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-klimata-na-formoobrazovanie-v-arhitekture> (дата обращения: 16.02.2023).

9. *Kamsu-Foguem B., Abanda F.H., Doumbouya M.B., Tchouanguem J.F.* Graph-based ontology reasoning for formal verification of BREEAM rules // Cognitive Systems Research. 2019. Vol. 55. P. 14-33.

10. *Mohamed M.A.* Saving Energy through Using Green Rating System for Building Commissioning // Energy Procedia. 2019. Vol. 162. P. 369–378.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY TO ASSESS THE QUALITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF BUILDINGS IN A PALESTINIAN CLIMATE

Abstract. The article deals with the development of an adequate methodology for the assessment of the quality of life and the ecological assessment of the efficiency of the population of Palestine. It is also shown that the climate of Palestine is characterized by a continental

climate with four main climatic characteristics: a high daily and annual temperature range, short transitional seasons of spring and autumn, a reduced amount of precipitation and the actual absence of relative humidity. As a result of the conducted studies, it is shown that the application of the As a result of the research, it has been shown that the use of an integrated method of quality of life and environmental assessment of the effectiveness of buildings for the population of Palestine, within the framework of which the BREEAM standard integrates the hot climate compliance criteria and investment criteria, makes it possible to determine the rating of each region in terms of the ecological state in order to direct financial resources for the development environmental programs, so research work is of practical importance.

Keywords: development, methodology, quality of life, ecological efficiency, completed, Palestine

УСТОЙЧИВОСТЬ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ

Щуров А.А., студент

*Терехина Е.С. *, ст. преподаватель*

Департамент архитектуры, инженерная академия,

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**terekhina-es@rudn.ru*

Аннотация. В статье рассматривается тема повышения востребованности принципов устойчивой архитектуры и дизайна, а также факторы, препятствующие их распространению.

Цель – исследование приемов, за счет которых можно добиться повышения востребованности в обществе, а также выявление аналогичных практик популяризации в мире.

В результате проведенной работы были определены основные принципы устойчивой архитектуры как элемента глобального понятия – устойчивого развития; проанализированы и приведены приемы и практики популяризации, сделаны выводы: популяризация среди населения следования основным принципам устойчивой архитектуры будет способствовать продвижению устойчивых технологий.

Ключевые слова: устойчивое развитие, устойчивая архитектура, принципы устойчивой архитектуры, экология, социально-экономические проблемы

Введение

Устойчивая архитектура является элементом более глобального понятия – устойчивого развития, поэтому принципы ее создания согласуются с заложенными на Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию или комиссии Брундтланд (WCED) [1]. Комиссия определила “Устойчивое развитие” [рис. 1] как удовлетворение потребностей нынешнего поколения без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Это – развитие «продолжающееся» («самодостаточное»), которое не противоречит дальнейшему существованию человечества и развитию его в гармоничном направлении. А значит, устойчивая архитектура прежде всего будет одинаково востребована людьми разных поколений с разными потребностями и ценностями.

Принципы устойчивости архитектуры и дизайна начали возникать на фоне выявления проблем, с которыми приходится сталкиваться человеку постиндустриальной эпохи. Такими глобальными вопросами можно назвать критическую экологическую обстановку, социальное и экономическое неравенство различных групп населения.

Можно выделить несколько основных принципов устойчивой архитектуры:

- минимизация площади земли под строительство. Для сохранения экологии использование территорий после сноса старых промышленных или жилых строений; строительство «ввысь» – приоритет, точечная застройка только для частного сектора.
- использование современных экологических, не вредных для человека строительных материалов, и, в первую очередь, применение «возобновляемых строительных ресурсов», сделать потребление «невозобновляемых ресурсов» минимальным или ничтожным.
- энергоэффективность – планировка зданий (система остекления, вентиляция), учет климатических условий и особенностей местного рельефа, система утепления зданий, а также использование современных «экологических» генераторов энергии – солнечные батареи (панели), ветровые генераторы, тепловые насосы, общая цель всего этого – минимизация потребления энергии для поддержания комфорта в здании.
- адаптивность архитектуры – необходимо на стадии проектирования учитывать возможности для трансформации здания при развитии городов или простетивии времени (например, трансформация промышленных зданий (фабрики, склады и т. д.) в жилые здания, музеи, места общественного досуга).

С одной стороны, устойчивые решения ориентированы на минимизацию негативного влияния на окружающую среду и улучшение общих характеристик здания. Основная цель – потреблять минимальное количество невозобновляемых ресурсов, сокращать отходы, развивать функциональную среду. Но устойчивость означает не только экологичность: в таких зданиях создается возможность интеграции людей с ограниченными возможностями в работу и повседневную жизнь.

Однако существуют проблемы применения обозначенных методов в необходимых для “устойчивой жизни” объемах. Это означает, что существуют препятствия и на уровне материального воплощения, и на уровне понимания и принятия данной темы людьми.



Рис. 1. Составляющие Устойчивого развития WWW

Актуальность

Дизайн и архитектура – наиболее близкие к повседневной жизни людей виды искусства и науки. Поэтому они быстро реагируют на возникающие проблемы и адаптируются для их решения. В XXI веке возрастают конфликты, связанные с неравенством прав различных групп населения и социальных классов, прогрессируют экологические проблемы. Как следствие, архитектура и дизайн принимают новые требования и изменяются. Но в данный момент темпы разрастания указанных негативных факторов превосходят темпы внедрения устойчивых технологий, а решения современных поколений чаще всего препятствуют возможностям будущих. Именно поэтому необходимо находить новые способы повышения актуальности устойчивой архитектуры и дизайна и спроса на них.

В связи с этим основной задачей исследования является выявление приемов, за счет которых можно добиться повышения востребованности устойчивой архитектуры.

Проблематика

В строительной индустрии преобладает тенденция безответственного (то есть, не учитывающего последствий и влияния на состояние среды) строительства. Проектные задачи решаются с учетом актуальных только на сегодняшний день целей, но не рассматривают глобальные вопросы экологии и социальные проблемы. Большинство строительных и архитектурных компаний не готово нести ответственность за состояние окружающей среды через несколько десятков лет, оставляя экологические проблемы будущим поколениям.

Традиционных подходов к популяризации устойчивой архитектуры и дизайна, например, информирование населения о негативном экологическом влиянии, с которыми сталкивается Земля, оказывается недостаточно и поэтому необходимо обозначить конкретные способы применения устойчивых технологий в реальной жизни людей: для этого автор ставит проблему нахождения новых путей продвижения устойчивых практик в строительной среде.

Цели и задачи

В рамках данной статьи автор рассмотрит приемы, за счет которых можно добиться повышения востребованности устойчивой архитектуры и дизайна в обществе. Будут найдены аналогичные практики популяризации в других сферах жизни и предусмотрены возможности их применения в архитектурно-дизайнерской среде.

Гипотеза

Среди спектра препятствующих факторов можно выделить две основные группы по их исходным причинам. Первая группа вызвана низкой информированностью населения о способах применения устойчивых технологий в архитектурных и дизайн-решениях, вторая – отсутствием выгоды (то есть, ощутимого материального повода) для изменения образа жизни (потребления, производства, требований к качеству возведенных зданий или созданных объектов) для преобладающего большинства людей.

Автор предполагает, что, обратившись к названным причинам и решив противоречия внутри них, индустрии строительства и дизайна смогут сделать устойчивые технологии более востребованными в обществе и актуализировать их использование.

Решения и выводы

Проведя наше исследование, мы можем сделать следующие выводы:

На сегодняшний день имеется недостаток информации о реальных возможностях использования устойчивых принципов.

Предложены решения:

- привлечение просветительских и образовательных компаний:

Примером может послужить акция «Зеленые технологии» [2], которая действует в Финляндии с 2012. Общественность вовлечена в разработку и выполнение различных эко-программ. Воспитание ответственного отношения к окружающему миру начинается еще в школах и детских садах. В дальнейшем, выросшими поколениями экологические изобретения или методы будут приниматься в приоритетном порядке, в том числе и в области архитектуры и дизайна.

Массовое общественное мероприятие “Grasscycling” [3] («переработка травы») в Нью-Джерси, США было проведено с целью продемонстрировать гражданам, что материалы могут быть использованы повторно и, к тому же, принести прибыль. Переноса эту акцию на строительную сферу, можно показать архитекторам и их клиентам, что переработанные строительные отходы могут вернуть часть затраченных на строительство средств. Как следствие, такая практика будет применяться чаще.

Архитекторам, дизайнерам и их клиентам также могут предлагаться брошюры с описанием альтернативных экологичных материалов, которые полноценно заменят привычные по необходимым показателям.

Недостаток мотивации для перехода на устойчивые технологии

Предложены решения:

- сделать технологии более доступными финансово или компенсировать часть затраченных средств:

«Устойчивость» перестанет быть дороже, чем привычная нам архитектура в связи с изобретением новых видов получения энергии (реализация принципа энергоэффективности – минимизация энергопотребления на поддержание комфортных условий здания или жилого комплекса, использование ветрогенераторов, солнечных панелей, тепловых насосов) и новых материалов (или способов переработки уже известных). Например, некоторые материалы переосмысливаются как виды топлива – отходы деревообработки (щепа, кора, хвоя) и пищевые отходы. Из мусора получается отличный биогаз, биобензин и биодизель [4].

Переработка строительных отходов (металла, древесины) позволит заказчику (как крупному застройщику, так и частному лицу) компенсировать часть затраченных на возведение здания средств.

Использование налоговых льгот в регулировании состояния окружающей среды также играет немалую роль: например, в Германии «зеленые» технологии облагаются пониженным налогом [5].

- Предложить местные решения, к которым есть доверие:

Местные устойчивые производства строительных материалов не получают зачастую внимания, в то время как перевозки на дальние расстояния и некачественные строительные материалы негативно влияют на экологию и впоследствии отразятся на бюджете заказчика. Предложение надежных местных производств как альтернативы позволит поднять качество результата и популяризировать подобные решения.

- Применять гибкие решения, которые позволяют сэкономить в будущем:

Стабильной архитектуре позволяет быть функциональная и ценностная свобода. Постройки или объекты должны быть ценностно долговечными: не терять актуальность под влиянием веяний моды и не создаваться для удовлетворения сиюминутных течений, которые так же быстро потеряют смысл, как набрали когда-то популярность. Функциональной свободе служит адаптивность планировок и конструкций здания – подход, когда возможности для трансформации здания закладываются уже на стадии проектирования нового объекта. Если эти критерии будут соблюдены, то не нужно будет перестраивать здание, делать капитальную смену планировки или, в случае дизайна, выбрасывать ненужный больше предмет: это экологичное и экономически выгодное решение.

В музее «Гараж» в московском Парке Горького даже после приостановки работы его основной функции – музейной, внутреннее пространство смогли переоборудовать под актуальные общественные нужды: теперь там находится библиотека и места для работы. Оно также инклюзивно, регулярно на площадке музея проходят занятия и экскурсии для людей с ограниченными возможностями. И, обращаясь к истории его постройки, основой музея послужил ресторан, который перестал функционировать. Это здание устойчиво, потому что будет актуально еще ни один десяток лет.

Заключение

Архитектура, которая не оставляет негативного влияния на природу и в то же время адаптируется к нуждам общества на каждом его этапе, становится вневременной и устойчивой. Она не вредит будущим поколениям и позволяет не тратить средства и ресурсы на возведение новых зданий. В статье были приведены некоторые примеры практик, которые можно перенести в среду архитектуры и дизайна и актуализировать внедрение устойчивых решений в будущем.

Список литературы

1. Э. Кокотсис – глобальное управление в сфере изменения климата 64 с. – URL: https://www.hse.ru/data/2014/12/23/1104076251/Страницы%20из%20Вестник_2014_04_для_типогр-7.pdf.
2. Официальный сайт программы «Зеленые технологии» в Финляндии 2012 URL: <https://web.archive.org/web/20100918040553/http://www.cleantechfinland.com/>.
3. Зарубежный опыт и перспективы в России — Известия ИГЭА, 2014 8с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predmetno-funktsionalnye-osobennosti-sotsialnoy-zhurnalistiki>.
4. Энергия из отходов: зеленые технологии против мусора. Сайт компании РосТех URL: <https://rostec.ru/news/energiya-iz-otkhodov-zelenye-tehnologii-protiv-musora/>.
5. Кириенко А.П., Батурина О.В., Головань С.А. Использование налоговых льгот в регулировании состояния URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nalogovyh-lgot-v-regulirovanii-sostoyaniya-okruzhayuschey-sredy-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-v-rossii/viewer>.

References

1. E. Kokotsis – global governance in the field of climate change: achievements and prospects 64 с. – URL: https://www.hse.ru/data/2014/12/23/1104076251/Страницы%20из%20Вестник_2014_04_для_типогр-7.pdf.
2. Official website of the Green Technologies program in Finland 2012 URL: <https://web.archive.org/web/20100918040553/http://www.cleantechfinland.com/>.
3. Foreign experience and prospects in Russia – Izvestia IGEA, 2014 8с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predmetno-funktsionalnye-osobennosti-sotsialnoy-journalist>.
4. Energy from waste: green technologies against garbage. Ros-Tec website URL: <https://rostec.ru/news/energiya-iz-otkhodov-zelenye-tehnologii-protiv-musora/>
5. Kirienko A.P., Baturina O.V., Golovan S.A. The use of tax benefits in the regulation of the state of the URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nalogovyh-lgot-v-regulirovanii-sostoyaniya-okruzhayushey-sredy-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-v-rossii/viewer>.

Chhurov A.

Terekhina E.

*Department of Architecture, Academy of Engineering,
RUDN University, Moscow, Russia*

Annotation. The article discusses the topic of increasing the demand for the principles of sustainable architecture and design, as well as factors preventing their spread. The purpose is to study the techniques by which it is possible to achieve an increase in demand in society, as well as to identify similar practices of popularization in the world. As a result of the work carried out, the basic principles of sustainable architecture as an element of the global concept of sustainable development were defined; popularization techniques and practices were analyzed and presented, conclusions were made: popularization among the population of following the basic principles of sustainable architecture will contribute to the promotion of sustainable technologies. Keywords sustainable development, sustainable architecture, principles of sustainable architecture, ecology, socio-economic problems.

Keywords: sustainable development, sustainable architecture, principles of sustainable architecture, ecology, socio-economic problems

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

Авиационные и космические системы

| | |
|--|----|
| <i>Рычкова А.Д., Соловьёв В.В.</i> Современное состояние и перспективы производства двигательных установок космических аппаратов | 5 |
| <i>Лихачёв И.В., Куковинец А.В., Бобров М.Н.</i> Конструкционные аккумуляторы в контуре системы электрообеспечения воздушного судна с электрифицированной распределённой силовой установкой | 18 |
| <i>Шабуневич В.И., Шабуневич А.В.</i> Концепция резонансного летательного аппарата | 31 |

Секция 2

Инновационный менеджмент в промышленности

| | |
|--|----|
| <i>Kritika Taniya Saharia, Mafiha Rahman Badhan</i> Innovation and productivity: enhance the innovative performance of firms through productivity | 41 |
| <i>Иванов П., Андреева Л.О.</i> Исследование возможностей применения технологии блокчейн для повышения эффективности участия компаний РФ в высокотехнологичных международных проектах | 54 |
| <i>Толманова В.В., Андриков Д.А.</i> Анализ открытых баз данных (ЭЭГ) для оценки ментальной загрузки сотрудников инновационных корпораций | 70 |

Секция 3

Металлургия, энергетика и транспорт

| | |
|--|----|
| <i>Андриков Д.А.</i> Алгоритм и методика управления транспортным средством в условиях конфликтной ситуации | 81 |
|--|----|

| | |
|---|-----|
| <i>Abdolhossein Gharehsheikh Bayat</i> Technical and economic study and presentation of test results of media cooling system in YAZD combined cycle power plant | 88 |
| <i>Петкова А.П., Шарафутдинова Г.Р.</i> Обзор технологического процесса электрохимического синтеза феррата натрия | 102 |
| <i>Задиранов А.Н., Контрерас Т.</i> Физико-химическая модель испарения примесей при рафинировании расплавов медных ломов | 109 |

С е к ц и я 4

Машиностроение и приборостроение

| | |
|--|-----|
| <i>Кирпичев М.В., Ковалев А.А.</i> Оценка брака при механической обработке заготовок вследствие износа инструмента посредством имитационного моделирования | 121 |
| <i>Подрез Н.В.</i> Анализ технологичности конструкции изделия машиностроения как экспертная система | 132 |
| <i>Averyanov A.S., Ghorbani Siamak, Reza Kashyzadeh Kazem</i> Industrial techniques of corrosion prevention in aluminum alloys | 144 |
| <i>Polunin Valery Viktorovich, Ghorbani Siamak, Reza Kashyzadeh Kazem</i> Effective parameters of shot peening treatment on improving the durability of industrial products made of metallic materials | 155 |
| <i>Al-Tekreeti Watban Khalid Fahmi, Reza Kashyzadeh Kazem, Ghorbani Siamak</i> Industrial vibration detection techniques for enhanced monitoring and maintenance of combined cycle power plants | 167 |
| <i>Al-Adarbi Marsel Kasimovich, Gorbani Siamak, Reza Kashyzadeh Kazem</i> Investigating the effect of bolt manufacturing methods on its efficiency ... | 179 |
| <i>Москаленко Н.В., Ковкин И.В., Кремзуков Ю.А.</i> Программно-аппаратный комплекс для исследования качества и надежности химических источников тока | 190 |
| <i>Roxana Sadat Mirshafa, Aida Shamsizadeh hayatdavoodi, Aida Saeidi Naibin, Kazem Reza Kashyzadeh</i> An interdisciplinary medical-technology-engineering preliminary research with the aim of technical development of radiotherapy in the treatment of various types of cancers..... | 201 |

| | |
|--|-----|
| <i>Ганьшин А.С., Андриков Д.А.</i> Подход к моделированию биоискусственной печени для вопросов приборостроения | 213 |
| <i>Кильметова Л.Р., Хадиуллин С.Х.</i> Оценка поверхностных остаточных напряжений при течении жаропрочных материалов | 222 |

С е к ц и я 5

Строительство

| | |
|--|-----|
| <i>Чудин А.В., Харитонов А.А., Хайкин П.С.</i> Свойства бетона с различными наноматериалами | 233 |
| <i>Плясунова М.А., Тимофеев А.С., Коваль Т.Е., Усманов К.П.</i> Исследование совместной работы светопрозрачного пленочного покрытия и опорного контура из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа..... | 248 |
| <i>Хмиш Висам Хафед, Синиченко Е.К.</i> Оптимальное управление водами короткого притока реки Тигр | 260 |
| <i>Канухин А.С.</i> Применение генеративных моделей глубокого обучения при проектировании зданий и сооружений | 282 |
| <i>Айдемиров К.Р., Гасанов Р.Г.</i> Методы оценки живучести и надежности упругопластических систем при предельных уровнях сейсмического воздействия | 295 |
| <i>Qais Qais Abdulrahman Ali, Tupikova E.M.</i> A study of reticulated shells for structures | 308 |
| <i>Вагурина Ю.А.</i> Анализ применения коноидных поверхностей в строительстве | 324 |
| <i>Карсанова В.Р.</i> Определение напряженно-деформированного состояния стержня с учетом физической нелинейности по деформированной схеме ... | 336 |
| <i>Saha Soumyadeep, Abdun Noor Al Amin</i> Computational experiment on helicoids stress-strain state | 347 |

Секция 6

Геология, горное и нефтегазовое дело

| | |
|---|-----|
| <i>Рассказов А.А., Карелина Н., Дейнеко А.Ф., Носаева О.В.</i> | |
| Цеолитсодержащие трепелы Хотынецкого месторождения (Орловская область): оценка сорбционных показателей | 361 |
| <i>Фролов И.С., Звонарев А.Е., Карелина Е.В.</i> | |
| Изучение рудных метасоматитов эйфельского возраста Вишневского медноколчеданного месторождения | 370 |
| <i>Кравцов В.В.</i> | |
| Локация геоактивных зон нефтегазоносных районов среднего Приобья по результатам фрактального моделирования лиментно-блоковых структур | 376 |
| <i>Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Кирьяк С.К., Колесников С.Ф.</i> | |
| Сравнительный анализ разрезов водно-ледниковых отложений на Балтийском щите и особенности их генезиса | 389 |
| <i>Ткаченко М.А., Карелина Е.В.</i> | |
| Применение кластерного анализа для выделения перспективных участков на хромитовое оруденение в пределах Войкаро-Сыньинского массива | 401 |

Секция 7

Архитектура и промышленный дизайн

| | |
|--|-----|
| <i>Макунина Ю.В.</i> | |
| Предпосылки развития территорий и формирования объектов нежилого назначения в условиях долгосрочного прогнозирования | 415 |
| <i>Грибков А.А.</i> | |
| Принцип комплексного развития архитектурной среды малых городов Центральной России | 429 |
| <i>Виар Н., Султанова А.</i> | |
| Современные тенденции и перспективы развития архитектуры многоэтажных деревянных зданий | 440 |
| <i>Али Али</i> | |
| Устойчивое развитие и гражданское участие и их влияние на архитектурное жилье в проектах реконструкции в Сирии после войны | 448 |

| | |
|--|-----|
| <i>Бутримов Ю.Б., Соловьева А.В.</i> История возникновения архитектурного орнамента | 457 |
| <i>Ван Цзонхуэй, Долинина О.Е., Баутин С.С.</i> Evaluation system reconstruction of BIM technology in future architectural design | 466 |
| <i>Гомес Лопес А.В., Бик О.В.</i> Концепции и методы проектирования объектов архитектуры для сохранения памяти на территориях, связанных с вооруженными конфликтами | 475 |
| <i>Khalil I., Mahnaz Barekat, Hadi Ahmadlou</i> The principles of traditional architecture with the approach of the effect in improving thermal comfort (for example, the hot and dry climate of Iran)..... | 488 |
| <i>Карпусь О.С., Терехина Е.С.</i> Способы восприятия монументально-декоративной пластики в архитектуре | 500 |
| <i>Кисси Юджин Нейзер, Халиль И.</i> Ретроспективный анализ развития архитектурного формирования жилых домов в Гане | 506 |
| <i>Тюленева П.В.</i> Современные методы обследований объектов культурного наследия | 517 |
| <i>Гомес Лопес А.В., Бик О.В.</i> Применение глины как экологического материала, примеры и основные характеристики | 528 |
| <i>Соловьева А.В., Аун В.Ж.</i> Эволюция формирования музеев и их архитектурные особенности (I–XIX вв.)..... | 543 |
| <i>Кампойи А.М., Чайко Д.С.</i> Принцип формирования жилого комплекса в больших городах на примере города Москва | 551 |
| <i>Ханани М., Колесников А.А.</i> Разработки методики оценки качества жизни и экологической эффективности зданий в условиях климата Палестины | 556 |
| <i>Щуров А.А., Терехина Е.С.</i> Устойчивость архитектуры и дизайна и способы повышения ее востребованности | 567 |

Научное издание

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ – 2023

Издание подготовлено в авторской редакции

Компьютерная верстка *Е.Н. Собаниной*
Технический редактор *Е.Н. Собанина*
Дизайн обложки *М.В. Роговой*

Подписано в печать 21.08.2023 г. Формат 60×84/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 33,71. Тираж 300 экз. Заказ 1056.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3.
Тел.: 8 (495) 955-08-74. E-mail: publishing@rudn.ru