

НОВАЯ НАУКА

Международный центр
научного партнерства



NEW SCIENCE

International Center
for Scientific Partnership

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Монография

г. Петрозаводск
Российская Федерация
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
2025

УДК 001.12
ББК 70
С66

Рецензенты:

Божко Л.М., доктор экономических наук
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»

Жуманиязов М.Ж., доктор технических наук
Ургенчский государственный университет

Героева Л.М., доктор педагогических наук
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт культуры»

Коллектив авторов:

Адизов Б.З., Акрамов Б.Ш., Алиев Р., Алиев Х., Алиева Н.М., Афанасьев А.М.,
Батурина Е.В., Бекшаев И.А., Богданова Е.А., Виноградов Е.В., Гасимова Г.А.,
Глазкова М.М., Головкин О.В., Гришина С.Ю., Гулай А.В., Гусейнова Г.А.,
Джандарова А.С., Евстафеев Е.А., Иконникова Я.В., Калинин В.А., Калинин М.Л.,
Катаева Л.Ю., Коблов Д.А., Куниловский А.А., Лапин В.В., Лапина Н.В., Ненашева М.Н.,
Нестеров А.Г., Новоселов К.А., Нуриддинов Ж.Ф., Овчаренко Е.С., Паршин А.В.,
Польшакова Н.В., Рого Г.Э., Рудыка Е.А., Серёжников Р.К., Топольник В.Г.,
Уварова М.Н., Худякова О.Ю., Цинберг М.Б., Чистякова О.В., Chemagin A.A.

С66 Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки
и технологий : монография / Б.З. Адизов, Б.Ш. Акрамов, Р. Алиев [и др.].
— Петрозаводск : МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2025. — 601 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-00215-466-1
DOI 10.46916/09092025-1-978-5-00215-466-1

В монографии рассматривается круг актуальных вопросов, стоящих перед современными исследователями в обозначенных областях, предлагается новое видение ряда концептов. Издание может быть полезно научным работникам, специалистам-практикам, преподавателям всех уровней образования, интересующимся проблемами развития современной науки.

Авторы публикуемых глав несут ответственность за содержание своих работ, точность цитат, легитимность использования иллюстраций, приведенных цифр, фактов, названий, персональных данных и иной информации, а также за соблюдение законодательства Российской Федерации и сам факт публикации.

Полные тексты глав в открытом доступе размещены в Научной электронной библиотеке Elibrary.ru в соответствии с Договором № 467-03/2018К от 19.03.2018 г.

УДК 001.12
ББК 70

ISBN 978-5-00215-466-1

© Коллектив авторов, текст, иллюстрации, 2025
© МЦНП «НОВАЯ НАУКА» (ИП Ивановская И.И.), оформление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ I. СОВРЕМЕННЫЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ: ПРОБЛЕМЫ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ..... 6

Глава 1. РАЗВИТИЕ КЛАСТЕРОВ В РОССИИ:
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОПЫТ 6

Чистякова Ольга Владимировна

Глава 2. ФОРСАЙТИНГ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ:
МЕТОДЫ, ОСОБЕННОСТИ, УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ 22

Худякова Ольга Юрьевна

Глава 3. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДАМИ
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 43

Польшакова Наталья Викторовна, Уварова Марина Николаевна,

Гришина Светлана Юрьевна

Глава 4. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛУГАХ
ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
НА ПРИМЕРЕ ГОСТИНИЦ КАТЕГОРИИ 3-5 ЗВЕЗД 71

Топольник Вера Григорьевна

Глава 5. МАКАО (АОМЭНЬ): РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ
«ОДНА СТРАНА – ДВЕ СИСТЕМЫ» В XX–XXI ВЕКАХ 97

Нестеров Александр Геннадьевич

РАЗДЕЛ II. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ 116

Глава 6. КОММУНИКАЦИОННО-ПОТОКОВЫЕ ЗАДАЧИ
В ПОСТРОЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ: СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ 116

Гулай Анатолий Владимирович, Богданова Елена Андреевна

Глава 7. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ
СТЕНКУ В РЕЖИМЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ 190

Афанасьев Анатолий Михайлович

Глава 8. ПЛАНИРОВАНИЕ ПУТИ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО
РОБОТА В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОПЕРЕСЕЧЁННОЙ МЕСТНОСТИ 218

Рего Григорий Эйнович

Глава 9. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
И КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ 238

Калиниченко Владислав Александрович, Калиниченко Мария Львовна

Глава 10. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 263

Рудыка Елена Александровна, Батурина Елена Вячеславовна

Глава 11. ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ СУДОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ	280
<i>Новоселов Кирилл Андреевич</i>	
Глава 12. ILLUMINATION AND CIRCADIAN RHYTHM OF FISH (REVIEW)	297
<i>Chemagin Andrey Aleksandrovich</i>	
Глава 13. РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ В УЛУЧШЕНИИ СОСТОЯНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДОЙ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	313
<i>Алиев Хасан, Алиев Райимжон</i>	
Глава 14. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ БРОСКА МАЛОГО МЯЧА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	345
<i>Катаева Лилия Юрьевна</i>	
Глава 15. ПРОЦЕССЫ АЛКИЛИРОВАНИЯ НА ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ	360
<i>Гусейнова Галина Анатольевна, Алиева Нушаба Муса кызы, Гасимова Гюляр Аловсят кызы</i>	
Глава 16. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ PVT-МОДЕЛИ ФЛЮИДА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН.....	388
<i>Евстафеев Евгений Александрович, Акрамов Бахшилло Шафиевич, Нуриддинов Жамолiddин Фазлиддин угли, Адизов Бобиржон Замирович</i>	
РАЗДЕЛ III. ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЕ И БЛАГОПОЛУЧИЕ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА	409
Глава 17. СОЗДАНИЕ НОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВИРУСОВ И/ИЛИ ЭКСПРЕССИИ ВИРУСНЫХ БЕЛКОВ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВАКЦИН И/ИЛИ БЕЛКОВ – «МИШЕНИЙ»	409
<i>Цинберг Марк Беньяминович, Куниловский Александр Анатольевич, Ненашева Марина Николаевна</i>	
Глава 18. РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНАТОМО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ОТРОСКА ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ	433
<i>Лапина Наталья Викторовна, Овчаренко Евгения Сергеевна, Коблов Дмитрий Александрович, Лапин Вадим Вадимович</i>	

**РАЗДЕЛ IV. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
И КОММУНИКАТИВНЫЕ ПРАКТИКИ
В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ 448**

Глава 19. ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ
И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ 448

Паршин Анатолий Васильевич

Глава 20. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ДИСЦИПЛИНЫ «РУССКИЙ ЯЗЫК И КУЛЬТУРА ОБЩЕНИЯ» 465

Иконникова Яна Владимировна, Глазкова Марина Михайловна

Глава 21. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ
ПРОЦЕССЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.... 480

Виноградов Евгений Валентинович

Глава 22. РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ
МАГИСТРАНТОВ – БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ В УСЛОВИЯХ
ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕГО НАУЧНОГО СЕМИНАРА 510

Серёжникова Раиса Кузьминична

Глава 23. ИММЕРСИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ВУЗЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ
В МЕТОДИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ 525

Бекшаев Илья Алексеевич

Глава 24. ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ
РЕАЛЬНОСТИ В ВЫСШЕМ ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ..... 539

Бекшаев Илья Алексеевич

Глава 25. ФАСЦИНАЦИОННЫЕ ТЕХНИКИ
НЕЙРОЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ..... 553

Головко Ольга Васильевна

Глава 26. ВЛИЯНИЕ ХОРЕОГРАФИЧЕСКОГО ИСКУССТВА
НА КОГНИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА 568

Джандарова Анастасия Сергеевна

**РАЗДЕЛ I. СОВРЕМЕННЫЕ СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ:
ПРОБЛЕМЫ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ,
ПЕРСПЕКТИВЫ**

УДК 338.2

**Глава 1.
РАЗВИТИЕ КЛАСТЕРОВ В РОССИИ: СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ, РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОПЫТ**

Чистякова Ольга Владимировна

Д.Э.Н., доцент,
профессор кафедры менеджмента и сервиса
ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет»

Аннотация: В статье рассматриваются особенности развития промышленных кластеров в России. Отмечено, что кластеры являются точками роста экономики регионов. Изучаются нормативные документы, регламентирующие образование кластеров в России. Исследуется влияние на функционирование кластеров государственной и региональной политики. Особое внимание уделено изучению опыта регионального кластерного развития в Иркутской области. Рассматриваются особенности деятельности восьми видов кластеров, функционирующих в Иркутской области: машиностроительного; фармацевтического; нефтегазового; строительных материалов и технологий; агропромышленного; лесопромышленного; туристско-рекреационного, а также Байкальского кластера легкой промышленности. Обосновывается целесообразность создания геофизического кластера и кластера редкоземельных металлов, а также кластеров в системе образования.

Ключевые слова: кластеры, промышленные кластеры, кластеры в системе образования, инновационное развитие, точки роста, импортозамещение.

CLUSTER DEVELOPMENT IN RUSSIA: CURRENT TRENDS, REGIONAL EXPERIENCE

Chistyakova Olga Vladimirovna

Abstract: The article discusses the specifics of the development of industrial clusters in Russia. It is noted that clusters are the growth points of the regions' economies. Regulatory documents regulating the formation of clusters in Russia are being studied. The influence of state and regional policy on the functioning of clusters is investigated. Special attention is paid to studying the experience of regional cluster development in the Irkutsk region. The article considers the specifics of the activities of eight types of clusters operating in the Irkutsk region: engineering, pharmaceutical, and oil and gas; construction materials and technologies; agro-industrial; timber industry; tourism and recreation, as well as the Baikal cluster of light industry. The expediency of creating a geophysical cluster and a cluster of rare earth metals, as well as clusters in the education system is substantiated.

Key words: clusters, industrial clusters, clusters in the education system, innovative development, growth points, import substitution.

В современных условиях важное значение имеет развитие экономики регионов и интенсификация инновационной деятельности. Важное значение при этом имеет развитие кластеров. Кластеры можно рассматривать как точки роста экономики регионов. Кластеры способствуют развитию инновационных производств, объединяя бизнес, науку и образование. Кластеры особенно важны в условиях импортозамещения, поскольку позволяют организовать производства импортозамещающей продукции и снижают зависимость от зарубежных поставщиков комплектующих. Для создания эффективно работающих кластеров нужно учитывать индивидуальные особенности региона. В современных условиях кластерное развитие является частью государственной и региональной политики. Сотрудничество государства,

предприятий и научно-исследовательских организаций способствует развитию потенциала региона.

Кластеры представляют собой географически сконцентрированные группы взаимосвязанных компаний и институтов, работающих в одной или смежных отраслях. Особенности и проблемы развития кластеров изучали следующие исследователи: Баулина О.А., Бойко Е.Н., Гайша О.Д., Проняева Л.И., Павлова А.В., Бахшян Э.А., Самаруха В.И., Иванова Д.А., Латыпова В.Д., Чистякова О.В., Залуцкая Н.С. и другие. При этом Баулина О.А. [1] изучала региональные аспекты формирования кластеров. Бойко Е.Н. [2] рассматривала кластеры с позиции формирования конкурентных отношений в экономике. Гайша О.Д. [3] изучала отечественный и зарубежный опыт развития кластеров. Проняева Л.И. и Павлова А.В. [4] рассматривали кластеры с точки зрения развития интеграционных процессов в современной экономике. Бахшян Э.А. [5] изучала эффекты, возникающие при создании кластерных структур. Самаруха В.И. и Иванова Д.А. [6], а также Латыпова В.Д. [7] обосновывали целесообразность и особенности формирования кластеров в лесной отрасли. Чистякова О.В. и Залуцкая Н.С. [8] исследовали развитие кластеров в условиях импортозамещения.

Нужно отметить, что чаще всего в кластер объединяются взаимодополняющие предприятия. Основу кластера обычно составляют предприятия профильных видов деятельности. Кроме того, в кластер могут входить предприятия, поставляющие необходимые комплектующие и оказывающие услуги. Важное значение в кластере играют организации, обеспечивающие транспортную, энергетическую, информационно-коммуникационную инфраструктуру. Зачастую в кластер входят научные и образовательные учреждения, что позволяет развивать инновационные направления. Кроме того, в кластер могут входить аудиторские, консалтинговые, страховые, лизинговые компании. Поддержку кластерам могут оказывать некоммерческие организации и торгово-промышленные палаты, а также субъекты инфраструктуры инновационного предпринимательства, такие как технопарки, бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий, венчурные фонды и др.

Можно выделить следующие часто встречающиеся виды кластеров: дискретные, процессные, транспортно-логистические, туристические.

Дискретные кластеры, как правило, представлены в отраслях, связанных со сборкой готового изделия из большого количества комплектующих. При этом вокруг крупного якорного предприятия располагается ряд малых и средних компаний, производящих и поставляющих комплектующие. Такой подход чаще всего распространен в машиностроительных кластерах.

Процессные кластеры чаще всего формируются в процессных отраслях, в том числе химической, металлургической отраслях, сельском хозяйстве и пищевой промышленности, где предприятия встраиваются в последовательный производственный процесс.

Туристические кластеры формируются в регионах с уникальными природными факторами и включают в себя организации, связанные с приемом, размещением и обслуживанием туристов.

Транспортно-логистические кластеры включают в себя инфраструктурные объекты и компании, занимающиеся доставкой, хранением и сопровождением грузов. Они развиваются в регионах, имеющих транзитный потенциал.

Можно заметить, что общемировая тенденция заключается в том, что предприятия сами проявляют инициативу при объединении и эффективном взаимодействии в кластере, а государственная поддержка оказывается уже сформировавшимся кластерам.

В России инициатива по созданию кластеров исходит преимущественно от государства. Чаще всего на момент создания кластера горизонтальные связи между предприятиями еще недостаточно развиты. Таким образом, государство определяет процесс целеполагания, что снижает вовлеченность участников кластера в его деятельность. Положительным аспектом государственного вмешательства в кластерообразование является предоставление финансирования.

На законодательном уровне процесс создания кластеров регулируется Федеральным законом №488-ФЗ от 31 декабря 2014 года «О промышленной политике в Российской Федерации» [9].

В настоящее время в России на федеральном уровне реализуется единый механизм создания и развития кластеров, реализуемый через Программу поддержки промышленных кластеров Минпромторга России. Требования к промышленным кластерам были утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации № 779 от 31.07.2015 года «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров» [10].

При этом под промышленным кластером понимается совокупность предприятий, осуществляющих деятельность в сфере промышленности, связанных отношениями территориальной близости и функциональной зависимости и размещенных на территории одного или нескольких регионов России.

При создании кластеров особое внимание уделяется вхождению в состав кластера значительного количества предприятий малого и среднего бизнеса. Нововведение применительно к кластерным структурам — это увеличение срока подтверждения соответствия кластеров федеральным требованиям с одного года до пяти лет, значительно снижает административную нагрузку на предприятия.

Важное значение имеет налаживание коммуникаций внутри кластера. Обычно этим занимаются специализированные организации — управляющие компании кластеров. Такие организации могут быть зарегистрированы как юридическое лицо или путем заключения консорциумного договора между участниками кластера. Финансирование управляющих компаний в России обычно осуществляется за счет средств государственного бюджета. При этом управляющими компаниями доминирующего количества кластеров в регионах России являются региональные институты развития или органы региональной власти.

Нужно отметить, что основными проблемами, препятствующими эффективному развитию кластеров, являются, во-первых, то, что многие региональные предприятия малого и среднего бизнеса не соответствуют отраслевым стандартам и неохотно включаются в отраслевые цепочки; во-вторых, то, что среди компаний, входящих в кластер, наблюдается внутренняя конкуренция.

Представляет интерес изучение опыта регионального кластерного развития на примере Иркутской области. Иркутская область расположена в Восточной Сибири и обладает значительными природными ресурсами, сильной научной школой и достаточно развитой инфраструктурой. Создание кластеров способствует более эффективному использованию этих ресурсов, обеспечивая синергию между различными отраслями. Создание кластеров может привести к возникновению инновационных решений, что повысит конкурентоспособность региональных предприятий на федеральном и международном рынке. Географическая близость Иркутской области к крупным рынкам Китая и Юго-Восточной Азии дает возможность для интеграции в международные цепочки добавленной стоимости. Создание кластеров способствует привлечению российских и зарубежных инвесторов, заинтересованных в развитии определенных секторов. Кроме того, развитие кластеров может стать драйвером для развития малого и среднего бизнеса Иркутской области.

Начиная с 2014 года, в регионе развиваются кластерные инициативы, способствующие экономическому росту, внедрению инноваций и импортозамещению в регионе.

В Иркутской области действует Закон Иркутской области № 132-ОЗ от 27 декабря 2016 года «Об отдельных вопросах реализации промышленной политики в Иркутской области» [11], а также Постановление Правительства Иркутской области № 608-пп от 19 сентября 2017 года «О реализации отдельных положений Закона Иркутской области «Об отдельных вопросах реализации промышленной политики в Иркутской области» [12].

В настоящее время в Иркутской области функционируют восемь кластеров: машиностроительный; фармацевтический; нефтегазовый; строительных материалов и технологий; агропромышленный; лесопромышленный; туристско-рекреационный, а также Байкальский кластер легкой промышленности «Байкал Легпром».

При этом в федеральный реестр промышленных кластеров включены только промышленный машиностроительный кластер Иркутской области, Байкальский кластер легкой промышленности

«Байкал Легпром», а также созданный совместно Республиками Башкортостан, Марий Эл, Чувашской Республикой, Иркутской и Омской областями действует Межрегиональный промышленный химический кластер.

Остановимся подробнее на особенностях функционирования кластеров в Иркутской области. Инфраструктурную поддержку резидентам кластеров предоставляет Фонд поддержки и развития предпринимательства Иркутской области через Центр кластерного развития Иркутской области и Центр «Мой бизнес».

Центр кластерного развития Иркутской области нацелен на обеспечение эффективного взаимодействия предприятий, входящих в кластеры, а также учреждений образования и науки, некоммерческих и общественных организаций, органов государственной власти и местного самоуправления, инвесторов при реализации совместных кластерных проектов.

В Иркутской области ключевым является машиностроительный кластер, созданный в 2014 году. Основной специализацией кластера является авиастроение. Сопутствующие специализации кластера – металлургия и металлообработка, микроэлектроника и приборостроение, производство машин и оборудования, производство электрооборудования, радиационные технологии. Статус кластера поддерживается Центром кластерного развития в рамках программы Минэкономразвития России по поддержке малого и среднего предпринимательства.

Основной продукцией кластера являются самолеты, а также гидравлическое и пневматическое оборудование и инструменты, кабельная продукция, литье, металлопрокат, электронные компоненты, испытательные стенды, электроустановочные изделия и др.

Целью объединения участников в кластер является производство конкурентоспособной продукции в области авиа-, машино-приборостроения в условиях импортозамещения.

Якорным резидентом машиностроительного кластера является Иркутский авиационный завод, осваивающий производство новейшего

среднемагистрального пассажирского самолета нового поколения МС-21 вместимостью от 163 до 211 пассажиров. Первый полет самолета состоялся в мае 2017 года, но из-за западных санкций был реализован курс на импортозамещение комплектующих, что привело к отсрочке серийного производства на несколько лет. В 2020 году самолет совершил первый полет с российским двигателем ПД-14. В мае 2025 года самолет МС-21 с отечественным двигателем и рядом отечественных комплектующих, в том числе системами интегральной модульной авионики, высокопрочными шасси, системой кондиционирования и противообледенения, совершил первый дальний перелет из Иркутска в Москву.

Среди импортозамещенных узлов самолета представляет интерес отечественное композитное крыло. Оно является главным конкурентным преимуществом самолета МС-21. Крыло выполнено из композита с применением инфузионной технологии. Крыло самолета МС-21 имеет значительное удлинение, что улучшает аэродинамику.

Из-за неготовности ряда комплектующих изделий к проведению сертификации самолета в импортозамещенном варианте, запуск серийного производства был значительно сдвинут. При этом в 2025 году на Иркутском авиационном заводе планируется выпустить 9 самолетов, в 2026 году – 31 самолет, в дальнейшем ожидается производство 36 самолетов в год. Чтобы справиться с такими объемами, Иркутскому авиационному заводу необходимо техническое перевооружение, на которое планируется инвестировать 65 миллиардов рублей.

В рамках машиностроительного кластера Иркутской области также была объединена группа производственных предприятий, таких как ПАО «Иркутский релейный завод», ОАО «Иркутсккабель», ОАО «Иркутский завод тяжелого машиностроения», АО «Энерпред», АО «Энерпром», ООО «Ангарск Монтажэнергоремонт», ООО «Байкальская производственная компания» и др.

В 2014 году в Иркутской области на базе группы компаний «Фармасинтез» был создан фармацевтический кластер. В фармацевтический кластер могут войти производители лекарственных

препаратов, биологически активных добавок, организации, занимающиеся разработкой технологий и производством оригинальных фармацевтических субстанций, предприятия, занимающиеся моделированием структуры и воздействия химических препаратов, утилизацией и переработкой фармацевтической продукции, производители готовых лекарственных форм, а также научные и образовательные учреждения. В фармацевтический кластер Иркутской области помимо группы компаний «Фармасинтез», также входят компании: «Анавидин», «Медтехсервис», «АДС ЛАБ», «Брио Байкал», «Baikal Legend», Hilart» и другие.

В настоящее время фармацевтический кластер Иркутской области расширен до межрегионального уровня, взаимодействуя с предприятиями Приморского края и Тюменской области. В группу компаний «Фармасинтез» входят пять заводов в Иркутске, Братске, Санкт-Петербурге, Уссурийске и Тюмени. В 2025 году «Фармасинтез» вошел в тройку лучших фармацевтических компаний России по версии Forbes. В настоящее время компания начинает выпуск противоспаечного препарата, не имеющего аналогов в мире.

Кластер строительных материалов и технологий был создан в Иркутской области в 2017 году с целью повышения инвестиционной привлекательности отрасли строительных материалов, обеспечения импортозамещения строительных материалов путем разработки аналогов внутреннего производства, оптимизации процессов производства. Резидентами кластера могут быть компании, занимающиеся строительством, строительно-монтажными работами, производством строительных материалов, организации, занимающиеся проектированием, дизайном, поставщиками сырья, материалов, комплектующих, а также научно-образовательные организации.

Якорными предприятиями кластера являются ООО «Алит ТМ» и АО «Иркутский домостроительный комбинат». Кроме того, в кластер входит ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», а также малые и средние производственные предприятия отрасли, такие как «Кирпич в Иркутске», «DublDom» и другие.

В Иркутской области функционирует нефтегазовый кластер, нацеленный на развитие новых технологий, развитие нефтегазовых производств, а также снижение вредного экологического воздействия в нефтегазовом секторе. Резидентами кластера могут быть предприятия, занимающиеся нефте-газопереработкой, производители нефтегазового оборудования, нефте-газосервисные предприятия, транспортно-логистические организации, поставщики нефтегазохимической продукции, научно-образовательные организации. Резидентами кластера являются компании: «Профхим», «МасКом», «ИРПЛАСТ», «Профтехснаб» и другие.

В Иркутской области создан Межрегиональный промышленный химический кластер и «Федеральный центр химии», направленный на развитие химической промышленности и производство высокотехнологичных продуктов с высокой добавленной стоимостью. В 2024 году кластер был включен в реестр Минпромторга России.

Байкальский кластер легкой промышленности объединяет предприятия, специализирующиеся на производстве текстиля, одежды, обуви, кожгалантереи и других товаров легкой промышленности. Данный кластер был создан вокруг якорного резидента – «Ангарской швейной фабрики». Данный отраслевой кластер предполагает кооперацию компаний в процессе производства готовых изделий. Также резидентами кластера являются: «Швейная фабрика «ВИД», «Ангарская швейная фабрика», Компания «Все для шитья и рукоделия» и другие.

Агропромышленный кластер нацелен на обеспечение продовольственной безопасности и импортозамещение в Иркутской области. В кластер объединены сельхозпредприятия Иркутского, Ангарского, Баяндаевского и других районов Иркутской области, занимающиеся выращиванием, переработкой и реализацией сельхозпродукции. В рамках кластера создана торговая сеть, решаются вопросы сертификации продукции, разрабатываются инновационные технологии для внедрения в производство. Также резидентами кластера являются компании: «Ресторан охотников», «Лактовит», «Иркутский

сыровар», «Байкальские росы», «Дикая Сибирь», «Вкус счастья», «Впрок» и другие.

Важное значение имеет туристско-рекреационный кластер Иркутской области, нацеленный на совместное развитие туристической отрасли на Байкале и повышение туристической привлекательности региона. В состав туристско-рекреационного кластера входят: рестораны; коллективные средства размещения (гостиницы, отели, базы отдыха); туроператоры и агентства, компании, оказывающие транспортные услуги; предприятия, изготавливающие сувенирную продукцию, а также научно-образовательные организации. Резидентами туристско-рекреационного кластера Иркутской области являются компании: «Голубые ел», «Байкал-Аляска», «Sun Hotel», отель «Иркутск» и другие.

В Иркутской области создан лесопромышленный кластер, нацеленный на максимально полную переработку лесных ресурсов. Задача кластера – объединить лесозаготовителей, переработчиков древесины и производителей конечной продукции, например мебели, чтобы увеличить добавленную стоимость.

Резидентами лесного кластера могут быть предприятия, занимающиеся лесозаготовкой и лесопереработкой, производители пиломатериалов, бумаги, упаковки, картона, мебели и иной конечной продукции деревообработки, поставщики сырья, материалов, организации, занимающиеся лесовосстановлением, а также научно-образовательные организации. Участниками кластера являются ТД «БратскЛесКом», фабрика «Витра» и другие.

В настоящее время запущен современный целлюлозно-картонный комбинат в г. Усть-Илимске. Создан лесосеменной центр по выращиванию хвойных семян с закрытой корневой системой, что позволяет обеспечить процесс восстановления лесов собственным материалом.

Остановимся подробнее на перспективах развития кластеров в Иркутской области. В Иркутской области создается кластер по утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО),

специализирующийся на их сортировке и утилизации. Строится мусоросортировочный комплекс с системой утилизации.

В Иркутской области планируют создать геофизический кластер для сбора и обработки пространственных данных в Южном Прибайкалье. Эта информация будет чрезвычайно востребована при строительстве инженерных сооружений. Анализ пространственных данных может быть востребован в сфере геодезии, геологии, метеорологии и др. Данный кластер планируется создать в рамках программы «Приоритет 2030».

Следует отметить, что начиная с 2021 года, в России реализуется государственная программа «Национальная система пространственных данных», направленная на разработку электронных карт и предоставление геодезической информации. В реализации программы участвуют федеральные геодезические станции, обеспечивающие постоянные измерения и обработку данных для разных отраслей экономики. Расширение сети станций в Южном Прибайкалье перспективно для развития сети дорог и туристической инфраструктуры. В рамках геофизического кластера предполагается создание 10 станций. При этом необходимо закупить программное обеспечение и сервер для хранения информации. Куратором данного проекта станет Лаборатория цифровой геодезии Сибирской школы геологических наук ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

В настоящее время в Иркутской области также рассматривается вопрос о создании кластера редкоземельных металлов в рамках Стратегии развития Сибири, принятой в 2023 году. Создание в Иркутской области данного кластера целесообразно, поскольку регион обладает научно-технологической базой в области химии и металлургии, имеются научные, образовательные организации, а также межрегиональный научно-образовательный центр мирового уровня «Байкал».

В регионе имеются значительные запасы тантала и ниобия, и имеется возможность создать кооперационные цепочки. Ниобий

востребован в металлургии для производства сверхпрочных сталей и сплавов. Кроме того, ниобий и тантал используются при производстве электролитических конденсаторов. Также ниобий в ядерной энергетике для производства защитных оболочек тепловыделяющих элементов.

Создание кластера редкоземельных металлов в Иркутской области целесообразно, поскольку в Иркутской области расположена Саянская редкометалльная рудная провинция, где выявлено 11 крупных месторождений, уникальных по запасам и качеству сырья. В частности, в Белозиминском месторождении запасы ниобия составляют 750 тысяч тонн, в Большетангинском 407,5 тысяч тонн, в Зашихинском месторождении 157 тысяч тонн ниобия и 15,7 тысяч тонн. В Нижнеудинском районе планируется строительство горно-обогатительного комбината, где будут производить тантал-ниобиевый и кirkониевый концентраты.

Большетангинское месторождение планирует осваивать АО «СТ Элементы». В настоящее время ведутся геологоразведочные работы. В дальнейшем планируется создать производство мощностью 20 тысяч тонн ниобиевого концентрата и 10 тысяч тонн феррониобия.

Кроме того, в Иркутской области развивается кластер по глубокой переработке полимеров. Важнейшей задачей кластера является производство высококачественных полимеров и снижение доли импорта во внутреннем региональном продукте региона. На сегодняшний день из 45 товаров, ввозимых в Иркутскую область, замещено 24 вида. Якорным резидентом кластера станет «Иркутский завод полимеров» в г. Усть-Куте. В настоящее время на Иркутском заводе полимеров в г. Усть-Куте завершены пусконаладочные работы. Начался режим наладки с использованием собственного углеводородного сырья. Далее планируется запуск основных технологических блоков по производству этилена и полиэтилена. Готовая продукция должна появиться на предприятии летом 2025 года.

Для успешного развития региона, важны вопросы кадрового обеспечения предприятий. Этому способствуют созданные кластеры в системе образования. В сентябре 2026 года в Иркутской области

планируется открыть два кластера «Профессионалитета» по подготовке специалистов для топливно-энергетического комплекса и химической отрасли промышленности. Кластеры откроются в рамках национального проекта «Молодежь и дети». Первый кластер будет сформирован на базе Иркутского колледжа автомобильного транспорта и дорожного строительства и его филиала в г. Усть-Куте. Второй на базе химико-технологического техникума в г. Саянске. Партнерами обоих кластеров выступят предприятия региона. Создание кластеров позволит студентам иметь доступ к современным лабораториям и стажироваться на объектах компании, а предприятиям закрыть проблему с нехваткой кадров.

Выводы:

Кластеры представляют собой географически сконцентрированные группы взаимосвязанных компаний и институтов, работающих в одной или смежных отраслях.

Кластерный подход представляет собой эффективный инструмент развития региональной экономики, способствующий динамичному росту производственных процессов.

Кластеры позволяют оптимизировать производственные затраты, повысить качество продукции, ускорить внедрение инновационных технологий.

Иркутская область, обладая богатыми природными ресурсами и стратегическим географическим положением, имеет все условия для развития кластеров в различных отраслях.

В Иркутской области активно развиваются машиностроительный, фармацевтический, нефтегазовый, строительных материалов и технологий, агропромышленный, лесопромышленный, туристско-рекреационный кластеры, а также Байкальский кластер легкой промышленности «Байкал Легпром». Планируется создать геофизический кластер и кластер редкоземельных металлов, а также кластеры в системе образования. Развитие кластеров в системе образования позволит решить проблему с кадрами в регионе.

Опыт Иркутской области в сфере развития кластеров может представлять интерес для других регионов России.

Список литературы

1. Баулина, О.А. Теоретико-методические основы формирования кластера в регионе: монография / О.А. Баулина, В.В. Ключин. — Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. — 200 с. — ISBN 978-5-98276-680-9.
2. Бойко Е.Н. Кластеры как новая форма конкурентных отношений в современной экономике // Россия: тенденции и перспективы развития. 2016. № 11-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klastery-kak-novaya-forma-konkurentnyh-otnosheniy-v-sovremennoy-ekonomike-1> (дата обращения: 27.05.2025).
3. Гайша О.Д. Зарубежный и отечественный опыт развития кластеров // Вестник ГУУ. 2019. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-i-otechestvennyy-opyt-razvitiya-klastеров> (дата обращения: 27.05.2025).
4. Проняева Л.И. Развитие интеграционных процессов в современной экономике на основе создания кластеров/ Л.И. Проняева, Павлова А.В. // Среднерусский вестник общественных наук. 2016. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-integratsionnyh-protsessov-v-sovremennoy-ekonomike-na-osnove-sozdaniya-klastеров> (дата обращения: 27.05.2025).
5. Бахшян Э.А. Кластеры в современной экономике: сущность, характерные черты и генерируемые эффекты/ Э.А.Бахшян // Теоретическая и прикладная экономика. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klastery-v-sovremennoy-ekonomike-suschnost-harakternye-cherty-i-generiruemye-effekty> (дата обращения: 27.05.2025).
6. Самаруха В.И. Развитие кластерной формы организации производства в лесной промышленности Иркутской области / В.И. Самаруха, Д.А. Иванова // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, № 6. – С. 896–906.
7. Латыпова В.Д. К вопросу о реализации модели промышленного симбиоза в ЛПК Иркутской области / В.Д. Латыпова // Baikal Research Journal. – 2023. – Том 14 – № 3. –DOI 10.17150/2411-6262.2023.14(3).1087-1095.

8. Чистякова О.В. Развитие кластеров в Иркутской области в условиях импортозамещения/ Чистякова О.В., Залуцкая Н. С. Baikal Research Journal. – 2023. – Том 14 – №2. –DOI 10.17150/2411-6262.2023.14(2).607-618.

9. Федеральным законом №488-ФЗ от 31 декабря 2014 года «О промышленной политике в Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/ (Дата обращения 28.05.2025).

10. Постановлением Правительства Российской Федерации №779 от 31.07.2015 года «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров». URL: <https://base.garant.ru/71150302/> (Дата обращения 28.05.2025).

11. Закон Иркутской области №132-ОЗ от 27 декабря 2016 года «Об отдельных вопросах реализации промышленной политики в Иркутской области». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/3800201612280010> (Дата обращения 28.05.2025).

12. Постановление Правительства Иркутской области № 608-пп от 19 сентября 2017 года «О реализации отдельных положений Закона Иркутской области «Об отдельных вопросах реализации промышленной политики в Иркутской области»». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/3800201709210012> (Дата обращения 28.05.2025).

© Чистякова О.В., 2025

Глава 2.

ФОРСАЙТИНГ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ: МЕТОДЫ, ОСОБЕННОСТИ, УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Худякова Ольга Юрьевна

к.т.н., доцент, доцент кафедры

Дипломатическая академия МИД России

Аннотация: В работе подробно представлен такой метод прогнозирования инновационных процессов, как форсайт-метод. Определены этапы данного подхода, их содержание, особенность метода, его ограниченность и условия применимости. Представлены основные направления форсайт исследования динамики инноваций.

Ключевые слова: форсайтинг, методы прогнозирования, инновационные процессы, форкаст, альтернативные методы прогнозирования.

FORESIGHTING OF INNOVATION PROCESSES: METHODS, FEATURES, CONDITIONS OF APPLICATION

Khudyakova Olga Yurievna

Abstract: The paper presents in detail such a method of forecasting innovation processes as the foresight method. The stages of this approach, their content, the peculiarity of the method, its limitations and conditions of applicability are defined. The main directions of foresight research of the dynamics of innovations are presented.

Key words: foresight, forecasting methods, innovation processes, forecast, alternative forecasting methods.

Методы прогнозирования инновационных процессов включают различные подходы, направленные на оценку перспектив развития новых технологий, продуктов и инноваций в экономике и

промышленности. К основным методам прогнозирования инноваций обычно относят [3]:

1. Экспертные методы (метод Дельфи, мозговой штурм и экспертные панели для генерации идей и оценки их потенциала).
2. Анализ трендов и технологического развития (изучение исторических данных и текущих тенденций в науке и технике для выявления направлений развития, технологические дорожные карты — визуальное планирование этапов развития технологий).
3. Патентный анализ (анализ патентной активности для выявления новых технологий и оценки их динамики).
4. Моделирование и сценарное прогнозирование (создание различных сценариев развития инновационных процессов с учётом неопределённости и факторов влияния, системная динамика для моделирования взаимодействия факторов инновационного развития) [8].
5. Анализ научных публикаций и цитирования (оценка научной активности и трендов на основе публикаций и цитируемости работ).
6. Методы машинного обучения и искусственного интеллекта (использование алгоритмов для обработки больших данных, выявления скрытых закономерностей и прогнозирования инновационных трендов).
7. Эконометрические модели (применение статистических моделей для оценки влияния различных факторов на инновационную активность) [9, 10].

Комбинация этих методов позволяет получить более точные и обоснованные прогнозы инновационного развития, учитывая сложность и многогранность инновационных процессов [7].

Кроме основных методов прогнозирования существуют также альтернативные. Альтернативные методы прогнозирования инновационных процессов — это подходы, отличающиеся от традиционных экспертных и статистических методов, которые часто применяются для учета высокой неопределенности и сложности инновационной деятельности. К таким методам относятся:

1. Краудсорсинг и коллективный интеллект (использование массовых открытых платформ для сбора идей и прогнозов от широкой аудитории, включая специалистов и пользователей).

2. Методы на основе социальных сетей и анализа больших данных (анализ трендов в социальных медиа, форумах, блогах и других источниках для выявления зарождающихся инновационных идей и настроений, применение алгоритмов обработки естественного языка (NLP) для выявления новых тем и технологий).

3. Метод аналогий и бионическое прогнозирование (поиск аналогий в других отраслях или природных системах для предсказания развития инноваций, использование бионики для вдохновения инновационных решений).

4. Геймификация и игровые методы (применение игровых симуляций и сценариев для моделирования инновационных процессов и оценки их вероятных исходов).

5. Футуристические методы и метод сценариев с участием стейкхолдеров (вовлечение широкого круга заинтересованных лиц в создание альтернативных сценариев будущего с учётом социальных, экономических и технологических факторов).

6. Методы гибридного прогнозирования (комбинация традиционных и альтернативных методов (например, экспертных оценок с анализом данных из социальных сетей) для повышения точности и надежности прогнозов).

7. Методы на основе теории хаоса и сложных адаптивных систем (моделирование инновационных процессов как динамических и нелинейных систем с высоким уровнем неопределенности и самоорганизации).

Эти методы позволяют учитывать нестандартные факторы и быстро меняющуюся среду инноваций, что особенно важно в условиях высокой технологической неопределенности.

К альтернативным и широко используемым методам прогнозирования относится и форсайтинг. Метод ориентирован на системное выявление долгосрочных тенденций, возможностей и рисков, а также формирование стратегических направлений развития, в том числе в области инноваций.

Форсайтинг как метод прогнозирования инноваций характеризуется своими особенностями. Он предполагает активное

вовлечение различных заинтересованных сторон: экспертов, представителей бизнеса, науки, власти, общественности. Это способствует учёту многообразия взглядов и интересов. В отличие от краткосрочных прогнозов, форсайт ориентирован на горизонты в 10–30 лет и более, что важно для стратегического планирования инноваций. Метод предполагает несколько циклов обсуждений, пересмотра и уточнения прогнозов, что повышает качество и достоверность результатов. В данном методе применяют как количественные, так и качественные методы исследования, например, экспертные опросы (включая метод Дельфи), сценарное моделирование, SWOT-анализ, технологические дорожные карты, семинары и воркшопы. Форсайт помогает выявить критические технологические, социальные, экономические и экологические факторы, влияющие на развитие инноваций. На основе собранной информации формируются альтернативные сценарии развития, что позволяет организациям готовиться к разным вариантам будущего. Форсайт помогает формировать долгосрочные стратегии развития инновационных систем и направлений, снижая риски и повышая адаптивность. Результаты форсайта используются для выработки адаптивных политик и стратегий, способных эффективно реагировать на возможные изменения в будущем.

В странах и корпорациях форсайт-процессы используются для определения приоритетных направлений научно-технического развития, подготовки инновационных стратегий и политики [4].

Иногда, в отдельных источниках встречается подмена понятий форсайт на форкаст. Представим сравнительную характеристику использования форсайта и форкаста при прогнозировании инноваций, отражающих ключевые отличия, методы и области применения каждого подхода (табл.1).

Таким образом, форсайт — это комплексный и интерактивный процесс, ориентированный на выявление множества возможных путей развития инноваций и формирование стратегий с учётом неопределённости и комплексности будущего. Он лучше подходит для долгосрочного планирования и создания инновационной политики.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика использования форсайта
и форкаста при прогнозировании инноваций**

Критерий	Форсайт (Foresight)	Форкаст (Forecasting)
Цель	Выявление долгосрочных перспектив, сценариев развития, формирование стратегического видения и политики инноваций	Прогнозирование конкретных показателей и тенденций на основе анализа исторических данных и текущих трендов
Временной горизонт	Долгосрочный (10–30 лет и более)	Среднесрочный и краткосрочный (от месяцев до 5–10 лет)
Подход к неопределённости	Активное исследование альтернативных сценариев, учёт высокой неопределённости и комплексности	Часто предполагает более детерминированные модели, меньший спектр вариантов развития
Методы	Экспертные панели, дельфи, сценарное планирование, краудсорсинг, игровые методы, анализ трендов и слабых сигналов	Статистический анализ, эконометрические модели, временные ряды, машинное обучение
Участие заинтересованных сторон	Широкое вовлечение экспертов, представителей бизнеса, науки, власти и общества	Обычно ограничено экспертным анализом и обработкой данных
Фокус на инновациях	Исследование потенциальных прорывных технологий, выявление новых направлений, формирование инновационных стратегий	Прогнозирование развития уже известных технологий и инновационных продуктов

Продолжение таблицы 1

Гибкость и адаптивность	Высокая, позволяет корректировать сценарии и стратегии по мере появления новых данных и изменений	Менее гибкий, требует переобучения моделей и обновления данных для корректировки прогнозов
Результат	Стратегические рекомендации, сценарии развития, карты технологий, дорожные карты инноваций	Количественные прогнозы, тренды, вероятности наступления событий
Применение	Разработка национальных и корпоративных инновационных стратегий, формирование политики, долгосрочное планирование	Оперативное планирование, оценка рыночных тенденций, управление портфелем инноваций
Ограничения	Требует значительных ресурсов и времени, зависимость от качества экспертных оценок	Может недооценивать неожиданные прорывы и системные изменения, ограничен историческими данными

Форкаст — более узконаправленный инструмент количественного прогнозирования, использующий исторические данные и статистику для оценки вероятных будущих событий в кратко- и среднесрочной перспективе. Эффективен для оперативного управления инновационными проектами и рыночными трендами. Поэтому оптимальна практика — комбинировать оба подхода: использовать форсайт для стратегического видения и сценарного анализа, а форкаст — для детального количественного прогнозирования и оперативного управления инновациями.

Таблица 2

**Сравнение содержания этапов проведения форсайт-исследования
в российской энергетической сфере и сфере образования***

Этап форсайт-исследования	Энергетическая стратегия России	Образовательная стратегия России
1. Определение целей и задач	Фокус на долгосрочном обеспечении энергобезопасности, переходе к «зелёной» энергетике, технологическом развитии	Обеспечение качества, доступности и адаптивности образования, подготовка кадров к будущим вызовам
2. Формирование команды и заинтересованных сторон	Вовлечение экспертов из энергетики, экономики, экологии, геополитики, представителей госорганов и бизнеса	Вовлечение педагогов, социологов, представителей власти, родителей, студентов, работодателей
3. Сбор и анализ данных	Анализ технологических трендов, экономических и климатических факторов, международных соглашений	Социологические опросы, анализ демографических и образовательных тенденций, политик и нормативов
4. Выявление ключевых факторов и драйверов изменений	Технологические инновации, цены на энергоносители, климатические требования, геополитика	Социальные изменения, цифровизация, требования рынка труда, государственная политика
5. Разработка сценариев будущего	Сценарии с учётом технологических прорывов, экологических ограничений, геополитических изменений	Сценарии цифровой трансформации, инклюзивного образования, изменения моделей обучения

Продолжение таблицы 2

6. Оценка последствий и рисков	Анализ влияния сценариев на экономику, энергобезопасность, экологию, международное положение	Анализ влияния на качество образования, социальную справедливость, кадровый потенциал
7. Формирование рекомендаций и стратегий	Разработка мер по диверсификации энергетики, стимулированию инноваций, снижению экологических рисков	Рекомендации по реформам, внедрению новых технологий, развитию кадрового потенциала
8. Вовлечение и коммуникация результатов	Координация с государственными и бизнес-структурами, презентации, обсуждения	Обсуждения с образовательным сообществом, публичные презентации, включение в нормативные документы
9. Мониторинг и обновление	Регулярный пересмотр сценариев с учётом новых данных и событий	Постоянный мониторинг образовательных трендов, корректировка стратегии

**проект «Форсайт развития образования в России до 2030 года»*

Этапы проведения форсайт-процесса, как правило, идентичны вне зависимости от сферы приложения [5]. Так, при определении энергетической и образовательной стратегий развития России этапы можно представить следующим образом (табл. 2).

Несмотря на идентичность этапов, можно отметить и отличия. В энергетике акцент на технических, экономических и геополитических

аспектах, в образовании — на социальных, педагогических и культурных факторах. В образовательном форсайте важна широкая вовлечённость различных социальных групп, в энергетике — акцент на взаимодействие государства и бизнеса. Сценарии в энергетике часто связаны с технологическими и экологическими вызовами, в образовании — с социальными изменениями и инновациями в обучении. Мониторинг в энергетике ориентирован на глобальные тренды, в образовании — на внутренние социально-педагогические процессы.

Таким образом, этапы форсайт-исследования сохраняют общую структуру, но адаптируются под специфику предметной области и ключевые вызовы. Поэтапный форсайт-процесс позволяет учесть комплексность и неопределённость развития энергетического сектора, повысить качество стратегического планирования и обеспечить устойчивое развитие исследуемой сферы России [2].

Представим в качестве примера форсайт-исследования в сфере образования — проект «Форсайт развития образования в России до 2030 года», реализованный Министерством образования и науки РФ совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами и экспертным сообществом (табл.3).

Этот форсайт-проект помог системно взглянуть на вызовы и возможности образования в долгосрочной перспективе, создать основу для стратегического планирования и повысить адаптивность образовательной системы к будущим изменениям.

Применение форсайта не всегда возможно или целесообразно, и его эффективность зависит от ряда факторов и условий.

Таблица 3

**Ключевые особенности проект «Форсайт развития
образования в России до 2030 года»**

1	Цель проекта	Определить перспективные направления развития системы образования в России с учётом технологических, социально-экономических и демографических изменений, а также глобальных трендов в образовании

Продолжение таблицы 3

2	Методология	Использование экспертных опросов, включая метод Дельфи, для сбора мнений экспертов из разных областей образования, науки и бизнеса. Анализ трендов и драйверов изменений (цифровизация, персонализация обучения, инклюзивность, новые компетенции). Формирование сценариев развития образования с учётом различных факторов и рисков
3	Результаты	Выделение ключевых приоритетов, таких как развитие цифровых образовательных технологий, повышение квалификации педагогов, адаптация содержания образования к требованиям будущего рынка труда. Разработка рекомендаций по реформированию образовательной политики, внедрению инновационных методов обучения и оценке качества образования.
4	Внедрение	Результаты форсайтинга были учтены при формировании национальных проектов и программ модернизации образования, включая развитие цифровой инфраструктуры и поддержку научно-образовательных инициатив

Форсайт наиболее эффективен при необходимости планирования на средне- и долгосрочную перспективу (обычно от 10 лет и более), когда важно учитывать комплексность и неопределённость будущих изменений. Для краткосрочных задач форсайт может быть избыточным. Форсайт — это комплексный и часто длительный процесс, требующий привлечения экспертов, проведения опросов, анализа данных и обсуждений. Если ресурсы (время, деньги, экспертиза) ограничены, применение метода может быть затруднено. Он особенно полезен в условиях, когда будущее сложно предсказать классическими методами из-за множества взаимосвязанных факторов и неопределённостей.

В стабильных и предсказуемых условиях более простые методы могут быть предпочтительнее. Форсайт требует активного участия различных заинтересованных сторон и экспертов, а также готовности к обсуждению альтернативных точек зрения. Если такая кооперация невозможна, эффективность метода снижается. Если задачей **организации или сообщества** является не просто прогнозирование, а разработка стратегий и политик, учитывающих различные сценарии развития, то форсайт будет полезен. Если же требуется быстрое принятие решений на основе текущих данных, другие методы могут быть более подходящими.

Таким образом, Форсайт — мощный инструмент альтернативного прогнозирования и стратегического планирования, но его применение оправдано не всегда. Решение о применении метода должно основываться на анализе целей, ресурсов, временных рамок и специфики исследуемой области [6].

Хотя методология форсайта во многом универсальна, специфика предметной области влияет на особенности организации и проведения исследования. Сравним условия проведения форсайт-исследования для двух разных сфер — энергетической стратегии России и образовательной стратегии развития России (табл.4).

Несмотря на то, что базовые этапы и методы форсайта применимы в обеих сферах, специфика энергетики требует более глубокого технического и экономического анализа с акцентом на глобальные тренды и геополитику, тогда как образовательная стратегия требует большего внимания к социальным, культурным и педагогическим аспектам, а также широкому вовлечению общественных групп. Условия проведения форсайт-исследования в каждой области адаптируются под особенности предметной области, заинтересованных сторон и типов неопределённостей.

К условиям использования форсайт-исследования следует отнести и совокупность правил, принципов и ограничений, которые обеспечивают эффективное, этичное и целенаправленное применение результатов форсайт-процесса [1].

Результаты форсайт-исследования должны использоваться для поддержки стратегического планирования, принятия решений и

разработки политики в соответствующей области (например, энергетика, образование, здравоохранение). Использование вне этих целей может привести к искажению смысла и снижению эффективности (табл. 5).

Таблица 4

Сравнительная характеристика условий проведения форсайт-исследования энергетической и образовательной стратегий России

Условие / Аспект	Энергетическая стратегия России	Образовательная стратегия развития России
Временной горизонт	Долгосрочный (10–30 лет), учитывая инвестиционные циклы и технологические изменения в энергетике	Средне- и долгосрочный (10–20 лет), с учётом социальных и демографических трендов
Ключевые драйверы изменений	Цены на энергоносители, технологические инновации, климатические требования, геополитика, международные соглашения	Демография, технологические изменения в образовании (цифровизация), социальные запросы, государственная политика, экономические условия
Мультидисциплинарность	Вовлечение экспертов из энергетики, экономики, экологии, геополитики, технологий	Эксперты в области педагогики, социологии, экономики, информационных технологий, психологии, государственного управления

Продолжение таблицы 4

Заинтересованные стороны	Правительство, энергетические компании, научные институты, экологи, международные организации	Министерство образования, школы, вузы, учителя, родители, студенты, работодатели, НКО
Сложность и неопределённость	Высокая — быстрые технологические изменения, геополитические риски, климатические вызовы	Высокая — социальные трансформации, изменения в требованиях к компетенциям, влияние технологий на обучение
Методы сбора данных	Анализ статистики, технологические тренды, экспертные опросы, сценарное моделирование	Социологические исследования, опросы участников образовательного процесса, экспертные панели, анализ политик
Типы сценариев	Технологические прорывы, «зелёный» переход, консервативное развитие, геополитические изменения	Традиционное образование, цифровая трансформация, инклюзивное образование, ориентация на компетенции будущего
Основные вызовы	Учет глобальных энергетических трендов, баланс экономических и экологических интересов, геополитика	Учет региональных различий, адаптация к быстро меняющимся требованиям рынка труда, социальное равенство

Продолжение таблицы 4

Ресурсы и время	Значительные ресурсы — эксперты, данные, время для комплексного анализа	Значительные, но возможно более гибкие сроки, необходимость широкого вовлечения социальных групп
Коммуникация и внедрение	Требуется координация между государством, бизнесом и наукой, прозрачность и поддержка политик	Акцент на вовлечение общественности, педагогов и учеников, коммуникация изменений на разных уровнях системы

Форсайт-исследования отражают перспективы и тренды на определённый период и требуют регулярного обновления для учёта новых данных и изменений в окружающей среде. Использование результатов должно учитывать междисциплинарный и системный характер форсайта, избегая упрощённых интерпретаций и односторонних выводов.

Таблица 5

Условия использования результатов форсайт-исследования проекта

1	Цель использования	Результаты данного форсайт-исследования предназначены для поддержки стратегического планирования и принятия решений в сфере [указать сферу, например, энергетики, образования].
2	Область применения	Использование результатов ограничивается [перечислить направления, например, разработкой государственной политики, формированием инвестиционных программ].
3	Актуальность	Данные исследования актуальны на период [указать годы], пересмотр и обновление результатов рекомендуется проводить не реже, чем раз в [указать период].

Продолжение таблицы 5

4	Участие заинтересованных сторон	Для эффективного использования результатов необходимо обеспечить участие ключевых заинтересованных сторон и проводить регулярные консультации.
5	Документирование и прозрачность	Методы, источники данных и ограничения исследования подробно описаны в приложениях к данному документу и доступны для всех пользователей
6	Этические нормы	Пользователи обязуются соблюдать конфиденциальность экспертных оценок и не использовать результаты в целях, противоречащих этическим стандартам
7	Гибкость применения	Результаты являются ориентировочными и требуют адаптации под изменяющиеся условия и новые данные
8	Интеграция с другими инструментами	Рекомендуется использовать результаты совместно с экономическими, социальными и технологическими анализами для комплексного принятия решений
9	Ответственность	Организаторы форсайт-исследования не несут ответственности за решения, принятые без учёта комплексного анализа и дополнительной экспертизы

Эффективное применение требует вовлечения ключевых участников — экспертов, представителей власти, бизнеса и общества — для согласования целей и действий. Методы, допущения и ограничения форсайт-исследования должны быть чётко документированы и доступны для понимания пользователями результатов. При использовании результатов необходимо соблюдать этические стандарты, включая уважение интеллектуальной собственности, конфиденциальность экспертных оценок и недопущение манипуляций. Форсайт — это инструмент прогнозирования с высокой степенью неопределённости, поэтому решения на его основе должны предусматривать возможность корректировок и адаптации к новым условиям. Результаты форсайта

рекомендуется использовать совместно с экономическими, социологическими и технологическими анализами для формирования сбалансированной стратегии.

Соблюдение этих условий способствует максимальной пользе форсайт-исследований и снижает риски неправильного применения их результатов.

При проведении форсайт-исследований могут возникать различные риски и вызовы, которые влияют на качество и полезность результатов. Как правило, к ним относят, прежде всего: неопределённость и сложность будущего, субъективность экспертных оценок, ограниченность данных и информации, сложность координации и вовлечения участников, ресурсные ограничения, проблемы интерпретации и использования результатов, динамичность внешней среды, риски манипуляции и политизации.

Будущее всегда содержит множество неизвестных факторов, что затрудняет построение точных прогнозов. Всегда существует вероятность появления неожиданных событий (черных лебедей), которые могут кардинально изменить ситуацию. Результаты исследования во многом зависят от выбора и мнений конкретных экспертов, что приводит к искажению или предвзятости, иногда очень значительному. Конфликты интересов или доминирование отдельных участников также искажают обсуждение. Недосток качественных, актуальных и релевантных данных серьезно снижает достоверность анализа. Сбор информации по новым или быстро меняющимся областям обычно сильно затруднен. Проблемы зачастую возникают в привлечении широкого круга заинтересованных сторон и обеспечении их активного участия. Различия во взглядах, интересах и приоритетах участников осложняют согласование сценариев и рекомендаций. Для проведения форсайт-исследования требуются значительные затраты временных, финансовых и организационных ресурсов. Ограничения на них могут привести к упрощению анализа или сокращению числа сценариев. Результаты форсайта, как правило, сложны для понимания и применения на практике. Отсутствие поддержки со стороны руководства или

заинтересованных сторон приводит к игнорированию рекомендаций. Быстро меняющиеся внешние условия превращают сценарии и прогнозы в устаревшие в короткие сроки. Возникает необходимость регулярного обновления форсайт-исследования с возможностью использования результатов форсайта в интересах отдельных групп или для оправдания уже принятых решений. Политическое давление сказывается на объективности и открытости процесса.

Для успешного форсайт-исследования важно заранее учитывать эти риски и вызовы, строить процесс с максимальной прозрачностью, разнообразием мнений, качественным сбором данных и обеспечением поддержки результатов на уровне принятия решений. Это поможет повысить надежность и практическую ценность форсайта.

Главные направления форсайт-исследований инновационных процессов обычно охватывают ключевые аспекты, которые влияют на развитие инноваций и их внедрение в экономику и общество:

1. Технологические тренды и прорывы (анализ перспективных технологий, их потенциала и этапов развития (например, искусственный интеллект, биотехнологии, нанотехнологии, квантовые вычисления), выявление технологий с наибольшим потенциалом трансформации отраслей).

2. Научно-исследовательская и инновационная инфраструктура (оценка состояния и развития научных центров, лабораторий, технопарков, инкубаторов, венчурного финансирования и других элементов инновационной экосистемы).

3. Институциональные и нормативные условия (изучение законодательной базы, государственной политики, механизмов поддержки инноваций, интеллектуальной собственности, стандартов и регуляторных барьеров).

4. Экономические и финансовые факторы (анализ инвестиционной привлекательности инноваций, доступности финансирования, рынков сбыта, механизмов коммерциализации и масштабирования инновационных продуктов).

5. **Социально-культурные аспекты** (изучение готовности общества и бизнеса к инновациям, культуры инновационного мышления, образования и подготовки кадров, восприятия новых технологий).

6. **Глобальные и геополитические тренды** (влияние международного сотрудничества, конкуренции, санкций, глобальных цепочек создания стоимости и технологических блокад на инновационные процессы).

7. **Сценарное моделирование развития инноваций** (построение альтернативных сценариев развития инновационной среды с учётом различных драйверов и ограничений).

8. **Влияние цифровой трансформации** (исследование роли цифровых технологий и платформ в ускорении инновационных процессов и изменении бизнес-моделей).

9. **Оценка рисков и барьеров инновационного развития** (идентификация технологических, экономических, социальных и политических рисков, а также стратегий их минимизации).

10. **Внедрение и распространение инноваций** (анализ механизмов и факторов, способствующих масштабированию инноваций и их интеграции в производство и общество).

Учет преимуществ метода форсайт способствует созданию более устойчивых, информированных и эффективных стратегий развития в условиях быстроменяющихся и сложных условий (табл.6).

Значимость использования форсайт-исследования заключается в том, что оно позволяет организациям, государствам и сообществам системно и заблаговременно анализировать возможные будущие тенденции, риски и возможности, что способствует принятию более информированных, гибких и устойчивых решений. Это снижает риски неожиданных кризисов и позволяет разрабатывать стратегии, учитывающие различные сценарии развития.

Форсайт-исследования предоставляют комплексный взгляд на будущее, что улучшает качество долгосрочного планирования, помогает

определить приоритетные направления развития и распределить ресурсы более эффективно.

Таблица 6

Преимущества и недостатки форсайтинга

	Преимущества форсайтинга	Недостатки форсайтинга
1	Позволяет заранее предвидеть возможные изменения и тренды, что помогает организациям и людям адаптироваться и принимать более обоснованные решения	Не всегда возможна точная предсказуемость будущего, что приводит к ошибочным выводам и решениям
2	Способствует разработке стратегий развития, минимизируя риски и повышая шансы на успех	Требует значительных ресурсов времени и усилий для сбора и анализа информации
3	Помогает выявить новые возможности и угрозы в долгосрочной перспективе	Иногда предполагает излишнюю осторожность или страх перед будущим, что тормозит инновации
4	Стимулирует инновационное мышление и творческий подход к решению проблем	Сложность учета всех возможных факторов и непредвиденных событий
5	Улучшает коммуникацию и координацию между различными подразделениями и заинтересованными сторонами	Результаты форсайтинга интерпретируются субъективно, что снижает их объективность и надежность

Анализ перспективных технологий и трендов стимулирует инновационную активность, способствует созданию новых продуктов, услуг и бизнес-моделей, а также развитию научно-технического потенциала.

Форсайт-методы часто предусматривают участие экспертов, представителей бизнеса, власти и общества, что способствует формированию общего видения будущего и консенсуса по ключевым вопросам. Знание возможных альтернативных сценариев позволяет организациям и странам быстрее адаптироваться к изменениям, минимизировать негативные последствия и использовать новые возможности.

За счёт прогнозирования и оценки различных вариантов развития можно более рационально распределять инвестиции, избегать дублирования усилий и повышать эффективность программ и проектов. Форсайт способствует развитию у участников процесса навыков системного и стратегического мышления, что важно для устойчивого развития в условиях быстро меняющегося мира.

Использование форсайт-исследования — это ключевой инструмент повышения качества стратегического управления, снижения неопределённости и повышения конкурентоспособности на национальном, региональном и корпоративном уровнях. Без форсайта принятие решений рискует опираться исключительно на прошлый опыт и текущие данные, что недостаточно в условиях динамичных изменений современного мира.

Список литературы

1. Балашова Р.И., Пархоменко О.В., Замиралова А.Г. Концептуальные положения форсайтинга развития инновационной экономики в условиях цифровизации в деятельности субъектов предпринимательства // Вестник института экономических исследований. 2021, № 3(23). С. 57-66.
2. Бражникова Л.Н., Мызникова М.А. Стратегическое управление инновационным развитием экономики в условиях неопределенности на основе форсайтинга // Вестник института экономических исследований. 2022, № 1(25). С. 36-48.
3. Бутакова, М.М. Экономическое прогнозирование: методы и приемы практических расчетов: учебное пособие / М.М. Бутакова. – М.: КНОРУС, 2008 – 168 с.

4. Ивашкин С.В. Методы научно-технического прогнозирования процесса развития организации / С.В. Ивашкин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2011. - № 5(28). – Т. 1 – С. 186-188. – URL: <https://moluch.ru/archive/28/3243/>
5. Крюков С.В. Форсайт: от прогноза к формированию будущего // TERRA ECONOMICUS, 2010. Том 8, № 3, Часть 2, с. 7-17.
6. Пономаренко Ю.Е., Ступаченко Е.В. Методы научно-технического прогнозирования // Вестник СибАДИ, выпуск 4 (32), 2013, с. 61-66.
7. Трифонова Н.В., Власова М.С., Лобанова И.А., Ковалева А.С. Отраслевое научно-технологическое прогнозирование: от построения образа к изучению неопределенного будущего // Развивая энергетическую повестку будущего: Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. СПб, - ЛЭТИ. – 2021. С. 241-245.
8. Худякова О.Ю. Прогнозные модели макроэкономических процессов: особенности построения // Журнал «Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право», № 3, 2024. С. 165-171.
9. Худякова О.Ю. Модели экономического развития отдельной страны на современном этапе: трансформация и совершенствование // Global Challenges an Transformation of Economic Development Models/ Tbilisi, 2023. p. 48-49.
10. Чугаев П.А., Худякова О.Ю. Разработка модели диагностики прогнозирования влияния фактора - цена на нефть на уровень валового внутреннего продукта // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 108-115.

© Худякова О.Ю.

УДК: 519.85: 004.42

Глава 3.
**ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДАМИ
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Польшакова Наталья Викторовна

к.э.н., доцент кафедры информатики
и информационно-коммуникационных технологий
Негосударственное образовательное частное учреждение
высшего образования «Университет «Синергия»

Уварова Марина Николаевна

к.э.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина»

Гришина Светлана Юрьевна

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина»

Аннотация: В данной работе авторами представлена унифицированная система экономико-математических моделей, которые позволяют оптимизировать производственную деятельность и финансовые показатели сельскохозяйственных предприятий Орловской области. Данная система математических моделей применима ко всем отраслям сельскохозяйственным отраслям региона, так как учитывает экологические аспекты при формировании производственной структуры. Она прошла практическое тестирование и доказала свою эффективность в научной и проектной деятельности. Таким образом, данная работа представляет собой комплексный инструмент поддержки принятия экономически обоснованных решений предприятиями Орловской области.

Ключевые слова: Унифицированная система экономико-математических моделей, кластерный анализ, оптимизация производства, финансовые показатели, производственная структура.

OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION STRUCTURE USING ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING METHODS

Polshakova Natalia Viktorovna

Uvarova Marina Nikolaevna

Grishina Svetlana Yurievna

Abstract: In this paper, the authors present a unified system of economic and mathematical models that make it possible to optimize the production activities and financial performance of agricultural enterprises in the Orel region. This system of mathematical models is applicable to all branches of the agricultural sector in the region, as it takes into account environmental aspects in the formation of the production structure. It has passed practical testing and proved its effectiveness in scientific and project activities. Thus, this work is a comprehensive tool to support economically sound decision-making by enterprises of the Orel region.

Key words: Unified system of economic and mathematical models, cluster analysis, production optimization, financial indicators, production structure.

Введение. Многолетняя практика выявила невысокую продуктивность традиционной парадигмы математического моделирования агропредприятий, ориентированной на блочное программирование. Например, широко используемая теория двухэтапного планирования (так называемая декомпозиция Корнаи–Липтака), основанная на принципах двойственности переменных,

определяющих значимость различных плановых сценариев для хозяйствующих субъектов. Другим распространённым инструментом являются декомпозиционные схемы Данцига–Вульфа, реализующие пошаговую интеграцию иерархически структурированных оптимизационных процессов посредством механизма внутривладельческого ценообразования. Отдельно заслуживают внимания методики разбиения проблемных областей — подходы типа метода отсечения, сводящиеся исключительно к обмену предложенными планами производства между уровнями управления. Однако накопленный опыт продемонстрировал недостаточную адаптивность и ограниченную действенность указанных подходов в современных условиях динамично меняющегося аграрного сектора [10].

Основной причиной неэффективности стало несоответствие строгих итеративных вычислительных схем реалиям современных технологий планирования аграрных производств, которые требуют учета изменений рынка и финансовых регуляторов [4].

Происходящие процессы цифрового трансформирования агропромышленного производства и развитие цифровых, интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий, диктуют необходимость внедрения новых подходов к применению экономико-математических инструментов. Эти подходы предполагают использование целостных, несегментированных унифицированных линейных моделей с модульной архитектурой, обеспечивающих эффективное решение комплексных задач управления сельскохозяйственным производством [1].

Современный методологический инструментарий предлагает рассматривать компоненты агропромышленного комплекса в виде автономных модульных единиц, объединённых специальным интегрированным компонентом. Этот компонент служит связующим звеном между отдельными субъектами хозяйственной деятельности, формирует их целевые установки и осуществляет координацию

распределения ресурсных потоков в рамках единого объекта исследования. Подобная архитектура обеспечивает ряд ключевых преимуществ:

- возможность одновременного сочетания компактности описания и воспроизведения многомерных межсекторальных взаимодействий;
- высокую степень адаптации к большим массивам устойчивых статистических данных;
- оперативность реализации широкого спектра вычислительных экспериментов и проведения интерактивного анализа;
- универсальность подхода, обеспечивающего совместимость с разнообразными платформами и интеграцию в масштабные аналитические экосистемы.

Таким образом, представленная концепция построения унифицированной экономико-математической модели создаёт прочную основу для эффективной оценки и оптимизации функционирования предприятий агропромышленной сферы.

Одним из существенных условий увеличения темпов роста производства продукции является рациональное использование сельскохозяйственных угодий, оптимизация структуры посевных площадей, замена низко продуктивных сортов высокопродуктивными сортами сельскохозяйственных культур. Также сельскохозяйственному товаропроизводителю необходимо наличие сбалансированной производственно-финансовой программы, базирующейся на научно-обоснованных прогнозных экономических сценариях, разработанных с применением методов экономико-математического моделирования.

Условия. Для разработки оптимальной производственной структуры в многоотраслевых сельскохозяйственных предприятиях Орловской области мы предлагаем применять унифицированную систему экономико-математических моделей, предназначенную для формирования эффективных производственно-финансовых планов.

Унифицированная система экономико-математических моделей (УСЭММ) позволяет учитывать разнообразные факторы и создавать наиболее обоснованные и оптимальные варианты ведения хозяйственной деятельности.

Материалы и методы. В качестве методологической основы проектирования системы оптимального планирования производственной структуры сельскохозяйственных предприятий использовались: монографический метод, модели многомерных группировок, которые реализовывались с применением кластерного анализа финансово-экономических индикаторов предприятий, с их последующей группировкой по однородным признакам для выявления закономерностей и определения наиболее репрезентативных групп хозяйств. Также в рамках данного исследования нами использовались методы экономико-математической формализации, которые позволили построить систему экономико-математических моделей, отражающих производственные процессы и взаимосвязи между различными элементами агропроизводства, и оценить эффективность альтернативных сценариев развития предприятия для последующего выбора наилучшего варианта стратегического развития.

Для проведения всестороннего и объективного исследования, которое будет способствовать выработке рекомендаций по совершенствованию производственного процесса в сельском хозяйстве, нами использовались первичные эмпирические данные, научная литература и публикации Федеральной службы государственной статистики, данные Росстата, отчеты министерств и ведомств, нормативно-правовые документы.

Методика построения унифицированной системы экономико-математических моделей многомерной классификации и оптимального производственно-финансового плана. Для разработки оптимальной производственной структуры и вариантов производственных программ в многоотраслевых сельскохозяйственных предприятиях Орловской

области нами предлагается использовать унифицированную систему экономико-математических моделей (УСЭММ), инфологическая схема которой приведена на рисунке 1.

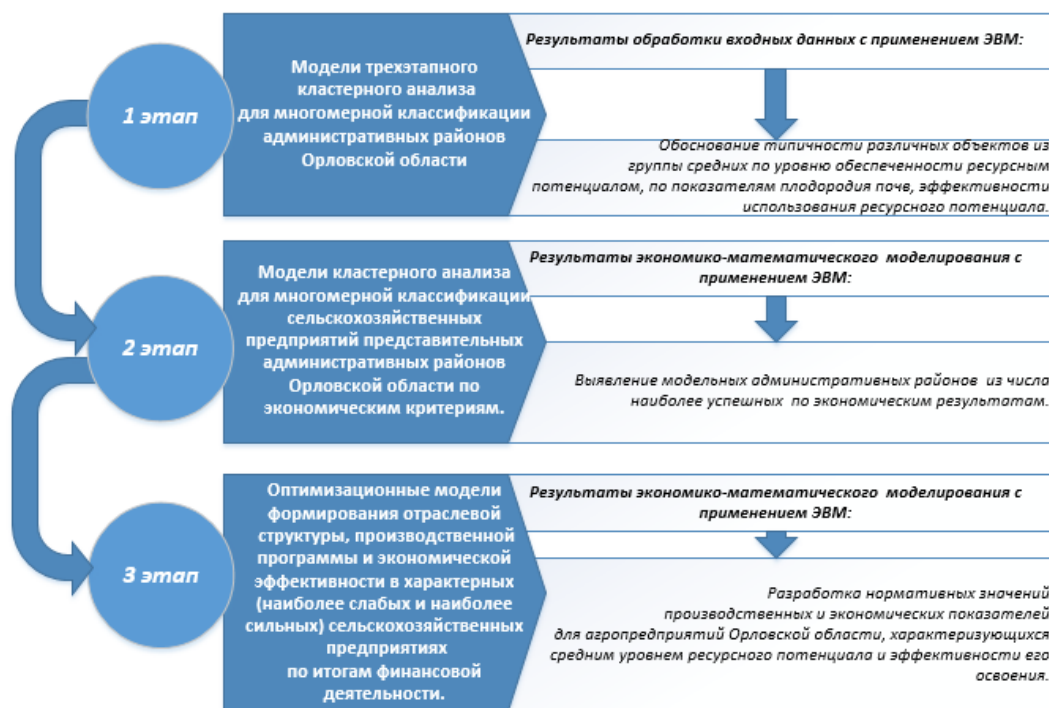


**Рис. 1. Инфологическая модель унифицированной системы
экономико-математических моделей устойчивой производственной
программы для сельскохозяйственных предприятий
Орловской области**

Главная цель планирования оптимальных показателей заключается в формировании устойчивой производственной программы, нацеленной на получение положительного экономического эффекта за счет максимизации прибыли от реализации продукции и минимизации затрат на ее производство.

Важнейшей особенностью, предложенной нами методики построения унифицированной СЭММ, является учет однотипной специализации большого количества сельскохозяйственных предприятий Орловской области. Как правило, сельскохозяйственные предприятия имеют однотипную отраслевую направленность, которая складывается из, преимущественно, производства продукции отрасли растениеводства,

которая в структуре занимает 65-70% и отрасли животноводства. В растениеводстве большинство сельхозтоваропроизводителей занимаются возделыванием зерновых, масличных и технических культур. В животноводстве - разведение крупного и мелкого рогатого скота на мясо и молоко, выращивание свиней, птицы на яйцо и мясо. Тем не менее, несмотря на некоторые отличия в специализации хозяйств, формах их хозяйствования и размерах площадей сельскохозяйственных угодий, предприятия имеют низкую вариацию экономических условий ведения производства. Следовательно, возникает необходимость выделения репрезентативных групп хозяйств либо отдельного хозяйства, обладающего характеристиками, аналогичными всей генеральной совокупности. Чтобы обеспечить репрезентативность выборочных данных, крайне важно гарантировать равную вероятность включения каждого элемента изучаемого массива в итоговую выборку [4, 6].

Данное условие позволяет выделить в качестве микро-региональных объектов исследования районы Орловской области, для чего использовались модели многомерной группировки, реализуемые методами кластерного анализа, который предполагает многоступенчатую разбивку генеральной совокупности на кластеры, которые настолько различны, насколько это возможно [3].

Первый этап - Классификация агропромышленных предприятий. На первом этапе был проведен классификационный анализ агропромышленных предприятий административных районов Орловской области реализованных методами кластерного анализа по показателям обеспеченности ресурсным потенциалом.

Целеполаганием настоящего исследования выступает всесторонний сравнительный анализ рассматриваемых сельскохозяйственных предприятий, направленный на установление масштабов дифференциации между ними. Указанное сопоставление базируется на комплексном изучении величин ряда фундаментальных индикаторов, отражающих ключевые аспекты производственной деятельности. Среди индикаторов особое значение приобретают такие параметры, как общая площадь пахотных земель, численность задействованных трудовых

ресурсов, объём материально-технической производственных фондов, а также качественная характеристика используемых сельскохозяйственных угодий, измеряемая общепринятым показателем оценки естественного плодородия почвы — баллом бонитета.

Проведенный анализ по показателям обеспеченности ресурсным потенциалом (таблица 1) указывает на тот факт, что агропромышленные предприятия административных районов Орловской области разделились на три кластера.

Таблица 1

**Результаты кластерного анализа административных районов
Орловской области по показателям обеспеченности
ресурсным потенциалом**

Кластеры	Количество районов	Центроидные значения показателей		
		Производственные фонды, тыс. руб.	Пашня тыс. га.	Трудовые ресурсы, чел
1	9	7891,2	96,9	6789,2
2	10	971,6	47,8	4125,3
3	5	1064,6	69,9	3644,1

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что административные районы Орловской области имеют чётко выраженную дифференциацию по уровню ресурсного потенциала. Кластерная дифференциация образует три основных кластера:

1-й кластер с высоким уровнем ресурсного потенциала представлен Корсаковским, Знаменским, Сосковским, Краснозоренским, Шаблыкинским, Новосильским, Троснянским, Хотынецким, Должанским районами, отличающимися высокими показателями по производственным фондам, землям сельскохозяйственного назначения и трудовым ресурсам.

Умеренный уровень характерен для второго кластера, в который входят следующие административные районы: Новодеревеньковский, Малоархангельский, Глазуновский, Дмитровский, Залегощенский,

Покровский, Колпнянский, Свердловский, Верховский, Болховский. Исследуемые характеристики данного кластера несколько ниже, в первом кластере, но выше, чем показатели в третьем кластере, который объединяет территории Мценского, Урицкого, Кромского, Ливенского, и Орловского районов с высокими экономическими возможностями. Несмотря на относительно низкий уровень обеспеченности пахотными землями, этот кластер обладает определёнными преимуществами, такими как географическое положение и доступ к транспортным магистралям, что создаёт дополнительные возможности для регионального развития.

Центральное значение в агроэкономической топологии занимает экономическое плодородие земель природно-ландшафтных районов в орловской области.

Данные исследования методами кластерного анализа показателей бонитета почв (таблица 2) в Орловской области говорят о том, что формирование кластеров по экономическому плодородию имеет корреляционную зависимость от географического положения анализируемых административных районов.

Таблица 2

**Результаты кластерного анализа административных районов
Орловской области по показателям экономического плодородия**

Кластеры	Количество районов	Центроидные значения показателей		
		Балл по кормовым единицам	Балл по сахарной свекле	Балл по зерновым
1	6	76-78	53-55	57-62
2	12	78-80	56-60	63-67
3	6	80-82	61-65	68-70

Таким образом, в первый кластер входят 6 административных районов с наименьшими центроидными значениями показателей, которые располагаются в северо-западном районе. Шесть

административных районов относятся к 3-му кластеру с высокими центроидными значениями по показателям экономического плодородия.

Завершающим этапом комплексного статистического анализа административно-территориального деления Орловской области путем многомерной классификации, стало проведение комплексного анализ показателей эффективности использования ресурсного потенциала (таблица 3).

Таблица 3

**Результаты кластерного анализа административных районов
Орловской области по показателям экономической эффективности
использования ресурсного потенциала**

Кластер ы	Количес- тво районов	Центроидные значения показателей		
		Выручка от реализации продукции, на 100 га с.- х. угодий, тыс. руб.	Прибыль от реализации сельскохозяйствен ной продукции, на 100 га с.-х. угодий, тыс. руб.	Прибыль от реализации сельскохозяйствен ной продукции, на 100 руб. производственных затрат, руб.
1	8	418,8	24,6	6,8
2	11	586,7	36,2	7,2
3	5	1023,5	75,1	6,7

Результаты вышепредставленной таблицы показывают распределение административных районов по кластерам следующим образом: в первую группу кластеров входит 33,3% районов Орловской области, ко второй группе относится 45,8% административных районов и только 20,2 % административных района составляют третью кластерную группу с высокими показателями экономической эффективности использования ресурсного потенциала.

Данные кластерного анализа по различным показателям позволяет сделать обоснованный выбор модельного административного района. Для более наглядного примера мы воспользуемся методом картографического растрового наложения карты на карту (рисунок 1).

Анализ картографических данных подтверждает, что в качестве модельного или репрезентативного административного района Орловской области по анализируемым показателям, таким как экономическое плодородие почв, уровень обеспеченности ресурсным потенциалом и эффективность его использования, выделен Ливенский район.



Рис. 1. Определение репрезентативного административного района Орловской области по результатам многомерной классификации с использованием метода растрового картографического наложения

Также результаты проведенного многомерного кластерного анализа подтверждают наличие значительных различий в условиях ведения регионального агробизнеса и требуют дальнейшего изучения причин такой неоднородности [8].

Второй этап - Многомерная кластеризация по финансовым показателям

После классификации административных районов проведенной на первом этапе, на втором этапе была построена многомерная кластерная модель предприятий АПК репрезентативного (модельного) административного района Орловской области. Этот этап включал анализ следующих финансовых показателей:

- Показатели экономической эффективности производства сельскохозяйственной продукции, такие как: величина прибыли в расчёте на единицу земельной площади, нормы прибыли и труда, уровни рентабельности и убыточности;
- Коэффициенты ликвидности предприятий, помогающие оценить стабильность предприятия.
- Показатели балансировки финансовых потоков предприятий, которые помогают оценить стабильность предприятия, и включают в себя сбалансированные суммы доходов и расходов, синхронизацию потоков во времени для достижения финансового равновесия предприятий АПК с учётом стратегии их долгосрочного развития.

Результаты второго этапа показали, что среди проанализированных предприятий выделяются две основные группы:

Группа условно лучших предприятий, демонстрирующих высокие финансовые показатели и эффективную организацию производственного процесса.

Группа условно худших предприятий, испытывающих трудности в управлении финансовыми потоками и снижающие свою конкурентоспособность.

Это разделение подчеркивает необходимость целенаправленных мер поддержки отстающих предприятий и распространения опыта успешных хозяйств.

Третий этап - Унифицированная экономико-математическая модель (УЭММ)

Третий этап исследования посвящен созданию унифицированной системы экономико-математических моделей (УСЭММ), предназначенной для оптимизации формирования отраслевой структуры

сельскохозяйственных предприятий Орловской области. Предлагаемая нами модель основана на методах линейного программирования и направлена на решение системы линейных уравнений и неравенств с целью максимизации определенной линейной функции. Модель позволяет решить следующие задачи:

- Прогнозирование оптимальных параметров структуры посевных площадей.
- Определение отраслевых направлений производства продукции растениеводства и животноводства.
- Формулирование баланса кормовых рационов.
- Оценка возможностей реализации произведенной продукции [11].

Применение унифицированной экономико-математической модели способствует повышению эффективности управления агро-промышленными предприятиями и улучшению их конкурентоспособности на рынке. [9].

На заключительном этапе эмпирических изысканий тщательная систематизация по выделенным критериям позволила сформировать группу модельных хозяйств, на основе которой мы спроектировали унифицированную систему экономико-математических моделей (УСЭММ). Данная система ЭММ - эффективный инструмент для формирования сбалансированных прогностических сценариев управленческих решений в области планирования структуры посевных площадей, объемов выпуска сельскохозяйственной продукции, а также механизмов её межотраслевого перераспределения между производством продукции растениеводства и животноводства. Помимо прочего, УСЭММ позволит обеспечивать поддержание устойчивого равновесия в процессе производства кормов и откроет возможности для эффективного выявления и последующего освоения новых рыночных сегментов сбыта готовой продукции [4, 5, 8].

Постановка задачи заключается в проектировании оптимальной структуры производственных процессов сельскохозяйственного предприятия, максимизируя прибыль (Z) путем оптимизации

распределения ресурсов и управления производством. Таким образом, все переменные $x_j, \bar{x}_j, \bar{\bar{x}}_j, \tilde{x}_j, \tilde{\tilde{x}}_j, \bar{\tilde{x}}_j, \bar{\tilde{\tilde{x}}}_j, > 0, \in J$, — положительные значения, определяющие объемы производства и потребления различных продуктов сельского хозяйства, при которых целевая функция Z , определяет объем прибыли от осуществляемой производственно-хозяйственной деятельности. Поставленная задача определяет целевую функцию как $Z \rightarrow \max$, т.е. стремящуюся к максимальному значению, что означает увеличение разницы между объемами произведенной продукции и объемами промежуточного потребления, выраженного в виде математической записи:

$$Z = \bar{\bar{x}}_j - \bar{x}_j \rightarrow \max, j \in J$$

Соблюдение этих требований реализуется при соблюдении таких условий, как: 1) все показатели выражены в виде формул теоретико-множественной записи ЭММ; 2) используются ограничения по ряду экономических показателей, которые мы перечислили в таблице 4.

Таблица 4

**Ограничения унифицированной экономико-математической модели
оптимальных параметров отраслевой структуры производства**

N п/ п	Наименование ограничения	Математическая запись ограничения	Пояснения
1.	Баланс сельскохозяйс- твенных угодий (га):	$\sum_{j \in J_1} (\alpha_{ij} + 1)x_j \leq \bar{S}_i, \quad i \in I_1$	Здесь S_i — общая площадь земли, выделенная для конкретных культур или целей, а α_{ij} отражает коэффициенты влияния разных

Продолжение таблицы 4

			типов земельных участков на урожайность.
2.	Производство и распределение продукции растениеводства (ц):	$\sum_{\substack{j \in J_{1k} \\ k \in K}} v_{ij} x_j - \sum_{j \in J_2} \beta_{ij} x_j = 0, \quad i \in I_2$	Это уравнение связывает производство сельскохозяйственной продукции с потребностью в сырье для переработки или продажи.
3.	Объем излишков продукции растениеводства на начало года (ц):	$x_{(i)j} \begin{matrix} \leq \\ = \end{matrix} G_i, \quad i \in I_3$	Ограничивает начальные запасы продукции предыдущими остатками.
4.	Производство кормов по зоотехническим группам (ц):	$\sum_{\substack{j \in J_{2r} \\ r \in R}} x_{(i)j} - x_{(i)j} = 0, \quad i \in I_5$	беспечивает баланс производства кормов между разными группами скота.
5.	Структура зоотехнических групп кормов (ц):	$\sum_{\substack{j \in J_{2r} \\ r \in R}} \pm \gamma_{ij} x_j \begin{matrix} \geq \\ = \\ \leq \end{matrix} 0, \quad i \in I_5$	Определяет допустимые соотношения между различными видами кормов внутри каждой группы.

Продолжение таблицы 4

6.	Баланс продукции растениеводства (ц):	$x_{(i)j} + \sum_{j \in J_3} x_{(i)j} - \sum_{j \in J_2 \cup J_4} x_{(i)j} - \sum_{j \in J_5} x_{(i)j} - \sum_{j \in J_6} x_{(i)j} - \sum_{j \in J_7} x_{(i)j} = 0, \quad i \in I_6$	Уравнение описывает общий баланс между продукцией растениеводства и её использованием в течение производственного цикла.
7.	Баланс кормов для выращивания отдельных групп животных (ц):	$x_{(i)j} - \sum_{\substack{j \in J_{6l} \\ l \in L}} x_{(i)j} - x_{(i)j} = 0, \quad i \in I_7$	Связывает потребление кормов животными с доступными запасами кормов.
8.	Страховой кормовой запас (ц):	$e_{ij} x_j - x_j = 0, \quad j \in J_{6f} \quad i \in I_8$	Отражает необходимость иметь резерв кормов на случай непредвиденных обстоятельств.
9.	Годовые кормовые рационы (ц.к.ед.):	$\left \begin{array}{l} \sum_{\substack{j \in J_{6l} \\ l \in L}} q_{ij} x_j - x_j \geq 0 \\ q_{ij} x_j - \left\{ \begin{array}{l} \bar{p}_{ij} x_j \leq \\ p_{ij} x_j \geq \end{array} \right\} 0 \end{array} \right , i \in I_9$	Регулирует сбалансированность рациона питания животных.
10.	Гарантированное производство товарной продукции растениеводства (ц):	$x_{(i)j} \leq Q_i, \quad j \in J_5 \quad i \in I_{10}$	Устанавливает верхний предел объема производства продукции для удовлетворения спроса рынка.

*СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ*

Продолжение таблицы 4

11.	Закрепление объемов производства и пропорциональности (ц):	$\left. \begin{array}{l} x_{(i)j} \leq P_i \\ \sum_{j \in J_8} \pm u_{ij} x_j = 0 \end{array} \right , i \in I_{11}$	Фиксирует планируемые объемы производства отдельных видов продукции животноводства.
12.	Возможные объемы реализации продукции животноводства (ц):	$x_{(i)j} - t_{ij} x_j = 0, \quad i \in I_{12}$	Определяет доступные объемы продаж животноводческой продукции исходя из фактического производства.
13.	Баланс излишков кормовой базы на начало и конец года, (ц)	$x_{(i)j} - x_{(i)j} x_j \leq 0, \quad i \in I_{13}$	Ограничения регулируют расход кормов
14.	Подсчет количества излишков кормов по видам на конец года, (ц)	$x_{(i)j} - w_{ij} x_{(i)j} \leq 0, \quad i \in I_{14}$	Ограничения регулируют расход кормов
15.	Планирование расхода кормовых запасов на производство отдельных видов продукции животноводства, (ц к. ед.)	$x_{(i)j} - p_{ij} x_{ij} = 0, \quad i \in I_{15}$	Ограничения регулируют расход кормов

Продолжение таблицы 4

16.	Планирование условных материально-денежных затрат, тыс. руб.	$\sum_{j \in J_3 \cup J_2 \cup J_8} c_{ij} x_j - \bar{x}_{ij} x_j = 0, i \in I_{16}$	Ограничения регулируют материальные затраты на производство и реализацию продукции.
17.	Прогнозирование условной денежной выручки, тыс. руб.	$\sum_{j \in J_5 \cup J_8} d_{ij} x_j - \bar{x}_j x_j = 0, i \in I_{17}$	Ограничения регулируют материальные затраты на производство и реализацию продукции.
18.	Прогнозирование экономических результатов от реализации продукции растениеводства, тыс. руб.	Расчет общей суммы расходов и прибыли от реализованной продукции позволяет оценить финансовые результаты производственной деятельности.	
18.1	Общая сумма материально-денежных затраты на производство товарной продукции растениеводства, тыс. руб.	$\sum_{j \in J_5} c_{ij} x_j - \tilde{x}_j = 0, \quad i \in I_{18}$	

Продолжение таблицы 4

18. 2	Общая сумма прибыли от реализации продукции растениеводст ва, тыс. руб.	$\sum_{j \in J_5} d_{ij} x_j - \tilde{x}_j = 0, \quad i \in I_{18}$
19	Материально- денежные затраты и прибыль:	Расчет общей суммы затрат позволяет оценить полученную прибыль животноводческой отрасли
19. 1	Общая сумма материально- денежных затрат на производство отдельных видов продукции животноводст ва, тыс. руб.	$\sum_{\substack{j \in J_5 \cup J_8 \\ l \in L}} c_{ij} x_j - x_j = 0, \quad i \in I_{19}$
19. 2	Общая сумма материально- денежных затрат на производство товарной продукции животноводст ва по видам, тыс. руб.	$t_{ij} x_j - x_j = 0, \quad i \in I_{19}$

Продолжение таблицы 4

19. 3	Общая сумма материально-денежных затрат на товарную продукцию животноводства, тыс. руб.	$\sum_{j \in J_{11}} x_{ij} - \bar{\bar{x}}_j = 0, \quad i \in I_{19}$
19. 4	Общая сумма прибыли от реализации продукции животноводства	$\sum_{j \in J_9} d_{ij} x_j - \bar{\bar{x}}_j = 0, \quad i \in J_{19}$

Для решения поставленной в исследовании задачи используется **симплекс-метод**, который относится к классическим методам **линейного программирования**. Цель метода заключается в нахождении оптимальных значений переменных x_j , позволяющих достичь максимального значения **целевой функции Z**.

Результаты. Определение наиболее целесообразных оптимальных параметров отраслевой структуры производственной деятельности и финансовых результатов функционирования многоотраслевых предприятий АПК Ливенского района Орловской области осуществлялось посредством реализации алгоритмов оптимизации с помощью методов экономико-математического моделирования. Основой проведенных расчетов послужила аналитическая база, собранная в рамках изучения двух групп предприятий АПК, отличающихся

разнообразием стратегий финансового управления и степенью рентабельности хозяйственной деятельности [7].

Проектирование оптимальной системы распределения сельскохозяйственных угодий основывается исключительно на проверенных наукой методиках и рекомендациях. В процессе проведенного аналитического исследования осуществлена всесторонняя экспертиза экономических показателей функционирования предприятий агропромышленного комплекса Ливенского муниципального образования Орловского региона, что позволило выявить наиболее эффективные подходы к организации сельскохозяйственного производства.

На этапе определения оптимальных пропорций в структуре размещения сельскохозяйственных культур и расчета ключевых экономических индикаторов применялись специализированные относительные величины. Такой подход обеспечил унификацию полученных результатов, устранив влияние таких факторов как: различия в размерах земельного фонда предприятия, в уровне материально-технического оснащения и в объемах задействованных производственных ресурсов. Благодаря использованию нормализующих коэффициентов стало возможным получение достоверной картины текущего положения дел в сельском хозяйстве исследуемого региона, абстрагируясь от уникальных условий отдельно взятых сельхозпредприятий.

Разработанная концепция в проектном варианте решения предполагает стратегическое перераспределение долей посевных площадей и предусматривает сбалансированное расширение возделывания высокопродуктивных культур, влияющих на интенсификацию производства.

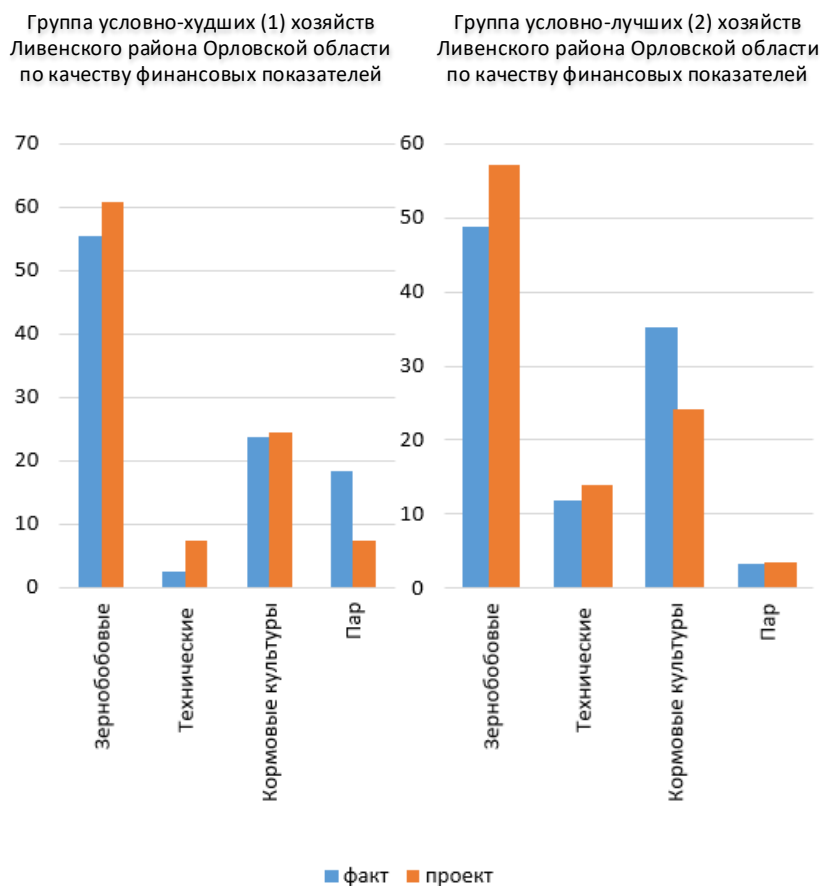


Рис. 2. Фактическая и оптимальная структура товарной продукции в репрезентативных группах сельскохозяйственных предприятий Ливенского района Орловской области

Вариант структуры товарной продукции предполагает следующее соотношение (рисунок 2): зернобобовых культур в 1-ой группе предприятий от 26,2% по плану предприятия до 32,6% по проекту; во 2-ой группе предприятий от 28,03% до 36,1%; доля технических культур в 1-ой группе предприятий от 23,1% до 25,4% и во 2-ой группе - от 18,7% до 25,3%.

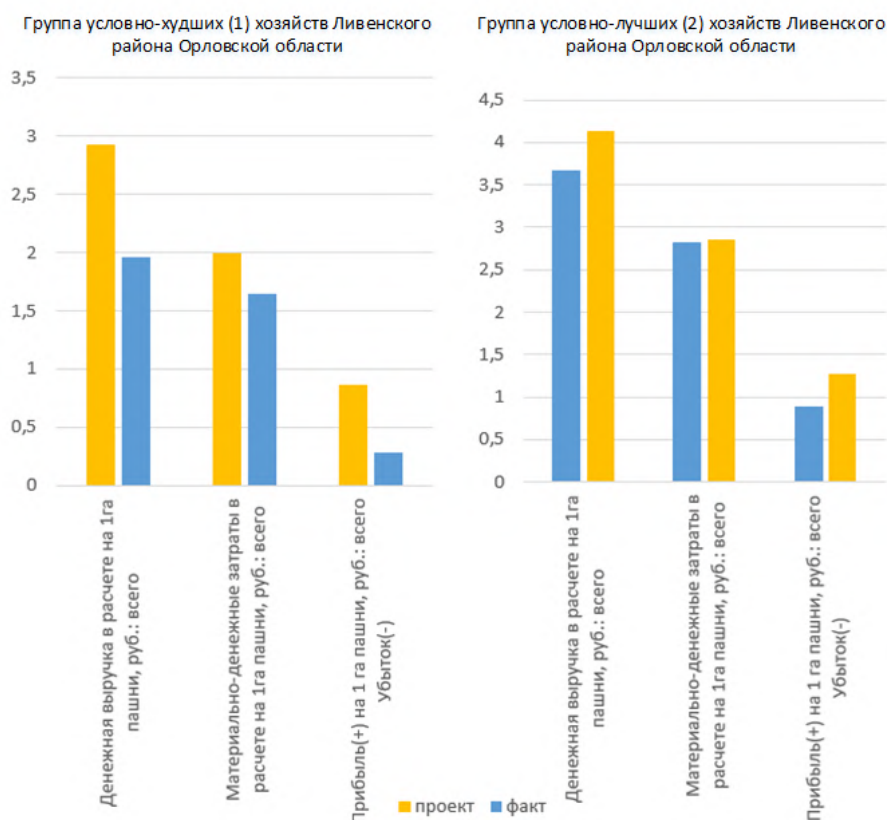
Следует подчеркнуть, что углубленный подход к проектированию структуры товарной продукции в перспективном прогнозируемом варианте предполагает расширение культивирования высоко-рентабельных масличных и технических агрокультур предприятиями первой группы. Так, целесообразно предусмотреть увеличение доли подсолнечника до 1,3%, а сои — до 2,8% от общей площади посевов. Что

касается предприятий второй группы, то при сложившейся структуре посевных площадей показатель удельного веса посевов сахарной свёклы близок к оптимальным значениям. Однако в проектном решении, рекомендуется дальнейшее незначительное увеличение указанного показателя с текущего уровня 8,3% до целевого показателя 9,9%.

Разработанная нами структура посевных площадей под сельскохозяйственными культурами органично интегрируется в территориально обусловленную нормативно-правовую базу регионального землепользования Орловской области, соответствует нормативам системы зонального земледелия и находится в полном соответствии с действующими регламентирующими положениями местной агропромышленной политики. Проведённые расчёты свидетельствуют о рациональности выделения около 60–65% совокупной площади земельных угодий под возделывание зерновых и бобовых культур. Важнейшим технологическим требованием остаётся неукоснительное следование принципам ротационного цикла севооборотов возделываемых культур, предусматривающим обязательное предшествующее культивирование трав на зеленый корм и бобовых использование сидеральных удобрений, а также сохранение достаточного количества паров в полях.

Проведенный сравнительный анализ экономической эффективности производства в сельскохозяйственных предприятиях Ливенского района Орловской области (рисунок 3), выявил значительные различия в динамике финансовых показателей между предприятиями с различным уровнем эффективности управления производственными процессами. Из этого следует, что целесообразным было бы провести оптимизацию производственной структуры, которая в значительной степени позволит увеличить объем денежной выручки в расчете на 1 га пашни, как в первой группе, так и во второй группе сельскохозяйственных предприятий по качеству финансовых показателей предприятий. Так, например, в отрасли растениеводства предполагается двукратное увеличение дохода с 1 гектара пашни, и напротив, вторая группа предприятий, имевшая лучшие стартовые позиции, показала умеренное повышение доходов всего лишь на треть.

Одновременно в ходе проведения исследований было установлено, что искусственное стимулирование объема реализованной продукции животноводческих направлений нецелесообразно ни для одной из рассматриваемых групп предприятий ввиду низкой окупаемости вложений и недостаточной рыночной привлекательности продуктов данной категории.



Так, например, сокращение материально-денежных затрат на формирование кормовой базы, позволит достаточно существенно сократить убыточность животноводства. В 1-ой группе хозяйств убыток по животноводству уменьшится 12% в расчете на 1 га пашни, тогда как во 2-ой группе хозяйств этот же показатель сократится на 26%.

Комплексный подход к формированию эффективной отраслевой структуры производства, основанный на применении УСЭММ, позволит стабилизировать и заметно улучшить финансовый климат обоих типов предприятий. Так прогнозное значение уровня рентабельности первой

группы может возрасти почти втрое — с 14,48% до 42,28%, а во второй группе прогнозируется не значительное увеличение

Таким образом, проведённые исследования наглядно демонстрируют эффективность целенаправленных управленческих решений и важность индивидуального подхода к каждой конкретной ситуации в сельском хозяйстве.

Заключение. Проведённые авторским коллективом исследования показывают высокую значимость экономико-математического моделирования для повышения точности составляемых прогнозных сценариев и оптимизации различных производственно-технологических процессов в агропромышленном секторе, позволяя достичь существенного роста экономического эффекта до 20-30%. Применение адаптивных математических моделей, как показывает опыт прошлых лет, позволит обеспечить существенное увеличение результатов производственно-финансовой деятельности, предоставляя объективные и научно обоснованные рекомендации для стратегического планирования и разработки эффективных бизнес-моделей.

Создание научных основ и унифицированных экономико-математических моделей играет ключевую роль в обеспечении устойчивости агропромышленных предприятий перед лицом неблагоприятных природных явлений и нестабильной рыночной ситуации. Важнейшей задачей становится восстановление плодородия почвы путём её рационального использования и учета агроэкологических особенностей регионов.

Применение специализированных математических моделей позволяет рассчитать оптимальное распределение посевных площадей и разработать бездефицитный баланс гумусового слоя, обеспечивая долгосрочную устойчивость аграрного производства. Таким образом, экономика предприятий становится менее зависимой от негативных внешних воздействий, создавая надёжную базу для успешного ведения бизнеса.

Система экономико-математических моделей служит основой для выработки оптимальной пространственной и продуктовой структуры аграрных комплексов. Это особенно важно для межрегиональных

подкомплексов, таких как молочный, мясной, сахароносный и зерновой секторы. Научно обоснованное проектирование способствует объединению экономических интересов производителей и переработчиков, содействуя росту общего благосостояния и конкурентоспособности продукции.

Подобная интеграция способна повысить прибыльность предприятий благодаря использованию преимуществ специализированного земледелия и созданию стабильно развивающихся рынков сбыта. Примером успеха может служить успешная реализация проектов на региональном уровне, демонстрирующих значительный прирост объемов выпуска качественной сельхозпродукции.

Дальнейшее распространение экономико-математических технологий обещает качественно новый этап в развитии агропромышленности России. Предложенный подход даёт реальную возможность возрождения сельских территорий и укрепления позиций отечественных производителей на внутреннем рынке. Использование инновационных разработок позволит устранить многие традиционные недостатки традиционных способов планирования и управления, повышая общую эффективность агропромышленного комплекса.

На сегодняшний день опыт показывает важность интеграции науки и практики, позволяющей реализовать научный потенциал в реальные проекты и технологии. Интеграция научного знания и инноваций создаёт уникальные возможности для выхода российских предприятий на новые уровни технологического развития и рентабельности.

Список литературы

1. Барбашова Е.В., Гайдамакина И.В., Польшакова Н.В. Прогнозирование в коротких временных рядах: методологические и методические аспекты. // Вестник аграрной науки. 2020. № 2 (83). С. 84-98.
2. Калиничева Е.Ю., Уварова М.Н., Польшакова Н.В., Александрова Е.В., Жилина Л.Н. Устойчивое развитие свеклосахарного производства в контексте инновационного подхода. // Вестник аграрной науки, № 2(95), апрель 2022, стр. 134-146.

3. Мандель И.Д. / И.Д. Мандель // Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 176 с.

4. Петренко Н.Н. Проектирование оптимальной отраслевой структуры производства в сельскохозяйственных предприятиях / Н.Н. Петренко, Т.Н. Соловьева, А.П. Волобуев, Л.Ф. Масловская: Под ред. Н.Н. Петренко. – Курск: Изд-во КГСХА, 2003 – 110 с.

5. Петренко Н.Н. Многоцелевая оптимизация отраслевой структуры производства в сельскохозяйственных предприятиях // Сб.: Оптимизация размещения, специализации и концентрации сельскохозяйственного производства. – Воронеж: ВСХИ, 1984. – 174 с.

6. Петренко Н.Н., Польшакова Н.В., Колотов А.В., Гречишников А.Ю. Формирование оптимальной отраслевой структуры и финансовых результатов в сельскохозяйственных предприятиях областных регионов // В сборнике: Инновационное развитие и повышение эффективности агропромышленного комплекса региона. материалы всероссийской научно-практической конференции – Курск: Изд-во КГСХА, 2005. С. 99-102.

7. Польшакова Н.В., Коломейченко А.С. Влияние энергоресурсосберегающих технологий на эффективность использования земельных ресурсов Орловской области. // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (61). С. 53-64.

8. Польшакова Н.В., Повышение экономической эффективности использования земельных ресурсов (на материалах сельскохозяйственных предприятий Курской области) диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Курск, 2004

9. Проняева, Марина Евгеньевна. Имитационное моделирование поведения фирм на конкурентных рынках [Текст]: (курс лекций) / М. Е. Проняева. - Курск : Изд-во Курской гос. с.-х. акад., 2012. - 122 с. : ил., табл.; 20 см.

10. Жариков Александр Владимирович Исследование скорости сходимости некоторых алгоритмов блочного линейного программирования // Известия АлтГУ. 2013. №1-1 (77).

11. Польшакова Н.В., Александрова Е.В. Унифицированная система экономико-математических моделей по оптимизации отраслевой структуры сельскохозяйственных организаций // Экономика российского села: вчера, сегодня, завтра – (Труды Международной научнопрактической конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ). – М.:ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ, 2021. – 409 с., Стр. 261-271.

© Польшакова Н.В., Уварова М.Н.,
Гришина С.Ю.

Глава 4.
**АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛУГАХ
ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ
ГОСТИНИЦ КАТЕГОРИИ 3-5 ЗВЕЗД**

Топольник Вера Григорьевна
д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики
и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

Аннотация: В работе изучена информация 19-ти веб-сайтов гостиниц (7 категории 3*, 6 категории 4*, 6 категории 5*) о предоставляемых услугах потенциальным гостям в сравнении с нормативными требованиями к соответствующей категории. Установлено, что на сайте указывается информация об услугах в меньшем объеме, чем это предусмотрено нормативом: от 15 до 60% - категории 3*, от 11 до 48% - 4*, от 20 до 40% - 5*. Анализ проведен по отдельным группам и видам услуг. Информация по услугам, оказываемым в конференц-зале, бизнес-центре, спортивно-оздоровительном центре, как правило, не отражает категорию гостиницы.

Информация на сайтах гостиниц о предоставляемых услугах требует совершенствования в направлении систематизации и повышения уровня профессионализма в описании, понятном для потенциальных потребителей.

Ключевые слова: гостиница, категория, веб-сайт, услуга, нормативный перечень, фактическая информация, группа, вид услуги, потенциальный потребитель.

**ANALYSIS OF INFORMATION ABOUT SERVICES
FOR POTENTIAL CONSUMERS USING THE EXAMPLE
OF 3-5 STAR HOTELS**

Topolnik Vera Grigorievna

Abstract: The paper examines information from 19 hotel websites (7 of category 3*, 6 of category 4*, 6 of category 5*) on the services provided to potential guests in comparison with the regulatory requirements for the corresponding category. It has been established that the website contains information about services in a smaller volume than is provided for by the standard: from 15 to 60% - category 3*, from 11 to 48% - 4*, from 20 to 40% - 5*. The analysis was carried out by individual groups and types of services. Information on services provided in the conference hall, business center, sports and recreation center, as a rule, does not reflect the category of the hotel.

The information on the websites of hotels about the services provided requires improvement in the direction of systematization and increasing the level of professionalism in the description, understandable to potential consumers.

Key words: hotel, category, website, service, regulatory list, factual information, group, type of service, potential consumer.

Введение

В современной экономике особая роль отводится информационным ресурсам. С использованием информации создаются новые продукты, предоставляются услуги. Потребности участников рынка также сдвигаются в пользу IT-технологий

В последнее время в гостиничном хозяйстве, как основы туристической отрасли страны, произошли существенные изменения. Это связано с распространением коронавируса, когда резко сократился туристический поток, с уходом с российского туристического рынка зарубежных компаний после начала СВО в 2022 г. В таких условиях главной задачей индустрии гостеприимства остается дальнейшее развитие внутреннего туризма, что позволит не только повысить ВВП страны за счет увеличения туристического потока, но и привлечь в страну больше иностранных инвестиций.

Успешно выполняется национальный проект «Туризм и гостеприимство», принятый Минэкономразвития России в 2021 г., целью которого является повышение роли туристической отрасли в экономике страны и увеличение к 2030 году числа туристических поездок до 140 млн [1].

Вице-премьер Дмитрий Чернышенко и Министр экономического развития Максим Решетников рассказали о ключевых показателях внутреннего туризма. Благодаря Правительству, уже пятый год после снижения, которое было вызвано пандемией коронавируса, сохраняется положительная динамика: 2021 год – 66,5 млн., 2022 год – 73,1 млн., 2023 год – 83,6 млн., 2024 год – 90 млн., за первые шесть месяцев 2025 года туристы совершили 41,4 млн. поездок по России [2].

По данным Росаккредитации, в 2024 году общее количество коллективных средств размещения (КСР) составляло 46,2 тыс. единиц; из них классифицированных КСР 32,3 тыс., неклассифицированных КСР – 13,9 тыс. [3]. На конец 2024 года общее число размещенных в КСР России составило 92,8 млн. человек; практически все – россияне, доля иностранных граждан составляет 5,6%.

По данным аналитической компании BUTLER Hospitality, на начало 2024 года распределение классифицированных отелей в России было следующим (рис. 1).

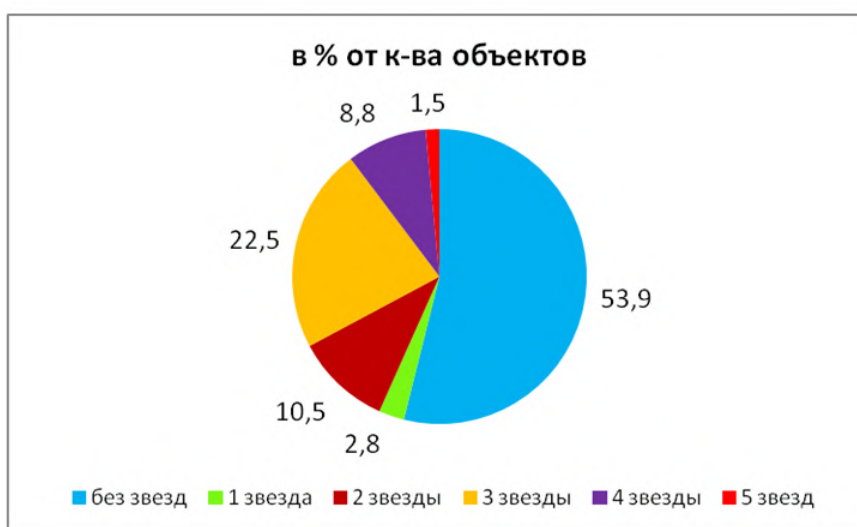


Рис. 1. Структура классифицированных гостиниц в России
Составлено автором по данным [3]

Вопросы продвижения гостиничных услуг остаются актуальными, особенно в условиях развития цифровизации экономики. Цифровизация является основой туристической индустрии, а внедрение современной IT-технологии в средствах размещения туристов может улучшить эффективность их работы. Пандемия COVID-19 способствовала массовому переходу компаний туристической индустрии к функционированию в новых условиях цифровизации экономики.

Интернет, являясь важнейшим каналом коммуникации между гостиницей и потенциальным потребителем ее услуг, способствует успешному функционированию гостиничного бизнес-сообщества. Сеть Интернета повсеместно используется потенциальным путешественником для выбора гостиницы и бронирования в ней номеров в соответствии со своими желаниями и потребностями. Гостиничные предприятия, принимая решение о продвижении своих услуг в Интернете, организуют свою деятельность с помощью различных каналов продаж, в первую очередь разрабатывают и используют собственные веб-сайты, или предоставляют соответствующую рекламную информацию о гостинице на специализированные площадки по бронированию. В связи с прекращением работы известной площадки Booking.com в 2022 году, российским отельерам пришлось быстро перестраивать продажи, а потенциальным туристам искать гостиницу на новых площадках бронирования. Сайт гостиничного предприятия является источником информации, как для гостей, так и для самой гостиницы [4, 5].

Особенности веб-сайта гостиницы

В современном мире, где большинство путешественников используют интернет для поиска и бронирования гостиниц, любая гостиница должна иметь собственный веб-сайт, как визитная карточка и официальный источник информации. Здесь посетители могут узнать о различных номерах, предоставляемых услугах, мероприятиях и прочих возможностях, которые предоставляет отель, а также произвести бронирование. Веб-сайт помогает улучшить взаимодействие с гостями и во многих случаях повысить качество обслуживания.

В условиях отсутствия международных сервисов бронирования, таких как Booking и Airbnb, в России появилось много достойных отечественных платформ (Островок, Отелло, Яндекс. Путешествия, Библио-Глобус, 101Hotels и др.). Однако, по мнению Екатерины Сундаревой, главного редактора TravelLine, следует искать официальный сайт отеля. Это удобнее, потому что на сайте всегда актуальная информация, и это экономит время для принятия решения.

Преимущества собственного сайта в туристической сфере, в сравнении с сайтами-агрегаторами для бронирования отелей, заключаются в следующем:

1. Увеличение доходов. При бронировании через посредников отель теряет до 30% своей выручки в виде комиссий.
2. Экономия времени. Работа с посредниками-агрегаторами занимает много времени на обмен документами, контроль платежей и проверку наличия свободных номеров.
3. Без собственного веб-сайта компания лишается шанса рассказать о своей истории, преимуществах и завоевать лояльность клиентов, которые могут стать постоянными гостями.
4. Без собственного веб-сайта невозможно создать сильный бренд.
5. Конкуренентоспособность. Если рекламировать свой бренд на агрегаторах, неизбежно усиливаются позиции конкурентов.
6. Анализ потребностей. Можно анализировать поведение посетителей сайта и изучать статистику посещений страниц. Эти данные помогут улучшить бренд и сделать его более привлекательным для потенциальных гостей.
7. Дополнительные услуги – возможность проведения свадеб и банкетов, как правило, не указывается на агрегаторах, хотя для многих отелей они составляют значительную часть прибыли.
8. Дополнительная информация – после бронирования клиент часто хочет подробнее узнать схему проезда, меню, увидеть больше фотографий территории. Всё это он может найти только на сайте отеля [6, 7].

Существует много различных рекомендаций по созданию сайта гостиницы, однако нет окончательного набора правил для обеспечения хороших результатов. Главное, из чего необходимо исходить при создании сайта, нужно взглянуть на него глазами потенциального потребителя предоставляемых услуг, сделать его доступным, удобным, понятным для него.

Основные разделы сайта:

Заголовок с указанием телефона, электронного адреса; рабочего времени, города и точного адреса расположения.

Информация для посетителей - время заселения и выезда; наличие парковки; расписание и тип питания; номера и что есть в них (интернет, мебель, бар и т.д.). Подробное описание номеров сопровождать фотографиями; Все фотографии следует подписывать максимально подробно. Гость должен понимать, что он видит на фото, где это располагается, кому это может быть доступно. На видном месте указывается цена и ссылка на бронирование.

Дополнительные услуги (конференц-зал, бассейн, сауна и др.); график работы бассейна и других мест на территории; схема проезда; ближайшие остановки общественного транспорта.

Акции, скидки и спецпредложения являются важным инструментом привлечения. Однако не стоит ограничиваться только их упоминанием

Оценки и отзывы. Людям больше нравится выбирать места, которые рекомендуют другие. По данным исследования Tisch и TrustYou, 95% путешественников бронирует номер только после прочтения отзывов

Услуги для проживающих. Выбирая отель, люди смотрят не только на условия проживания. Важно грамотно преподнести услуги, которыми могут воспользоваться не только гости, но и жители города. К таким услугам относится бассейн, SPA-центр, конференц-зал, ресторан, сауна, пункт обмена валют и др. Они должны быть не просто перечислены, но подробно описаны: что входит, кто предоставляет, на каких условиях, график работы. Каждой услуге стоит посвятить отдельную страницу [6-8].

Отели в Российской Федерации предоставляют широкий спектр услуг, которые делают пребывание гостей комфортным и приятным. Основные из них: проживание в номерах, питание, уборка номеров, доступ к интернету (бесплатный Wi-Fi становится стандартом в большинстве современных отелей, особенно в крупных городах и туристических центрах), услуги ресепшн (можно круглосуточно заказать такси, получить необходимую информацию), прачечная и химчистка, парковка, бизнес-услуги, услуги за дополнительную плату (СПА и фитнес услуги, трансфер, аренда автомобиля, организация экскурсий, покупка билетов на культурные мероприятия, персональные услуги для VIP-гостей) [9].

Просмотр сайтов в Интернете некоторых гостиниц показал, что чаще всего они представлены агрегаторами. Наиболее высокий рейтинг сайтов по поиску и бронированию отелей в России на 2025 год имеют Яндекс. Путешествия, Суточно.ру, ОСТРОВОК! [9].

На наш взгляд, информация о предоставляемых услугах для различных гостиниц на этих площадках однотипна, трудно увидеть их специфичность для конкретной гостиницы. Это касается и гостиниц различной категории. При этом существуют требования по перечню оказываемых услуг для гостиниц разной категории [10].

С учетом вышеизложенного, **цель** данной работы – проанализировать информацию на сайте о предоставляемых услугах проживающим в гостиницах категории 3*–5* в сравнении с нормативными требованиями.

Методика, результаты исследования и их обсуждение

Для анализа выбраны сайты гостиниц соответствующих категорий:

Категория 3* - «Космос», г. Москва [11], «Централь», г. Донецк [12], «Измайлово Бета», г. Москва [13], «Птица-Синица», г. Москва [14], «Измайлово Гамма», г. Москва [15], «Ярославская», г. Москва [16], «Империя», г. Москва [17].

Категория 4* - «Alean Family Riviera», г. Анапа [18], «Дон Плаза», г. Ростов-на-Дону [19], «Холидей Инн Москва Сокольники», г. Москва [20], «Мандарин», г. Москва [21], «Пальмира Арт», г. Москва [22], «Москва Красносельская», г. Москва [23].

Категория 5* - «"Грейс Империял" Красная Поляна», г. Сочи [24], «Донбасс Палас», г. Донецк [25], «Plaza Garden Moscow WTC», г. Москва [26], «The Rooms», г. Москва [27], «Монарх», г. Москва [28], «Сафмар Грандъ Москва», г. Москва [29].

Изучена информация об услугах, предлагаемых гостиницей для проживающих. Информацию сравнивали с требованиями, учитываемыми при квалификации гостиниц [10, прил. 4].

Установлено, что на сайтах не указывается информация о некоторых услугах, важных для удовлетворения потребности потенциальных потребителей гостиничных услуг, предусмотренных классификационными требованиями. Одновременно следует отметить, что на сайтах указываются услуги, которые в нормативных требованиях даны в обобщенном виде как услуги общественных помещений (конференц-зал, бизнес-центр, спортивно-оздоровительный центр), они в разных гостиницах имеют различный состав. Сведения о присутствии или отсутствии соответствующих услуг в таблицах обозначены знаком «+» или «-» для гостиниц соответствующих категорий. Определены промежуточные и общие итоговые результаты для изученных сайтов гостиниц одинаковой категории. Полученные результаты представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1

**Информация об оказываемых услугах на сайтах
гостиниц категории 3***

Наименование услуг	Нор-матив	Гостиницы						
		Кос-мос	Цен-траль	Измай-лово Бета	Отель Птица-Синица	Измай-лово Гамма	Гостини-ца Ярос-лавская	Отель Импе-рия
I. Здание и прилегающая территория								
Парковка у (или вблизи) центрального входа для остановки автотранспорта	-		+	+	+	+	+	+
Итого	0	0	1	1	1	1	1	1

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Продолжение таблицы 1

II. Техническое оборудование и оснащение								
Кондиционирование воздуха во всех помещениях при среднесуточной температуре (за последние 5 дней) наружного воздуха не ниже 8 градусов по Цельсию	-			+		+		
телефонная внутренняя связь (без выхода за пределы средства размещения) (100 процентов номеров)	+							
телефоны коллективного пользования в общественных помещениях (вестибюле), телефонная связь внутренняя и городская	-							
Информационно-телекоммуникационная сеть "Интернет" (Wi-Fi) во всех помещениях гостиницы	+	+	+	+	+	+	+	+
Итого	2	1	1	1,5	1	2	1	1
III. Номерной фонд								
Возможность индивидуальной регулировки температуры (зимой для системы отопления, летом для системы охлаждения (кондиционирования))	-			+		+		
Итого	0			0,5		1		
V. Общие помещения								
Служба приема и размещения:	+					+		
с зоной для отдыха и ожидания с соответствующей мебелью (кресла, диваны, стулья, журнальные столики), с газетами, журналами	+					+		
с подачей напитков и музыкальным вещанием	-							
Сейфовые ячейки для хранения ценностей гостей в службе приема и размещения	+							
Конференц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отображения информации и управления, звуковая аппаратура)	-	+	+	+		+		+

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Продолжение таблицы 1

Бизнес-центр (электронные средства связи, копировальная техника, помещения для переговоров, компьютеры)	-		+	+			+	+
Спортивно-оздоровительный центр (тренажерный зал или зал для фитнеса)	-	+	+	+		+		+
Итого	3	2	3	3	0	4	2	3
VI. Помещения для предоставления услуг питания								
Предприятия питания: ресторан	-							
бар (лобби-бар)	-							
предприятия питания любого типа	+	+	+	+	+	+	+	+
банкетный зал (залы), возможен трансформируемый в конференц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отображения информации и управления, звуковая аппаратура)	-							
Итого	1	1	1	1	1	1	1	1
VII. Услуги								
Служба приема - круглосуточный прием	+			+	+	+	+	+
Вручение корреспонденции поступившей гостям	+							
Поднос багажа (по просьбе)	+	+						
Утренняя побудка (по просьбе)	+							
Ежедневная уборка горничной номера	+				+	+		+
Ежедневная заправка постелей	+							
Смена постельного белья 1 раз в 3 дня	+							
Ежедневная смена использованных полотенец	+							
Стирка в течение суток	+	+	+	+				Стирал. машина
предоставление утюга, гладильной доски, гладильная комната	+		+	+	+	+		+
Химчистка: исполнение в течение суток	+		+			+		

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Продолжение таблицы 1

Иные услуги								
Мелкий ремонт одежды	+		+					
Автомат для чистки обуви	+					+		+
Хранение багажа	+	+	+	+	+	+	+	+
Обмен валюты, оплата услуг банковской картой	-		+	+		+		
Организация встреч и проводов, включая транспортную доставку гостей и багажа	-		+		+			
Вызов такси	+							
Туристские услуги:								
Туристская информация в СПмР (в холле)	+							
Экскурсии, гиды и гиды-переводчики	-					+		
Медицинские услуги:								
Вызов скорой помощи, пользование аптечкой	+	+				+		
Услуги питания								
Возможность выбора любого из вариантов: 2-разовое, 3-разовое питание	+		+			+		
завтрак "шведский стол" (7.00 - 10.00)	-		+	+		+		+
						(рест.)		(рест.)
расширенный завтрак (7.00 - 10.00)	+			+	+	+	+	+
Обслуживание в номере								
в часы завтрака и в период с 12.00 до 23.00	+	+						
Итого	20	5	9	6,5	6	12	3	8
Всего	26	9	15	14,5	9	21	8	14

Приведенные в таблице данные представлены в виде диаграммы (рис. 2).

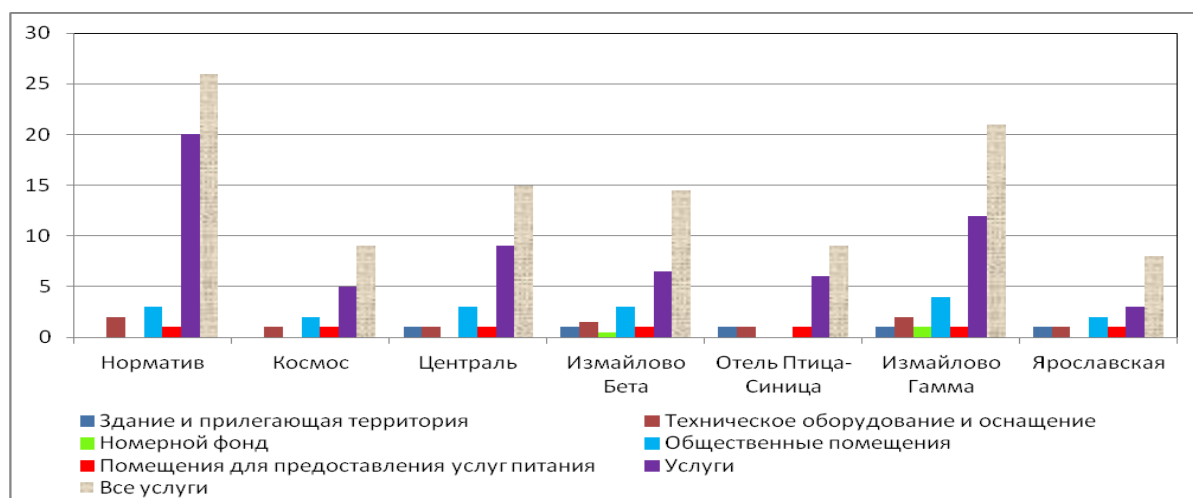


**Рис. 2. Количество услуг, указанных на сайтах гостиниц
Категории «три звезды» (по группам)**

Как видно, из 26-ти видов услуг, предусмотренных для гостиниц категории «3 звезды», в информации на сайтах указывается значительно меньше – от 8 (гостиница «Ярославская») до 21 (гостиница «Измайлово Гамма»). Особенно мало информации о группе «услуги» - от 15 до 60% от нормируемого перечня.

При этом оказываются некоторые услуги, которые не требуются для гостиниц данной категории (парковка, установка кондиционера в номере, наличие конференц-зала, бизнес-центра, спортивно-оздоровительного центра, обмен валюты, трансфер, проведение экскурсий, завтрак «шведский стол»). Возможно, в планах гостиницы в будущем квалифицироваться на более высокую категорию путем расширения перечня услуг и наработки опыта их оказания.

С одной стороны, возможность получить услуги, предусмотренные для гостиниц более высокой категории, будут привлекать потенциального потребителя. С другой стороны, отсутствие конкретной информации об обязательном предоставлении услуг, соответствующих данной категории, вызывает сомнения у потенциального потребителя при выборе данной гостиницы для временного проживания, и он может не принять решение забронировать номер. Следует заметить, что

в данном случае не выполнено требование, предъявляемое к информации на сайте – ее содержание должно быть понятно для пользователя и вызывать доверие к данному средству размещения.

На наш взгляд, такую важную для гостя информацию об услугах, как поднос багажа и утренняя побудка (по просьбе), ежедневная заправка постели, смена белья 1 раз в 3 дня, вызов такси оказываются без дополнительной оплаты, следует указывать на сайте, чтобы потенциальный потребитель знал об условиях проживания.

Таблица 2

**Информация об оказываемых услугах на сайтах
гостиниц категории 4***

Наименование услуг	Гостиницы						
	Норматив	Ривьера	Дон-Плаза	Холидей	Мандарин	Пальмира Арт	Москва Красносельская
I. Здание и прилегающая территория							
Парковка у (или вблизи) центрального входа для остановки автотранспорта	+	+	+	+	+	+	+
Итого	1	1	1	1	1	1	1
II. Техническое оборудование и оснащение							
Кондиционирование воздуха во всех помещениях при среднесуточной температуре (за последние 5 дней) наружного воздуха не ниже 8 градусов по Цельсию	+	+			+	+	+
телефонная внутренняя связь (без выхода за пределы средства размещения) (100 процентов номеров)	+					+	
телефоны коллективного пользования в общественных помещениях (вестибюле), телефонная связь внутренняя и городская	+						
Информационно-телекоммуникационная сеть "Интернет" (Wi-Fi) во всех помещениях гостиницы	+	+	+		+	+	+
Итого	4	2	1	0	2	3	2

**СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Продолжение таблицы 2

III. Номерной фонд							
Возможность индивидуальной регулировки температуры (зимой для системы отопления, летом для системы охлаждения (кондиционирования))	+	+			+	+	+
Итого	1	1	0	0	1	1	1
V. Общественные помещения							
Служба приема и размещения:	+	+			+	+	+
с зоной для отдыха и ожидания с соответствующей мебелью (кресла, диваны, стулья, журнальные столики), с газетами, журналами	+	+					
с подачей напитков и музыкальным вещанием	+						
Сейфовые ячейки для хранения ценностей гостей в службе приема и размещения	+	+		+			
Конференц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отображения информации и управления, звуковая аппаратура)	+	+	+		+	+	+
Бизнес-центр (электронные средства связи, копировальная техника, помещения для переговоров, компьютеры)	+	+	+	+	+	+	+
Спортивно-оздоровительный центр (тренажерный зал или зал для фитнеса)	+	+	+	+	+	+	+
Итого	7	6	3	3	4	4	4
VI. Помещения для предоставления услуг питания							
Предприятия питания: ресторан	+	+	+	+	+	+	+
бар (лобби-бар)	+	+	+	+	+	+	+
предприятия питания любого типа	-				+	+	
банкетный зал (залы), возможен трансформируемый в конференц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отображения информации и управления, звуковая аппаратура)	+	+	+	+			
Итого	3	3	3	3	3	3	2

*СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ*

Продолжение таблицы 2

VII. Услуги							
Служба приема - круглосуточный прием	+	+			+		+
Вручение корреспонденции поступившей гостям	+						
Поднос багажа по просьбе	+						
Утренняя побудка (по просьбе)	+		+				
Ежедневная уборка горничной номера	+	+					+
Ежедневная заправка постелей	+						
Смена постельного белья							
1 раз в 2 дня	+						
Ежедневная смена использованных полотенец	+						
Стирка в течение суток	+	+	+	+	+	+	+
Глажение: исполнение в течение 1 часа	+				+	+	+
предоставление утюга, гладильной доски, гладильная комната	+	+	+		+	+	+
Химчистка: исполнение в течение суток	+	+	+	+		+	+
Иные услуги							
Мелкий ремонт одежды	+						
Автомат для чистки обуви	+				+	+	
Хранение багажа	+	+			+	+	+
Обмен валюты, оплата услуг банковской картой	+	+				+	+
Организация встреч и проводов, включая транспорт- ную доставку гостей и багажа	+	+			+	+	
Вызов такси	+		+				
Бронирование и продажа билетов на различные виды транспорта	+						
Бронирование и продажа билетов в театры, на спортив- ные, зрелищные мероприятия	+						
Туристские услуги:							
Туристская информация в СПИР (в холле)	+	+					
Экскурсии, гиды и гиды- переводч.	+	+			+		
Медицинские услуги:							
Вызов скорой помощи, пользование аптечкой	+	+			+		

Продолжение таблицы 2

Услуги питания							
Возможность выбора любого из вариантов: 2-разовое, 3-разовое питание	+			+	+	+	+
завтрак "шведский стол" (7.00 - 10.00)	+		+			+	+
расширенный завтрак (7.00 - 10.00)					+		+
круглосуточное предоставление услуг питания	+						
Обслуживание в номере (рум сервис)							
в часы завтрака и в период с 12.00 до 23.00						+	+
круглосуточно	+		+		+		
Итого	27	11	7	3	13	13	12
Всего	43	24	15	10	24	25	22

Как видно, из 43-х видов услуг, предусмотренных для гостиниц категории «4 звезды», в информации на сайтах гостиниц указывается значительно меньше – от 10 (гостиница «Холидей») до 25 (гостиница «Пальмира Арт»). В разрезе групп особенно мало информации по группе «услуги» - от 11 до 48% от нормируемого перечня (для тех же гостиниц)

Приведенные данные представлены в виде диаграммы (рис. 3).

Если анализировать информацию сайтов в пределах групп, можно отметить следующее:

- по группе «Техническое оборудование и оснащение» не указывается наличие внутренней телефонной связи в номерах, возможно, руководство гостиницы это считает неактуальным;

- по группе «Общественные помещения» опущены комфортные условия для гостей работы СПиР (в зоне отдыха, наличие сейфовых ячеек для хранения ценностей). Наряду с этим, приводится расширенная информация об оказываемых услугах конференц-зала, бизнес-центра, спортивно-оздоровительного центра, что, естественно, повышает интерес потребителя к гостинице и выбора ее для бронирования номеров;

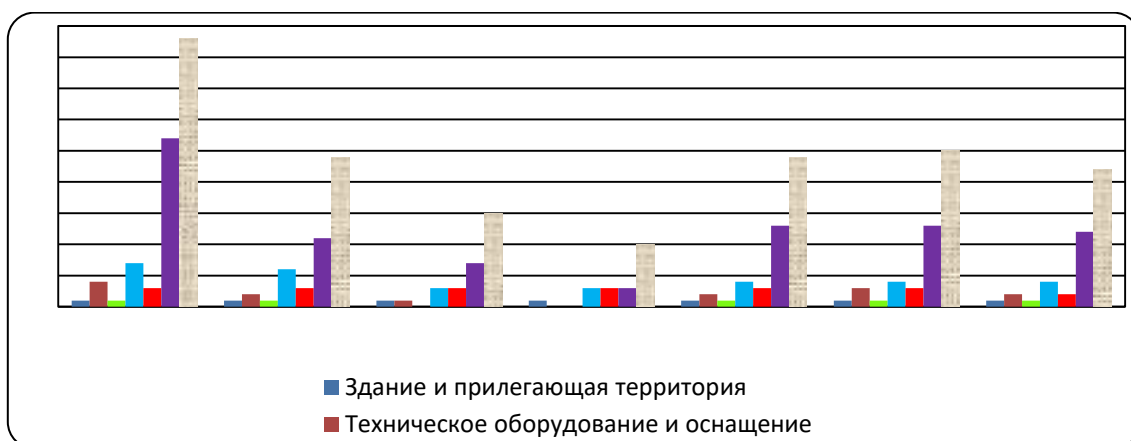


Рис. 3. Количество услуг, указанных на сайтах гостиниц категории «четыре звезды» (по группам)

- по группе «Услуги» отсутствует информация о бесплатных услугах (поднос багажа и утренняя побудка по просьбе, ежедневная уборка горничной номера, заправка постели, смена полотенец, смена постельного белья 1 раз в 2 дня, мелкий ремонт одежды, бронирование и продажа билетов на разные виды транспорта, в театры и на спортивные и зрелищные мероприятия, вызова скорой помощи и пользование аптекой). Отсутствие этой информации, во-первых, ущемляет право потребителя на достоверную информацию, во-вторых, не стимулирует персонал гостиницы на повышение качества сервиса, в-третьих, влияет на объективность отзывов гостей и продвижение услуг конкретной гостиницы.

Таблица 3

**Информация об оказываемых услугах
на сайтах гостиниц категории 5***

Наименование услуг	Норматив	Гостиницы					
		Грей Империял	Донбасс Палас	Plaza Garden Moscow WTC	Бутик-отель «The Rooms»	«Монарх»	Сафмар Гранд Москва
I. Здание и прилегающая территория							
Парковка у (или вблизи) центрального входа для остановки автотранспорта	+	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 3

Итого	1	1	1	1	1	1	1
II. Техническое оборудование и оснащение							
Кондиционирование воздуха во всех помещениях при среднесуточной температуре (за последние 5 дней) наружного воздуха не ниже 8 градусов по Цельсию	+	+	+	+	+	+	+
телефонная внутренняя связь (без выхода за пределы средства размещения) (100 процентов номеров)	+	+					
телефоны коллективного пользования в общественных помещениях (вестибюле), телефонная связь внутренняя и городская	+						
Информационно-телекоммуникационная сеть "Интернет" (Wi-Fi) во всех помещениях гостиницы	+	+	+	+	+	+	+
Итого	4	3	2	2	2	2	2
III. Номерной фонд							
Возможность индивидуальной регулировки температуры (зимой для системы отопления, летом для системы охлаждения (кондиционирования))	+	+	+	+	+	+	+
Итого	1	1	1	1	1	1	1
V. Общественные помещения							
Служба приема и размещения:	+	+	+	+	+	+	+
с зоной для отдыха и ожидания с соответствующей мебелью (кресла, диваны, стулья, журнальные столики), с газетами, журналами	+	+	+	+	+	+	+
с подачей напитков и музыкальным вещанием	+						
Сейфовые ячейки для хранения ценностей гостей в службе приема и размещения	+		+		+	+	
Конференц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отображения информации и управления, звуковая аппаратура)	+		+	+		+	+

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Продолжение таблицы 3

Бизнес-центр (электронные средства связи, копировальная техника, помещения для переговоров, компьютеры)	+			+		+	+
Спортивно-оздоровительный центр (тренажерный зал или зал для фитнеса)	+	+	+	+		+	+
Итого	7	3	5	5	3	6	5
VI. Помещения для предоставления услуг питания							
Предприятия питания: рестораны	+	+	+	+	+	+	+
бар (лобби-бар)	+	+		+	+	+	+
банкетный зал (залы), возможен трансформируемый в конфе-ренц-зал с оборудованием, необходимым для проведения презентаций (системы отобра-жения информации и управле-ния, звуковая аппаратура)	+	+	+	+		+	
Итого	3	3	2	3	2	3	2
VII. Услуги							
Служба приема - круглосуточный прием	+	+	+	+	+	+	+
Вручение корреспонденции поступившей гостям	+						
Швейцар	+			+		+	
Поднос багажа обязательно	+			+			
Утренняя побудка (по просьбе)	+						
Ежедневная уборка горничной номера	+	+		+	+	+	+
Ежедневная заправка постелей	+						
Вечерняя подготовка номера	+	+					
Смена постельного белья							
1 раз в 2 дня (по просьбе - ежедневно)	+	+					
Ежедневн. смена использованных полотенец	+	+					
Стирка в течение суток	+	+	+	+		+	+
в течение 2-х часов (экспресс)	+						
Глажение:							
исполнение в течение 1 часа	+		+				+
Химчистка:							
срок исполнения не более 6 часов)	+			+	+	+	+

**СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Продолжение таблицы 3

Иные услуги							
Мелкий ремонт одежды	+						
Автомат для чистки обуви	+						
Хранение багажа	+			+	+	+	+
Обмен валюты, оплата услуг банковской картой	+		+	+	+	+	+
Организация встреч и проводов, включая транспортную доставку гостей и багажа	+	+		+	+	+	+
Вызов такси	+				+	+	
Аренда (прокат) автомашины без водителя	+	+					
Бронирование и продажа билетов на различные виды транспорта	+	+					
Бронирование и продажа билетов в театры, на спортивные, зрелищные мероприятия	+			+			
Туристские услуги:							
Туристская информация в СПМР (в холле)	+						
Экскурсии, гиды и гиды-переводчики	+	+					
Медицинские услуги:							
Вызов скорой помощи, пользование аптечкой	+			+		+	
Услуги питания							
Возможность выбора любого из вариантов: 2-разовое, 3-разовое питание	+		+				+
завтрак "шведский стол" (7.00 - 10.00)	+	+	+	+		+	
круглосуточное предоставление услуг питания	+			+			
Обслуживание в номере							
круглосуточно	+				+	+	+
Итого	30	11	6	13	9	12	10
Всего	46	22	17	25	18	25	21

Полученные результаты для гостиниц высшей категории о представленных на сайтах оказываемых услугах подтверждают ранее установленную тенденцию.

Так, из 46-х видов услуг, предусмотренных для гостиниц категории «5 звезд», в информации рассмотренных сайтов указывается от 17 (гостиница «Донбасс Палас») до 25 услуг (гостиницы «Plaza Garden Moscow WTC» и «Монарх»). В наиболее многочисленной группе «услуги» представлено от 20 до 40-43% от нормируемого количества услуг (те же гостиницы). Не отражены такие важные для желающего выбрать гостиницу в качестве временного проживания, как утренняя побудка (по просьбе), ежедневная заправка постелей, вечерняя подготовка номера, мелкий ремонт одежды, автомат для очистки обуви, аренда (прокат) автомобиля без водителя, бронирование и продажа билетов на все виды транспорта, в театры, на спортивные и зрелищные мероприятия, предоставление в холе СПиР туристской информации.

Приведенные данные представлены в виде диаграммы (рис. 4).

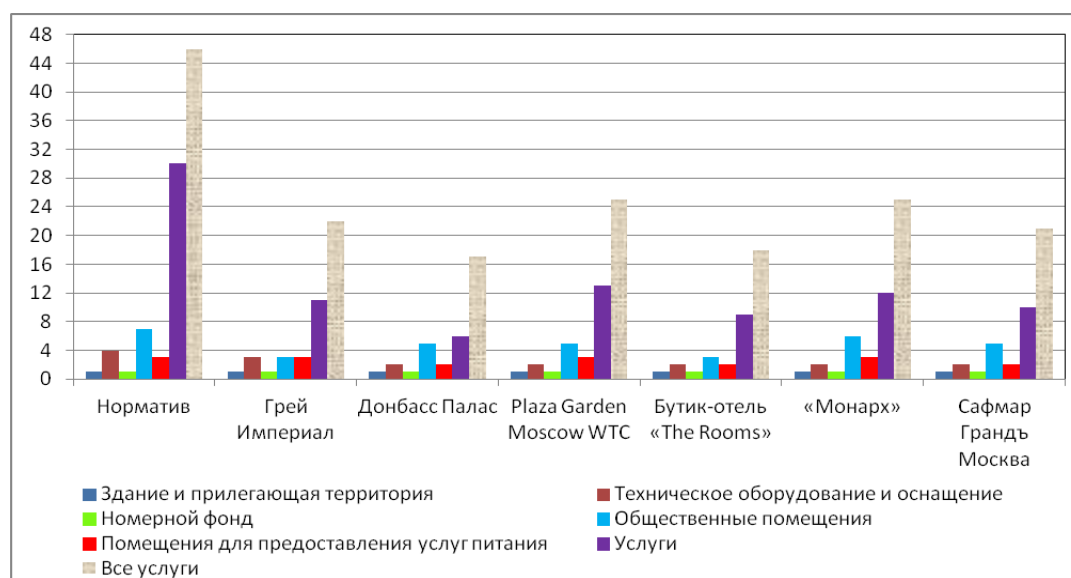


Рис. 4. Количество услуг (по группам), указанных на сайтах гостиниц категории «пять звезд»

Исследованием установлено, что приведенная на сайтах информация об услугах, оказываемых в «общественных помещениях» -

конференц-зале, бизнес-центре, спортивно-оздоровительном центре, как правило, не зависит от категории гостиницы.

Необходимо отметить, что вместо услуг приводится инфраструктура, обеспечивающая оказание соответствующих услуг, например, салон красоты, фитнес-центр, СПА-комплекс, тренажерный зал, салон массажа, конференц-зал. Иногда приводится информация, из которой трудно узнать, какие оказываются услуги, например, красота и здоровье, спорт и развлечения, просто «спорт», где в качестве составляющих указываются фитнес-центр и тренажерный зал (гостиница «Сафмар Грандъ Москва»), которые, скорее всего, оказывают оздоровительные услуги, а не формируют спортивные качества. Иногда некоторые услуги представлены фотографиями, например, общий вид оказания массажа.

Из всего вышеизложенного следует, что разработчики сайтов не обладают достаточными компетенциями в специальных знаниях в области гостиничного дела, в частности, что такое услуги и процесс их оказания (предоставления) проживающим в гостинице.

Общий вывод относительно информации сайтов гостиниц для потенциальных потребителей услуг – требуется дальнейшее совершенствование в направлении профессионального и системного описания

Заключение

Проведенное исследование позволяет констатировать следующее.

1. Вопросы, связанные с внутренним туризмом в Российской Федерации представляются актуальными, и находятся в поле зрения Правительства.

2. Осуществляется процесс классификации коллективных средств размещения (КСР). На конец 2024 г. число классифицированных КСР составило 59,8 % от общего количества.

3. Продвижение гостиничных услуг осуществляется в Интернете путем размещения собственных веб-сайтов, но в основном с использованием агрегаторов – специальных платформ для бронирования. После ухода с российского рынка Booking и Airbnb наибольшее

распространение получили платформы Яндекс.Путешествия и ОСТРОВОК!.

4. Рассмотрены основные разделы сайта и их содержание, преимущества собственных сайтов гостиниц перед сайтами, представленными агрегаторами.

5. Изучена информация сайтов 7 гостиниц категории 3*, 6 – категории 4*, 6 – категории 5* о предоставляемых услугах потенциальным гостям в сравнении с нормативными требованиями к соответствующей категории.

6. Установлено, что на сайте указывается информация об услугах в меньшем объеме, чем это предусмотрено нормативом: категории 3* - от 15 до 60%, 4* - от 11 до 48%, 5* - от 20 до 40%. Информация проанализирована по отдельным группам и видам услуг.

7. Информация на сайтах по услугам, оказываемым в конференц-зале, бизнес-центре, спортивно-оздоровительном центре, как правило, не отражает категорию гостиницы. Информация требует совершенствования в направлении систематизации и повышения уровня профессионализма в описании, понятном для потенциальных потребителей услуг.

Список литературы

1. Национальный проект «Туризм и гостеприимство». URL: <http://government.ru/rugovclassifier/920/events/> (дата обращения 05.04.2025).

2. Дмитрий Чернышенко. За шесть месяцев туристы совершили 41,4 млн. турпоездов по России. URL: <http://government.ru/news/55938/> (дата обращения 15.07.2025).

3. Анализ рынка гостиничных услуг России в 2024 году. АЦ «Центр экономики рынков» . 2025 г., Москва. – 32 с. URL: <https://research-center.ru/analiz-rynka-gostinichnyh-uslug-rossii-v-2024godu/?ysclid=meh5nobay9860168037> (дата обращения 05.07.2025).

4. Ульянова В.М. Проблемы, инструменты, технологии и перспективы продвижения гостиниц в сети интернет. //Экономика и социум. - № 11(30). – 2016. – С. 1200-1203.

5. Яншин А.В. Инновационный туризм: возможности применения VR и AR технологий в туристическом секторе //Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». Серия: Экономика и Право. - № 9 сентябрь. - 2023. - С. 82-87.

6. Сайт для отеля - зачем нужен и каким должен быть. URL: <https://webster.studio/journal/sajt-dlya-otelya-zachem-nuzhen-i-kakim-dolzhen-byt/?ysclid=mcymbqlst3220780489> (дата обращения 05.04.2025).

7. Евгений Чуранов. Каким должен быть сайт гостиницы в 2025 году. URL: https://www.web-canape.ru/business/kakim-dolzhen-byt-sajt-gostinicy-v-2021-godu/?ysclid=mcycg6ph8v984543409&utm_referrer=https%3a%2f%2fya.ru%2f (дата обращения 25.07.2025)

8. Ильина Е.Л., Латкин А.Н., Сергеева В.С., Шевелева Л.А. Веб-сайт гостиничного предприятия как инструмент передачи ценностей бренда и привлечения целевой аудитории // Современные технологии управления. ISSN 2226-9339. — № 2(92). Номер статьи: 9212. Дата публикации: 2020-05-31 . URL:<https://sovman.ru/article/9212/> (дата обращения 05.05.2025).

9. ТОП 15 сайтов-агрегаторов для бронирования отелей в России. URL: <https://vc.ru/services/1452319-top-15-saitov-agregatorov-dlya-bronirovaniya-otelei-v-rossii?ysclid=mepoj45g67359992026> (дата обращения 09.08.2025)

10. Постановление Правительства РФ от 18 ноября 2020 г. № 1860 “Об утверждении Положения о классификации гостиниц”. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74857806/?ysclid=mcuhhld3hp808087265> (дата обращения 13.04.2025).

11. Отель «Космос». URL: <https://www.hotelcosmos.ru> (дата обращения: 05.12.2024).

12. «Централь» отель. URL: https://www.alean.ru/rossiya/doneckaya_narodnaya_respublika/doneck/central_otel/?ysclid=meqrjxtum6325460210 (дата обращения: 09.11.2024).

13. Отель Измайлово Бета. URL: https://ostrovok.ru/hotel/Russia/moscow/mid7819740/otel_izmailovo_beta/

dates= 18.07.2025 -19.07.2025&guests =2& hotelId =otel_izmailovo_beta&room=s-6a596bde-8ed1-554b-878c-9166bdb 2336c&q=2395 (дата обращения 05.04.2025).

14. Отель Птица-Синица. URL: https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid9987566/ptitsasinita_hotel/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=otel_izmailovo_beta&room=s-cbb4672c-6904-5820-8063-9b5c5d077072&q=2395 (дата обращения 05.04.2025).

15. Отель Измайлово Гамма. URL: https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid7402135/otel_izmailovo_gamma/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=otel_izmailovo_beta&room=s-a4930b3e-8c06-59df-a125-8ac9cd641e12&q=2395 (дата обращения 05.04.2025).

16. Гостиница Ярославская. URL: https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid7732781/gostinita_iaoslavskiaia/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=otel_izmailovo_beta&room=s-6a596bde-8ed1-554b-878c-9166bdb 2336c&q=2395&ref=recommendations_bottom-website-ostrovok-hp (дата обращения 18.07.2025).

17. Отель Империя. URL: https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid8743191/imperiya_hotel/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelid=mandarin_moscow_hotel&room=s-330fef2e-d2df-5e2a-a31a-fed09abacd15&q=2395 (Дата обращения 18.07.2025)

18. Отель Alean Family Riviera в Анапе. URL: <https://rivieraresort.ru/?ysclid=merdobq0yd690545465> (дата обращения 25.11.2024)

19. Конгресс-отель DON PLAZA. URL: <https://don-plaza.ru>, История отеля. URL: <https://don-plaza.ru/about/history/> (дата обращения 05.04.2025).

20. Отель «Холидей Инн Москва Сокольники». URL: <https://holidayinnsokolniki.ru/?ysclid=meraom30c2651019160> (дата обращения 25.11.2024).

21. Mandarin Moscow Hotel 4*. URL: https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid7467339/mandarin_moscow_hotel/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId (дата обращения 18.07.2025)

22. Отель Palmira Art. URL: [https:// ostrovok.ru/ hotel/ russia/ moscow/mid 13287330/ palmira_art_hotel/ ?dates= 18.07.2025-19.07.2025 & guests =2&hotelId =mandarin_moscow_hotel&room=s-8e9343d2-84f3-5f1d-9f9c-6958f5052f9b &q=2395](https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid13287330/palmira_art_hotel/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=mandarin_moscow_hotel&room=s-8e9343d2-84f3-5f1d-9f9c-6958f5052f9b&q=2395) (дата обращения 18.07.2025)

23. Отель Москва Красносельская (ex. Hilton Garden Inn Красносельская). URL: [https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/ mid9751449/hilton_garden _inn_moscow_krasnoselskaya_hotel/?dates= 18.07.2025-19.07.2025&guests =2&hotelId=mandarin_moscow_hotel& room=s-feae299c-7f04-5c78-96f2-99766d804444&q=2395](https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid9751449/hilton_garden_inn_moscow_krasnoselskaya_hotel/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=mandarin_moscow_hotel&room=s-feae299c-7f04-5c78-96f2-99766d804444&q=2395) (дата обращения 18.07.2025)

24. Отель "Грейс Империял" Красная Поляна. URL: <https://imperial-grace.ru/?ysclid=merd2no4p441379194> (дата обращения 12.10.2024)

25. «Донбасс Палас» отель, Донецк. URL: [https://travel.yandex.ru/hotels/ donetsk-ua/donbass-palas/?ysclid=mevjf68q 11744285926](https://travel.yandex.ru/hotels/donetsk-ua/donbass-palas/?ysclid=mevjf68q11744285926) (дата обращения: 02.05.2025).

26. Plaza Garden Moscow WTC. (официальный сайт) URL: [https:// plazagarden.ru/?ysclid=md5l5abksm 510146680](https://plazagarden.ru/?ysclid=md5l5abksm510146680) (дата обращения 06.07.2025)

27. The Rooms Boutique Hotel 5*. URL: [https://travel.yandex.ru/ hotels/moscow /otel-taganka-kholl/](https://travel.yandex.ru/hotels/moscow/otel-taganka-kholl/), [https://travel.yandex.ru/hotels/moscow/ rums-butik-otel-moskva/](https://travel.yandex.ru/hotels/moscow/rums-butik-otel-moskva/) (дата обращения 22.07.2025)

28. МонАрх 5* URL: <https://travel.yandex.ru/hotels/moscow/monarkh/> (дата обращения 22.07.2025)

29. Сафмар Грандъ Москва (бывший Марриотт Гранд). URL: [https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid11231733/safmar_grand_moscow _exmarriott_grand/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId= safmar_ grand_moscow_exmarriottgrand&room=s-06ab41fd-08e7-5f0d-9a93-05ce 5f4032ee&q=2395](https://ostrovok.ru/hotel/russia/moscow/mid11231733/safmar_grand_moscow_exmarriott_grand/?dates=18.07.2025-19.07.2025&guests=2&hotelId=safmar_grand_moscow_exmarriottgrand&room=s-06ab41fd-08e7-5f0d-9a93-05ce5f4032ee&q=2395) (дата обращения 23.07.2025)

© Топольник В.Г.

Глава 5.

**МАКАО (АОМЭНЬ): РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ
«ОДНА СТРАНА – ДВЕ СИСТЕМЫ» В XX–XXI ВЕКАХ**

Нестеров Александр Геннадьевич

д.и.н., профессор

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Аннотация: Рассматривается вопрос развития Специального административного района Китайской Народной Республики Аомэнь (Макао) в соответствии с концепцией «Одна страна – две системы». Обосновано, что Макао имеет особые права, открывающие региону возможности самостоятельной международной деятельности в экономической и культурной сферах. Установлено, что важнейшим элементом культурной политики и международного культурного сотрудничества Макао является программа «три письменности – четыре языка», предусматривающая поддержку и распространение португальского языка и культуры, а также расширение использования официального китайского языка.

Ключевые слова: Макао, Китай, концепция «одна страна – две системы», специальный административный район, Основной закон Макао.

**MACAU (AOMEN): IMPLEMENTATION
OF THE «ONE COUNTRY– TWO SYSTEMS»
CONCEPT IN THE XX – XXI CENTURIES**

Nesterov Aleksandr Gennadyevich

Abstract: The article discusses the development of the Macao Special Administrative Region of the People's Republic of China in accordance with the concept of “One Country, Two Systems”. It has been proven that Macau

has special rights that open up opportunities for the region to operate independently internationally in the economic and cultural fields. It was found that the most important element of Macau's cultural policy and international cultural cooperation is the “Three Writing Systems – Four Languages” program, which provides for the support and dissemination of Portuguese language and culture, as well as the expansion of the use of the official Chinese language.

Key words: Macau, China, the concept “One country – two systems”, the special administrative region, the Basic Law of Macau.

Специальные административные районы Китая – Сянган (Гонконг) и Аомэнь (Макао) имеют особый статус во многих аспектах своего существования, в том числе и в международной деятельности. Именно благодаря этому изучение этих специальных административных районов вызывает особый интерес в современной науке. В то же время необходимо подчеркнуть, что в современной исследовательской литературе основное внимание уделяется Гонконгу – это касается как собственно китайских, так и зарубежных по отношению к Китаю исследований, в том числе российских. Объяснить это очень легко, так как экономическое значение Гонконга намного существеннее, чем экономическое значение Макао. Гонконг является одним из крупнейших глобальных финансовых центров Восточной Азии и мира в целом, его население существенно превышает население Макао, кроме того, локальная идентичность жителей Гонконга сформировалась намного более четко, чем идентичность жителей Макао. В Гонконге в определенной степени можно увидеть и сепаратистские настроения части населения, которые полностью отсутствуют в Макао.

Включение Макао в состав Китайской Народной Республики в статусе специального автономного района привело к тому, что Макао сохранило ограниченные возможности самостоятельной международной деятельности (в сферу ведения центрального правительства Китая перешли от Португалии внешняя политика и оборона Макао). В экономической и культурной сферах Макао на международной арене

выступает как самостоятельный актор, является членом ряда международных организаций (таких, как ЮНЕСКО и ВТО) и сохраняет традиционные международные связи, сложившиеся еще в период нахождения Макао под властью Португалии. В то же время Макао может считаться применительно к Китаю именно региональным субъектом, что позволяет специальному административному району развивать контакты не только на общегосударственном, но и на трансрегиональном уровне. Всё это стало возможным благодаря реализации в Макао концепции «одна страна – две системы», ставшей основой для создания специальных административных районов.

Основными партнерами Макао в международной деятельности являются, естественно, собственно Китай и Гонконг, а также страны Восточной, Юго-Восточной Азии и США. В меньшей степени интересы Макао распространяются на Европу – здесь отношения развиваются, прежде всего, в сфере культуры и экономики, причем основным направлением сотрудничества в сфере культуры является лузофония, связанная с сохранением и распространением португальского языка.

Важнейшим источником для исследования формирования концепции «Одна страна – две системы» служат работы автора этой концепции – Дэн Сяопина. Собственно концепция изложена в статье «Одно государство – два строя» [7, с. 78 – 82]. Официальные документы Коммунистической партии Китая, в которых зафиксировано официальное изложение концепции, а также конституционные документы специальных административных районов Китая – Гонконга и Макао – позволяют определить место концепции «Одна страна – две системы» во внешней и внутренней политике Китайской Народной Республики конца XX – XXI веков.

Литература, посвященная концепции «Одна страна – две системы» достаточно обширна. Среди публикаций следует отметить работы К.А. Кокарева [9], Л.М. Гудошникова [3] и ряд других. Необходимо подчеркнуть, что основная масса исследований посвящена проблеме реализации концепции «Одна страна – две системы» на примере трансформации Гонконга из британского колониального владения в

специальный автономный район Китая; в связи с этим следует отметить книгу Янь Сяоцзюня «Управление и хаос в Гонконге (политическое представление о 2047 году)» [13]. Вопрос о роли данной концепции в связи с Тайванем в основном остается открытым, так как Тайвань остался в стороне от принципов концепции «Одна страна – две системы»; вопрос о реализации указанной концепции в Макао наиболее подробно рассмотрен в сборнике «Одна страна, две системы, три правовых порядка: перспективы эволюции», опубликованном в Берлине в 2009 году при поддержке Фонда Макао [19]. Макао в отношении изучения по сравнению с Гонконгом не повезло – его рассматривают лишь очень немногочисленные исследователи, которые, как правило, затрагивают два основных аспекта существования Макао, причем очень тесно взаимосвязанных: культурно-туристическую и игорно-туристическую составляющую экономики Макао, так как основные средства регион получает от туризма и игорного бизнеса. Тем не менее реальная экономическая жизнь Макао шире таких узких границ [10]. Только в общей работе, посвященной Китаю в условиях развития глобализации, небольшой раздел посвящен Макао и затрагивает все основные направления жизни Специального административного района, в том числе и особенности его экономического развития [1, с. 680–702].

В последнее время появились исследования, рассматривающие лингвистическую ситуацию в Макао и отражение в специальном административном районе особенностей общей лингвистической политики центрального правительства Китая. Среди них следует отметить публикации О.И. Завьяловой [8], И.Ю. Гутина [4; 5] и др. Тем не менее всестороннее рассмотрение развития Макао стало вне поля зрения современных исследователей.

Источниковая база исследования основана, прежде всего, на материалах, размещенных на официальных сайтах правительства Специального Административного Района Аомэнь (Макао), Генерального консульства Португалии в Макао, а также на новостных публикациях в ряде китайских и макаоских периодических изданий, прежде всего в газете «The Macao News».

Решение проблемы Макао является еще одним из примеров реализации концепции «Одна страна — две системы». 20 декабря 1999 года Макао стал одним из двух специальных административных районов в составе КНР. Это ознаменовало окончание колониального правления Португалии. Впервые концепция «Одна страна — две системы» (一國兩制, упрощенно 一国两制, yī guó liǎng zhì) была сформулирована лидером Китая Дэн Сяопином в связи с тайваньским вопросом. Собственно концепция изложена в статье «Одно государство — два строя» [7, с. 78 – 82].

Впервые концепция «Одна страна — две системы» была озвучена на заседании III Пленума ЦК КПК 11-го созыва, на котором Дэн Сяопин подробно изложил идею решения тайваньского вопроса при условии уважения к ситуации на Тайване. В январе 1979 года Дэн Сяопин посетил Соединенные Штаты Америки по приглашению президента США. Дэн Сяопин сказал: «Решение вопроса Тайваня и завершение национального воссоединения является внутренним делом Китая. Мы должны реалистично отнестись к урегулированию тайваньского вопроса. Именно поэтому Тайвань поддерживает торговлю с Соединенными Штатами, но его социальная система остается неизменной, а образ жизни не изменился. Уровень жизни людей не только не снизился, но и может подняться». Далее он отметил: «На Тайване власть имеет свои права, в условиях одного Китая он может иметь свою собственную определенную армию, и торговые отношения с зарубежными странами могут продолжаться. Общение между людьми может продолжаться. Текущая политика и нынешний образ жизни могут оставаться неизменными, и капиталистическая экономика может оставаться неизменной. У нас одно требование: признать, что существует только один Китай, а не два Китая».

10 января 1982 года Дэн Сяопин встретился в США с председателем Американской ассоциации этнических китайцев Ли Яоцзи. Дэн Сяопин сказал: «Под предпосылкой национального объединения в Китае развивалась социалистическая система, и в то же время Тайвань по-прежнему остается в рамках капиталистической

системы». В этом разговоре Дэн Сяопин впервые выдвинул концепцию «Одна страна — две системы». Затем Дэн Сяопин сказал: «Судебная власть Тайваня должна быть независимой; приговоры судебной инстанции Тайваня надо передать в Пекин; Тайвань также может создать свою собственную армию. Партия, правительство и армия Тайваня должны находиться под контролем самого Тайваня». Эти положения взяты из знаменитой статьи Дэн Сяопина «Шесть пунктов Дэна». После того, как эта статья была опубликована, она стала популярной в административных районах Гонконга, Макао и Тайваня. Публикация «Шести пунктов Дэна» сделала концепцию «Одна страна—две системы» более полной, упорядоченной систематически и реальной.

«Конституция Китайской Народной Республики» была принята на заседании V Пленума Всекитайского Съезда КПК 5-го созыва в декабре 1982 года. В конституции четко оговаривалось, что в случае необходимости государство может создать специальный административный район. Система, осуществляемая в специальном административном районе, определяется в соответствии с конкретной ситуацией. Это обеспечивает правовую основу для реализации концепции «Одна страна—две системы». В 1984 году на заседании II Пленума Всекитайского Съезда КПК 6-го созыва был зачитан «Доклад о государственной работе», где была описана концепция «Одна страна — две системы», которая была принята Всекитайским Съездом КПК. Принцип «Одна страна — две системы» стал базовой политикой, имеющей юридическую силу. В 1984 году Дэн Сяопин опубликовал статью, посвященную основным принципам завершения объединения Китая в соответствии с концепцией «Одна страна — две системы». В частности, он отмечал: «Мы предложили концепцию «Одна страна — две системы» как способ разрешения сянганского и тайваньского вопросов... Всекитайское собрание народных представителей уже приняло эту политику» [7, с. 79]. КНР и Коммунистическая партия Китая считают концепцию «Одна страна — две системы» основой политики урегулирования взаимоотношений между КНР и Гонконгом, Макао и Тайванем. Вопрос о Гонконге, Макао и тайваньский вопрос есть наследие сложившихся исторических обстоятельств. Согласно теории

Дэн Сяопина, принцип «Одна страна – две системы» должен служить стимулом для объединения государства. У китайской нации есть стремление решить эти вопросы и добиться национального воссоединения. «Одна страна» означает, что в мире существует только один Китай, а специальные административные районы являются её неотъемлемой частью. При регулировании взаимоотношений центра и этих районов местная власть особых административных районов подчинена центру, хотя основные принципы взаимоотношений местной власти специальных административных районов и центра уже были закреплены Основными Законами каждого специального административного района. Иначе говоря, КНР завершает объединение государства созданием специальных административных районов, а их создание не меняет сущности КНР [7, с. 79–80].

«Одна страна — две системы» является концепцией, при которой центральное правительство реализует основные схемы управления государством. В 1984 году на заседании II Пленума ЦК КПК КПК 12-го созыва Дэн Сяопин зачитал «Доклад о государственной работе», где была описана концепция «Одна страна—две системы», которая была принята Всекитайским Съездом КПК. Принцип «Одна страна — две системы» стал базовой политикой, имеющей юридическую силу [6].

Проблема Макао была решена благодаря концепции «Одна страна — две системы». Именно как сказал Дэн Сяопин: «Основанием для решения вопросов Гонконга, Макао и Тайваня служили интересы Китая. А решение проблемы Макао не только основывается на интересах Китая, но и на интересах Португалии и Макао». В марте 1993 года проект Основного закона Специального административного района Макао был рассмотрен на заседании VIII Национального народного конгресса. 31 марта 1993 года был принят Основной закон. Подписание «Совместного заявления Китайской Народной Республики и правительства Республики Португалии по вопросу о Макао» оказало влияние на образование «Основного закона» Макао, а он является основным конституционным документом в рамках концепции «Одна страна — две системы».

Дэн Сяопин гарантировал, что после возвращения Гонконга и Макао в Китайскую Народную Республику социально-экономическая система и капиталистический строй Макао в течение долгого времени будут сохранены в прежнем состоянии. Он отметил, что политика «Одна страна — две системы» включает в себе капитализм и социализм. Главной системой Китая является социалистическая система, и один миллиард людей твердо придерживается ее принципов. Под этой предпосылкой капиталистический режим может существовать в Гонконге и Макао.

Дэн Сяопин применил «Пять принципов мирного сосуществования», предложенных Чжоу Эньлаем (главой Государственного совета КНР в 1949–1976 годах) в 1953 году для решения вопроса о национальном воссоединении. Дэн Сяопин считал: «Согласно практике в Китае, политика «Одна страна—две системы» для решения вопроса воссоединения Китая является примером мирного сосуществования. Принципы мирного сосуществования связаны не только с решением проблем международных отношений, но также с решением вопросов о внутренней политики в стране». Дэн Сяопину хотелось, чтобы Китай мог решить внутренние вопросы, а именно вопрос о Гонконге и Макао с применением принципа «Одна страна—две системы».

Исходя из реальных условий, существовавших в Китае, и стремления добиться национального воссоединения, Дэн Сяопин предложил концепцию «Одна страна — две системы». Эта концепция не только реализует объединение Китая и защищает национальный суверенитет, но и учитывает исторические реалии Тайваня, Гонконга и Макао. Обладая значительной гибкостью, она стала основной политикой, содействующей миру в Китае и его воссоединению.

В июне 1989 года на заседании IV Пленума ЦК КПК 13-го созыва был утвержден новый руководящий состав во главе с Цзян Цзэмином. Коллективное руководство продолжало рассматривать политику мирного воссоединения страны и концепцию «Одна страна — две

системы», предложенную партией до заседания III Пленума ЦК КПК 11-го созыва в качестве основной политики партии и страны.

30 января 1995 года Цзян Цзэминь (председатель КНР в 1993–2003 годах) выступил с речью на тему «содействия полному воссоединению Родины и дальнейшему стремлению к воссоединению». Речь идёт о том, что политика Дэн Сяопина по «мирному воссоединению» и концепция «Одна страна – две системы» обладают глубоким содержанием и значением. Цзян Цзэминь проанализировал отношения между Китаем и Макао и тенденции развития, выдвинув восемь предложений по содействию мирному воссоединению родины.

Цзян Цзэминь подтвердил, что реализация концепций «Одна страна — две системы» является долгосрочной основной государственной политикой. 26 октября 1999 года Цзян Цзэминь встретился с президентом Португалии Жоржи Фернанду Бранку де Сампайю и обсудил позицию китайского правительства по вопросу о Макао. Цзян Цзэминь сказал: «Лидеры обеих сторон должны смотреть на проблемы со стратегической точки зрения, проанализировать ситуацию и «стоять высоко, чтобы видеть далеко». Переход управления Макао от португальской администрации к Китаю отвечал интересам Китая и Португалии и являлся важным воплощением дружественного сотрудничества между Китаем и Португалией по вопросу о Макао.

Цзян Цзэминь сказал: «После того, как Китай возобновит осуществление суверенитета над Макао, Центральное правительство будет строго соблюдать принцип «Одна страна — две системы» и действовать в соответствии с Основным законом Макао. Центральное правительство не будет вмешиваться в дела, которые относятся к автономии Специального административного района Макао. Законные права и интересы Португалии в Макао, обычаи и культурные традиции жителей португальского происхождения будут защищаться и соблюдаться в соответствии с законом.

Кроме того, Цзян Цзэминь выразил уверенность, что в будущем Макао сыграет роль связующего звена в развитии китайско-

португальских отношений и отношений Китая с Европейским союзом [14].

Международной деятельности Макао посвящена отдельная VII глава Основного Закона Специального Административного Района Аомэнь (Макао), охватывающая 135 – 142 статьи Основного Закона Макао. В этой главе подробно указано, какие именно полномочия во внешней (международной) деятельности центральное правительство Китайской Народной Республики делегирует правительству Специального Административного Района Макао. В статьях 136 и 137 подчеркивается, что в международной деятельности Макао должно обозначать себя как «Макао, Китай». Статья 141 предусматривает, что «Специальный административный район Макао может создавать, в зависимости от потребностей, официальные или полуофициальные экономические и торговые миссии в зарубежных странах, сообщая об их создании Центральному народному правительству для целей регистрации». В 142 статье предусматривается, что свои неофициальные (неправительственные) учреждения в Макао могут создавать даже страны, не признанные Китайской Народной Республикой [18].

В соответствии с Основным законом Макао имеет право подписывать международные договоры и соглашения в экономической и культурной сфере. К настоящему времени по отношению к европейским странам Макао имеет инвестиционные договоры с Португалией и Нидерландами, с Португалией также подписаны соглашения о взаимной правовой помощи и об избежании двойного налогообложения и ряд других. В Макао представлены Европейский Союз как международная организация, генеральное консульство Португалии, почетное консульство Эстонии, представительства торговых палат Германии, Франции, Ирландии и Румынии. В 1992 году было подписано соглашение о торговле и сотрудничестве между Макао и Европейским экономическим сообществом, продолжающее действовать и в настоящее время, несмотря на изменения статуса обеих сторон соглашения. Макао также является членом 19 международных организаций, в которых статус участника могут получить и территории, не обладающие

полнотой суверенитета. Ряд консульских учреждений европейских стран, распространяющие свои полномочия и на Макао, размещены в Гонконге, расположенном вблизи от Макао специальном административном районе Китая (в том числе официальное представительство Европейского Союза, генеральные консульства Австрии, Бельгии, Франции, Финляндии, Греции Ирландии, Италии, Нидерландов, Польши, Румынии, Испании, Швеции и Венгрии).

В 1986 году правительства Китая и Португалии провели четыре раунда переговоров по проблеме Макао. 13 апреля 1987 года премьер-министры обеих стран подписали «Совместное заявление Китайской Народной Республики и правительства Республики Португалии по вопросу о Макао» в Пекине. В заявлении говорилось о том, что регион Макао (включая Макао, Тайпа и Колоан) является территорией Китая. Конституция (Основной закон) Специального административного района Аомэнь (Макао) как неотъемлемой составной части Китайской Народной Республики вступила в силу 31 марта 1999 года при установлении китайского суверенитета над Макао.

Позднее Ху Цзиньтао (председатель Китайской Народной Республики в 2003-2013 годах) отмечал: «Необходимо в полной мере реализовать важные идеи мирного развития отношений между Китаем и Макао. Необходимо укрепить политические, экономические, культурные и социальные основы, чтобы обеспечить полные условия для мирного объединения». Он подчеркнул, что народ Китая должен всегда придерживаться политики «Одна страна — две системы», укрепить понимание принципа «Одна страна» и находить общее, несмотря на существующие различия на этой основе.

Углубление экономического сотрудничества, установление общих интересов, расширение культурного обмена, укрепление национальной идентичности, усиление институционального развития, ведение переговоров о создании системы взаимного доверия для обеспечения стабилизации ситуации, ведение переговоров по мирному соглашению — все это является важным для мирного развития отношений между Китаем и Макао.

Жители Китая и Макао стремились к укреплению единства Китая и таким образом способствовали сотрудничеству основной части страны и специального административного района. Ху Цзиньтао отмечал, что «Все китайцы, работающие вместе, смогут достичь дела воссоединения Родины в процессе возрождения китайской нации» [12].

Позднее Председатель КНР Си Цзиньпин сказал: «Развитие Гонконга и Макао тесно связано с развитием Китая. Мы должны поддержать интеграцию Гонконга и Макао во время развития Китая. Мы должны приложить усилия, чтобы способствовать развитию сотрудничества между провинцией Гуандун, Гонконгом и Макао, а также региональному сотрудничеству в регионе Жемчужной реки. Мы должны полностью содействовать взаимовыгодному сотрудничеству между Китаем с одной стороны, Гонконгом и Макао с другой стороны» [11].

Особенностью реализации концепции «Одна страна – две системы» является лингвистическая политика. В Макао реализуется политика «три письменности – четыре языка» (три письменных языка – китайский, португальский и английский, четыре разговорных языка – китайский нормативный, китайский кантонский, португальский и английский) [4, с. 46]. Сохранение португальского языка и культуры поддерживается и центральным правительством Китая, так как реально португальским языком на достаточно высоком уровне владеет ничтожное меньшинство населения Макао (по разным оценкам – от 3 до 7%), и тенденция к утрате португальского языка в Макао очевидна. Во многом это обусловлено сокращением «коренного» населения Макао после присоединения региона к Китаю в 1999 году: уже к 2011 году численность населения Макао, родившихся в Макао, составляла чуть больше 40% от общей численности населения специального административного района [5, с. 56], что обусловлено значительным миграционным притоком в Макао населения из континентального Китая.

Что касается языка «макаишта», представители маканской диаспоры стараются пропагандировать свой язык и культуру: они исполняют песни на макаишта и развивают свой канал на Youtube «Dóci

Раріа́çam di Масау». Но в регионе очень мало программ, направленных на сохранение лузокреольской культуры Макао, поэтому приходится прогнозировать вымирание языка «макаишта» [2]. В настоящее время численность жителей Макао, являющихся лузокреолами Макао, не превышает 8 000 человек (из более чем 650 тыс. населения Макао), но маканским языком из них владеет и использует его в повседневной жизни около 50 человек. ЮНЕСКО отнесла маканский язык к числу вымирающих, что подтолкнуло власти Макао и Португалии обратить на него особое внимание. В 2003 году по инициативе Португалии при поддержке властей Макао и центрального правительства Китая был открыт «Проект памяти Макао» (Projecto memória macanese), направленный на сохранение истории маканских фамилий, маканского языка, а также выявления и сохранения литературных памятников, созданных на маканском языке. Результаты проекта публиковались на официальном сайте проекта (www.memoriamacanense.org), основные результаты были подведены в 2011 году, после чего деятельность проекта стала частью работы Португальского института Востока.

«Закон Китайской Народной Республики о национальной районной автономии» определяет сферу применения языков малочисленных народов. Он повторяет положение конституции КНР о правах малых народов на свой национальный язык, устанавливает правило, согласно которому «народный суд и народная прокуратура района национальной автономии должны расследовать и вести дела на общеупотребительном языке данного региона, по возможности принимая на работу сотрудников, владеющих языками малых народов данного региона». Статья 49 затрагивает вопрос об обучении кадров национальным языкам: «Органы местного самоуправления национальных районных автономий поощряют изучение языков Китая представителями различных национальностей. Этнические ханьцы должны изучать языки малых народов региона. В свою очередь, представители малых народов, наряду с использованием национального языка и письменности, обязаны изучать общеупотребительное наречие «путунхуа» и стандартизированное иероглифическое письмо» [17].

В соответствии с принципом «Одна страна – две системы» кантонский диалект остается де-факто официальным разговорным языком в Макао. Однако в последнее десятилетие образовательный сектор региона стал испытывать все большее влияние Пекина на пропаганду стандартного китайского языка. В Макао проблема достигла апогея в 2017 году, когда Леонг Лай, тогдашний директор Бюро по образованию и делам молодежи (DSEJ), объявил на университетском мероприятии, что бюро планирует и дальше продвигать использование «путунхуа» в качестве основы для преподавания китайского языка в местных средних и начальных школах. Во время своего выступления Лай сказала, что обучение стандартному китайскому языку «очень важно для полной реализации принципа «Одна страна – две системы» в Макао», и сообщила, что по состоянию на 2017 год 24% уроков китайского языка в начальных и средних школах преподавались на стандартном китайском.

По мнению исследователей, решение DSEJ скорее соответствует ожиданиям центрального правительства, а не рассматривает реальную проблему эффективного средства обучения в многокультурном, многоязычном регионе. «Все дело в борьбе за единый язык [в Макао]. Преимущество стандартного китайского языка заключается в том, что центральное правительство признает его национальным языком, который объединяет этническую идентичность людей» – заяфиксировал лингвист Тонг Чой Лан. В письменном ответе на запрос газеты «Масао News» DSEJ подчеркнула, что она придает одинаковое значение как «путунхуа», так и кантонскому диалекту и поддерживает местные школы в развитии более высокого уровня владения кантонским своих учеников». DSEJ также разъясняет, что он не обязывает местные школы преподавать китайский язык [или] какие-либо другие предметы на «путунхуа» и не имеет плана продвижения «путунхуа» в качестве учебного предмета школьных программ [15].

Считается, что многоязычие является следствием влияния общественных сил, экономики, религии и языков, распространяющихся от одного языкового сообщества к другому. Аналогичным образом,

развитие многоязычия в Макао является следствием социальных, экономических и религиозных изменений. Маркировка языка в Макао – это, прежде всего, политическое решение, связанное с концепцией «Одна страна – две системы» и реализацией принципов, заложенных в Основной закон Специального административного района. Действительно, различные языки, которым присваивается различный социально-политический статус, являются результатом политических наименований и навешивания ярлыков. В более широком смысле, пользователи различных языков подразделяются на различные социальные категории и наделяются определенными статусами для своих соответствующих категорий. Многоязычие и интерактивное влияние китайского, португальского и английского языков Макао в отношении языковых стилей и лингвистических особенностей широко изучаются наряду с развитием различных языков и переводческой политики в Макао [15].

Очевидно, что в Макао существует тесная связь между многоязычием, языковой политикой и политикой перевода. Макао обладает экономическим преимуществом, поскольку его языковое разнообразие способствует налаживанию торговых отношений. Исследователи отмечают, что Макао может служить мостом для международных коммуникаций между Китаем и остальным миром благодаря своему многоязычному преимуществу. Регион имеет перспективу стать перекрестком между восточной и западной культурами, мостом между Китаем и португалоязычными странами и регионами благодаря своим уникальным географическим и историческим условиям. Китайская Народная Республика, заинтересованная в развитии рынков и эксплуатации природных ресурсов в португалоязычной Африке (Мозамбик, Ангола, Кабо-Верде) и Бразилии, теперь рассматривает Макао как ценный инструмент для развития контактов с этими территориями [16]. Таким образом, по мере изменения геополитической ситуации Макао вновь оказался в интересном положении.

Макао как специальный административный район Китайской Народной Республики является одним из важнейших региональных центров Восточной Азии, хотя по своему экономическому значению существенно уступает Гонконгу. В то же время Макао, как и Гонконг, является своего рода точкой контакта континентального Китая и внешнего мира, через который проходят как экономические, так и культурные связи со многими странами и регионами. Макао стремится позиционировать себя как самостоятельного участника международной деятельности, что вполне соответствует юридическим нормам, заложенным в Основной закон Специального административного района, но особенностями его международной активности является ее ограниченность, что связано, прежде всего, с тем, что Макао является не суверенным государством, а автономной единицей, хотя и обладающей очень широкими полномочиями. Для такой автономной единицы связями на «равном» уровне являются отношения не с суверенными государствами, а с регионами, прежде всего самоуправляемыми; только одно государство имеет с Макао отношения на государственном уровне – это Португалия, что обусловлено исторической традицией и отсутствием в составе Португалии автономных единиц, интересующихся развитием отношений с Макао. В то же время Макао активно стремится диверсифицировать свою международную экономическую и культурную активность, формируя и развивая контакты с регионами Испании (прежде всего Каталонией и Галисией), федеральными землями Португалии, отдельными регионами Италии, Германии, Австрии. Тем не менее одной из задач международной деятельности Макао является диверсификация и расширение этой деятельности, в том числе и на европейском направлении. Можно предполагать, что в обозримом будущем Макао сохранит свои исторически сложившиеся особенности, и положение в Специальном административном районе, даже после формального прекращения специального статуса в 2049 году, сохранится в соответствии с принципом «Одна страна – две системы».

Список литературы

1. Вик Г., Паннел К., Шэнь С., Хуан Ю. География Китая: Глобализация и динамика политических, экономических и социальных изменений в Поднебесной. Санкт-Петербург: Библиороссика, 2024. 726 с.
2. Григорьева О.И. К вопросу о существовании лузокреольского языка в Макао. Минск: БГУ, 2020. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/258270/1/61-64.pdf> (accessed 29.04.2023).
3. Гудошников Л. М. Аомынь накануне воссоединения с Китаем (политико-юридические вопросы) // Проблемы Дальнего Востока. 1999. № 1. С. 50-57.
4. Гутин И.Ю. Сопоставление принципа «один язык — две письменности» в материковом Китае с принципами «две письменности — три языка» в Гонконге и «три письменности — четыре языка» в Макао // Наука России. 2018. № 10. С. 44 – 47. doi: 10.18411/sr-10-10-2018-11.
5. Гутин И.Ю. Макао: в поисках постколониальной идентичности // Азия и Африка сегодня. 2021. № 4. С. 54–58. DOI: 10.31857/S032150750014656-3.
6. Доклад о проделанной работе Государственного совета за прошедшие годы // Экономика Китая. 2012. № 3. (资料:历年国务院政府工作报告// 中国经济网. URL: http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201203/06/t20120306_23133647.shtml (accessed 11.11.2024)
7. Дэн Сяопин. Избранное. Т. 3 (1982 – 1992). Пекин: Издательство литературы на иностранных языках, 1994. 538 с.
8. Завьялова О.И. Языковое разнообразие Китая и безопасность страны // Проблемы Дальнего Востока. 2021. № 4. С. 168 – 176. DOI: 10.31857/S013128120016163-0
9. Кокарев К.А. Эволюция политических режимов в Китае в период реформ: 1976-2002 гг. — М.: Институт Дальнего Востока РАН, 2005. 731 с.

10. Нестеров А.Г. Специальный административный район КНР Аомэнь (Макао): особенности внешнеэкономической деятельности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 11А. С. 322-332. DOI: 10.34670/AR.2024.33.31.035.

11. Си Цзиньпин представляет речь в праздновании 15-летия включения в качестве специального административного района в состав КНР // Народ. 2014. (习近平在庆祝澳门回归祖国15周年大会上发表重要讲话 // 人民网. URL: <http://hm.people.com.cn/n/2014/1220/c42272-26244408.html>) (accessed 12.11.2024).

12. Ху Цзиньтао: обогащение практики «Одна страна—две системы», способствующей единству Китая // Новости Китая. 2012. 8 ноября. (胡锦涛: 丰富“一国两制”实践 推进祖国统一// 中新网. URL: <http://www.chinanews.com/gn/2012/11-08/4312273.shtml> (accessed 12.11.2024)

13. Ян Сяоцзюнь. Правление и хаос в Гонконге: Политическое видение 2047 года. Пекин : Жэньминь чубаньшэ, 2019. 220 с. (阎小骏。香港治与乱: 2047的政治想象。北京: 人民出版社, 2019. 220 页., Yang Xiaojun. Xiānggǎng zhì yǔ luàn: 2047 de zhèngzhì xiǎng xiàng / Yang Xiaojun. Beijing: Renmin chubanshe, 2019. 220 p.)

14. Цзян Цзэминь рассказал о проблеме Макао (江泽民谈澳门问题 // 央视网.). URL: <http://news.cntv.cn/china/20111222/117703.shtml> (accessed 12.11.2024)

15. Lai C. Is Cantonese losing its mainstream status in Macao? // The Macao News, 2021. – URL: <https://macaonews.org/features/is-cantonese-losing-its-mainstream-status-in-macao/> (accessed 29.04.2023)

16. Lam F.I., Wai In Ieong. Translanguaging and Multilingual Society of Macau: Past, Present and Future // Asian-Pacific Journal of Second and Foreign Language Education, 2022. – URL: <https://sfleducation.springeropen.com/articles/10.1186/s40862-022-00169-y#:~:text=Many%20foreign%20languages%20and%20cultures,sovereignty%20over%20Macao%20in%201999> (accessed 29.04.2023)

17. Law of the People's Republic of China on Regional National Autonomy // China.org.cn. – URL: <https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/ELECTRONIC/35194/124676/F2146249224/CHN35194%20ChnEng.pdf> (accessed 25.05.2023)

18. Lei Básica da Região Administrativa Especial de Macau da República Popular da China // O Governo da Região Administrativa Especial de Macau. URL: <https://bo.io.gov.mo/bo/i/1999/leibasica/index.asp#c4> (accessed 02.05.2025)

19. One Country, Two Systems, Three Legal Orders - Perspectives of Evolution: Essays on Macau's Autonomy after the Resumption of Sovereignty by China / Jorge Oliveira (Editor), Paulo Cardinal (Editor). Berlin: Macao Foundation, 2009. 843 p.

© Нестеров А.Г.

РАЗДЕЛ II. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

DOI 10.46916/09092025-6-978-5-00215-466-1

Глава 6. КОММУНИКАЦИОННО-ПОТОКОВЫЕ ЗАДАЧИ В ПОСТРОЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ: СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ

Гулай Анатолий Владимирович

к.т.н., доцент

Богданова Елена Андреевна

Белорусский национальный технический университет

Аннотация: Выполнен анализ проблемы использования комплекса коммуникационно-потокowych задач в технологии создания мультиагентных интеллектуальных систем. Показано, что коммуникационным ядром мультиагентной системы является опорная сеть, к которой через шлюзы и мосты подключаются отдельные агенты и специализированные системные сегменты. Указанные сегменты сети в свою очередь формируются в виде автономных систем – сетевых структур, самостоятельно реализующих единый процесс маршрутизации циркулирующих данных. Рассмотрена группа коммуникационно-потокowych задач, решение которых необходимо для выбора конфигурации сети и разработки маршрутов сетевой передачи материального потока. К этой группе относятся задачи построения остовных деревьев, полных контуров и циклов минимального веса, а также создания минимального двухполюсного маршрута между одной требуемой парой узлов и минимальных многополюсных маршрутов между всеми парами узлов сети. Проанализированы задачи, обеспечивающие расчеты величин ожидаемых сетевых потоков и выбор значений пропускной способности каналов и узлов сети исходя из условий соблюдения материального баланса. Данная группа включает решение транспортной задачи, построение портрета потоков сети и

выбор пропускной способности каналов и узлов, а также оценку максимального двухполюсного потока между одной парой требуемых узлов и максимальных многополюсных потоков между всеми парами узлов. Указана группа коммуникационно-поточковых задач, определяющих условия сохранения связности сети при потере работоспособности отдельными узлами и каналами. Такими условиями являются сохранение минимального количества узлов, а также дуг и ребер, нарушение работоспособности которых приводит к разрыву сети.

Ключевые слова: коммуникационно-поточковая задача, опорная сеть системы, маршрут сетевой передачи, пропускная способность канала, нарушение связности сети.

COMMUNICATION AND FLOW TASKS IN BUILDING MULTI-AGENT SYSTEMS: NETWORK ANALYSIS

**Gulay Anatoly Vladimirovich
Bogdanova Elena Andreevna**

Abstract: The analysis of the problem of using a set of communication and flow tasks in the technology of creating multi-agent intelligent systems is performed. It is shown that the communication core of a multi-agent system is a backbone network to which individual agents and specialized system segments are connected via gateways and bridges. These network segments, in turn, are formed as autonomous systems – network structures that independently implement a single routing process of circulating data. A group of communication and flow tasks is considered, the solution of which is necessary for selecting the network configuration and developing routes for the network transmission of material flow. This group includes tasks such as constructing spanning trees, complete circuits, and minimum-weight cycles, as well as creating the minimal bipolar route between a required pair of nodes and minimal multipolar routes between all pairs of nodes in the network. Tasks ensuring the calculation of expected network flows and the selection of bandwidth values for network channels and nodes based on

material balance conditions are analyzed. This group includes solving the transport problem, constructing a network flow portrait, selecting bandwidth for channels and nodes, as well as evaluating the maximum bipolar flow between a required pair of nodes and the maximum multipolar flows between all pairs of nodes. A group of communication and flow tasks is identified that determine the conditions for maintaining network connectivity in case of failure of individual nodes and channels. These conditions include preserving a minimum number of nodes, as well as arcs and edges, whose malfunction would lead to network disconnection.

Key words: communication and flow task, system backbone network, network transmission route, channel bandwidth, network connectivity disruption.

Введение

Поступательное развитие интеллектуальных систем технического назначения привело к созданию эффективных технологий распределенного, мультиагентного управления [1]. Мультиагентные интеллектуальные образования включают в свой состав реальные или виртуальные функциональные компоненты, которые в общем случае представляют собой сущности той или иной природы, целенаправленно действующие в определенной среде интеллектуальной системы в соответствии с установленными правилами переработки вещества, энергии, информации и методами системной взаимосвязи [2]. Каждый функциональный агент в системе имеет как общие, так и индивидуальные свойства, но все агенты в границах тематически ориентированного сегмента системы ведут себя совместно для достижения общего результата [3].

Значительный научный интерес представляет анализ проблемы использования комплекса коммуникационно-поточковых задач в технологии создания мультиагентных интеллектуальных систем. Понятие коммуникации определяет путь сообщения между некоторыми объектами, канал их взаимодействия и передачи вещества, энергии и информации. Коммуникационные технологии – это совокупность знаний

о средствах и способах коммуникаций, а также последовательность операций по обеспечению коммуникационного взаимодействия объектов. Для реализации коммуникационных задач используются системы технического назначения со специальным набором интегративных свойств, которые ориентированы на обеспечение передачи материального продукта по маршрутам взаимодействия объектов–источников и объектов–потребителей. Несмотря на разнообразие практических приложений и различные технические воплощения, коммуникационные технологии обладают одним общим признаком – их основу составляют сети узловых объектов (или узлов), соединенных каналами взаимодействия.

К транспортным узлам относятся, например, автомагистральные и железнодорожные технические объекты, почтовые учреждения, порты воздушного и водного сообщения, телефонные станции, центры передачи и коммутации данных. В качестве управленческих узлов рассматриваются компьютеризированные ситуационные центры, диспетчерские пункты, специализированные стационарные и перемещаемые аппаратные узлы контроля и управления. Примерами каналов взаимодействия могут служить автомагистрали, железные дороги, трубопроводы, линии электропередачи, линии передачи информации, радиоканалы и иные средства транспортирования вещества, энергии и информации.

1. Принципы построения опорных сетей связи для мультиагентных систем

1.1. Опорные сети мультиагентных систем: протоколы управления. Коммуникационным ядром мультиагентной системы является опорная сеть, к которой через шлюзы и мосты подключаются отдельные агенты и специализированные системные сегменты. Специализированные системные сегменты в свою очередь формируются в виде автономных систем (*AS – Autonomous System*) – сетевых структур, самостоятельно управляемых группами администраторов и реализующих единый метод маршрутизации циркулирующих данных. Обобщенная схема автономной системы представлена на рис. 1. Опорная

сеть автономного сегмента может входить в более крупные технические образования. Автономная система состоит из маршрутизаторов (шлюзов), проводных и радиоканалов, а также из управляющих и исполнительных агентов; дополнительно в ее составе могут использоваться коммутаторы. При необходимости в состав оборудования автономной системы дополнительно включаются сетевые серверы для оперативного решения коммуникационно-поточковых задач.

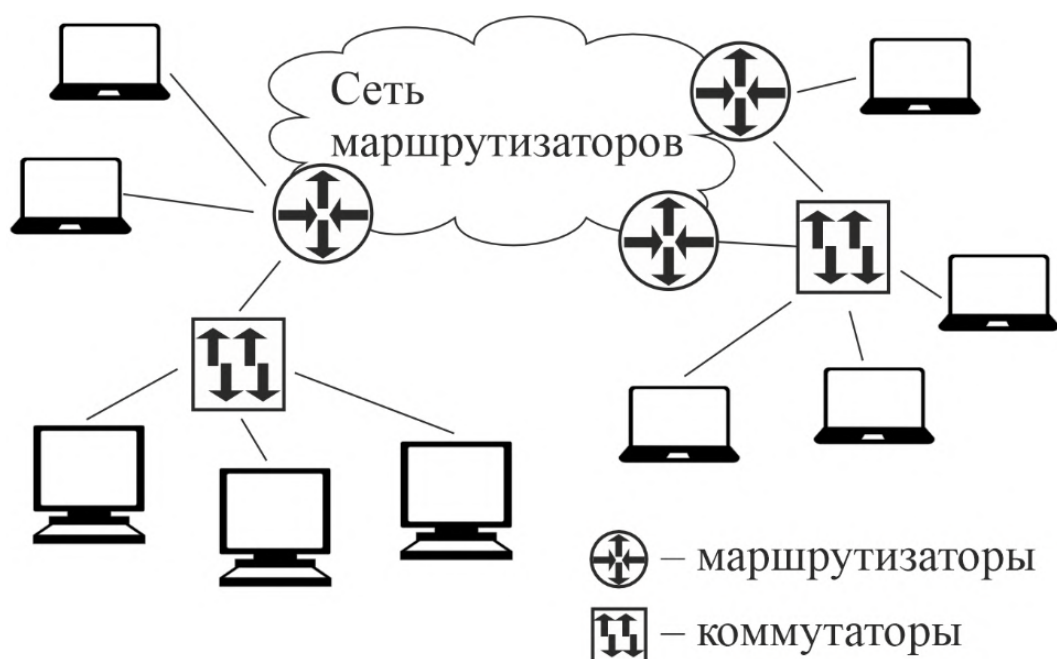


**Рис. 1. Обобщенная схема подключения оборудования
к опорной сети автономной системы**

Маршрутизаторы, коммутаторы и серверы относятся к интеллектуальным компонентам опорной сети. Для управления процессами коммуникации в опорной сети используется программная реализация протокола внутреннего шлюза – IGP (*Interior Geteway Protocol*). Обобщенная схема соединения специализированных сегментов автономных систем различного назначения через опорную сеть приведена на рис. 2. Для обеспечения динамической маршрутизации межсетевые маршрутизаторы оснащаются программной реализацией протокола внешнего шлюза – BGP (*Border Geteway Protocol*).

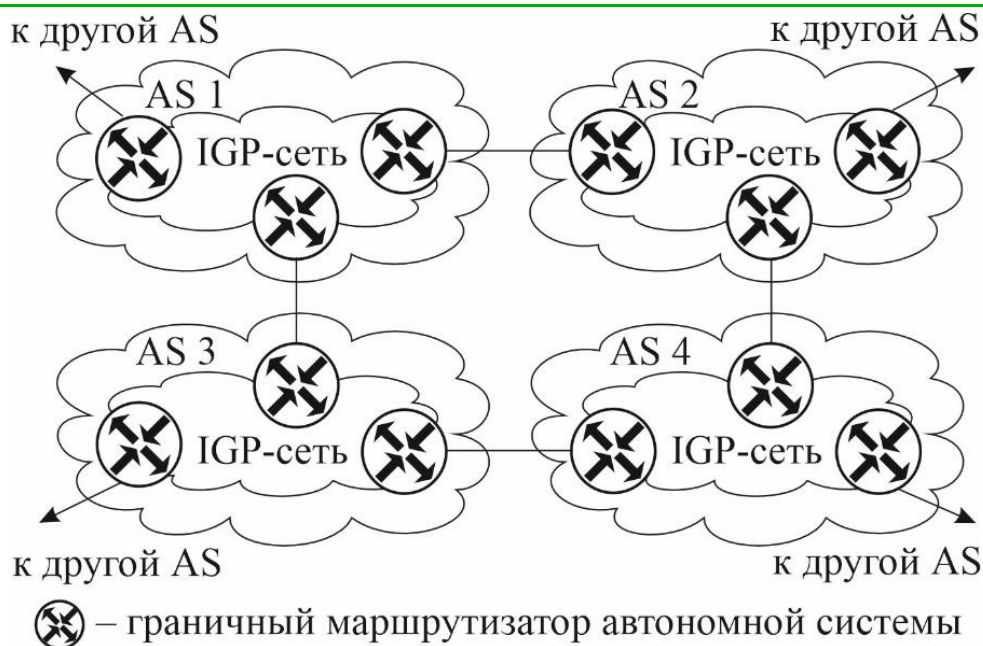


Рис. 2. Обобщенная схема соединения специализированных сегментов автономных систем через опорную сеть

Известно, что стационарные и мобильные опорные сети связи являются сложными и крайне дорогостоящими техническими образованиями. Их масштабы, топология, системотехнические решения, принципы построения и непосредственного применения зависят от множества факторов, среди которых главными являются режимы реального функционирования средств управления, географическое положение, рельеф территории, уровень развития информационных технологий и состояние экономики. Указанные факторы определяют многообразие известных технических решений по построению топологии опорных сетей связи для обеспечения функционирования мультиагентных систем.

Для обеспечения управления в случае возникновения чрезвычайных ситуаций (аварий, катастроф, стихийных бедствий) стационарные сети расширяются за счет мобильных составляющих с одновременным формированием обновленной адресной документации. Развертыванию опорных сетей, как правило, предшествует этап планирования адресного пространства и решение так называемых топологических задач.

При построении информационных связей между автономными системами, а также информационных связей между агентами внутри автономной системы предусматриваются рабочие и резервные каналы, образованные средствами различной физической природы. Минимальное количество каналов на одну связь может составлять для направления связи I категории важности – 3 или 4 канала, для направления связи II категории важности – 3 или 2 канала, для направления связи III категории важности – 2 или 1 канал.

Следует отметить, что практически повсеместно используется цифровой вид представления всех видов информации, который создает предпосылки к формированию однородного цифрового трафика и к применению в каналообразующих блоках радиосредств и средств кабельной связи высокоэффективных методов многопозиционной фазовой модуляции (M-PSK) и многопозиционной квадратурной амплитудной модуляции (M-QAM). За счет этого увеличивается пропускная способность и помехоустойчивость каналов. Цифровая обработка сигналов одновременно позволяет реализовать принцип программной псевдослучайной перестройки рабочих частот в радиоканалах.

Использование принципов цифрового каналообразования, логической коммутации каналов и их статического и динамического закрепления за определенными потребителями, применение радиорелейных и кабельных линий связи при построении опорной сети и ее отдельных сегментов имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- системы связи этого типа достаточно просты в организационно-техническом плане при их освоении и эксплуатации, а также в должной степени устойчивы и надежны при использовании;
- практическое применение развернутых систем показывает, что они способны обеспечивать достаточную своевременность и достоверность передаваемой информации;
- требования по пропускной способности могут удовлетворяться путем организации на направлениях связи необходимого количества линий и каналов с возможностью создания обходных направлений, а

также путем применения многоканальных средств связи, повышения эффективности использования каналов, линий связи и каналообразующих средств;

- существуют отработанные и апробированные методики построения частотных планов радиорелейных систем, их развертывания и установления связей;

- системы обладают свойствами доступности, контролируемости и управляемости, а также допускают эволюционное развитие путем их реконфигурирования и практически автономного наращивания периферийных участков линий связи.

Следует отметить, что внедрение методологии цифровой связи не предполагает отказ от дальнейшего практического применения технологий образования аналоговых каналов радиорелейных и кабельных линий связи.

1.2. Принципы маршрутизации сообщений. Маршрутизация – это поиск маршрута доставки информации от агента–отправителя к агенту–получателю через транзитные узлы системы с учетом маршрутной метрики, которая является характеристикой маршрута. Ее выбор зависит от назначения рационального маршрута и может отражать длину пути (количество шагов для достижения получателя), надежность, задержку доставки информации, пропускную способность, загрузку, стоимость передачи трафика, географические координаты. Маршрутизация обеспечивается с помощью идентификаторов узлов сети (в частности, на основе сетевых адресов) в соответствии со спецификациями внутренних и внешних протоколов информационно-технической совместимости различных составных частей систем.

Различают статический и динамический вид маршрутизации. Ее основу составляют таблицы маршрутизации, размещаемые в маршрутизаторах сетей. Статическая маршрутизация означает, что указанные таблицы для маршрутизаторов готовятся заранее, отражают конфигурацию сетей и остаются неизменными в течение времени непосредственного использования системы. В таблицах маршрутизации выделяются и отмечаются администратором сети рациональные

(оптимальные) по выбранным метрикам, запасные и обходные маршруты. Для этого на сетевых серверах реализуется решение маршрутно-топологических задач. Если сеть содержит большое количество агентов и маршрутизаторов, то для обслуживания таблиц необходима разработка программных средств, например, для корректировки их по предписаниям администратора сети. При динамической маршрутизации таблицы автоматически обновляются программными средствами маршрутизаторов, которые непрерывно получают информацию, рассылаемую путем оповещения другими маршрутизаторами. Это является достоинством динамического вида маршрутизации, хотя для автоматического ведения таблиц требуются дополнительные затраты системного времени.

1.3. Протоколы внутреннего шлюза типа RIP (*Routing Information Protocol – протокол динамического управления маршрутной информацией*). Этот тип протоколов реализует дистанционно-векторные механизмы управления информационными потоками. Работа протоколов типа RIP строится по следующей укрупненной схеме.

В исходном состоянии на каждом маршрутизаторе внутренней опорной сети с помощью программных средств генерируется минимальная таблица маршрутизации, в которой учитываются только маршрутизаторы, непосредственно подключенные к рассматриваемому. Минимальная таблица содержит информацию, которая состоит из сетевого адреса рассматриваемого маршрутизатора, сетевых адресов соседних маршрутизаторов и метрик–характеристик их расстояний от передающего маршрутизатора. После создания своей минимальной таблицы маршрутизатор начинает ее рассылку соседним маршрутизаторам в виде сообщений протокола RIP.

Каждый маршрутизатор после получения очередного сообщения от соседнего маршрутизатора оценивает новизну сведений по своей текущей таблице, соответствующим образом корректирует таблицу, необходимые поля метрик и запоминает порт, через который получена информация. В обновленной таблице аккумулируется информация не

только о сетях, к которым маршрутизатор подключен напрямую, но и об удаленных сетях, о которых он получил сведения от соседних маршрутизаторов. Маршрутизатор повторно отправляет обновленную и сконфигурированную таблицу всем своим соседям. После получения обновленных и сконфигурированных таблиц от всех соседей маршрутизатор оценивает их новизну и при необходимости вновь корректирует таблицу. Таким образом, последовательно происходит конфигурирование сети.

К новым маршрутам RIP-маршрутизаторы приспособляются достаточно просто – они передают новую информацию в очередном сообщении своим соседям и постепенно эта информация становится известна всем маршрутизаторам сети. В рассматриваемом случае существует проблема с потерей какого-либо маршрута: для уведомления о том, что данный маршрут недействителен, используется механизм контроля окончания времени жизни маршрута.

Рассматриваемый протокол имеет следующую особенность: на установление таблицы во всех маршрутизаторах требуется определенное системное время, которое для крупных сетей может достигать недопустимых значений, что создает препятствие для практического использования протокола этого типа.

1.4. Протоколы внутреннего шлюза типа OSPF (*Open Shortest Path First*) для динамической маршрутизации. Он основан на технологии отслеживания состояний каналов (*link-state technology*) и использует нахождение кратчайшего пути в смысле применяемых метрик по алгоритму Дейкстры.

Работа протоколов типа OSPF строится по следующему укрупненному алгоритму:

- маршрутизаторы производят взаимный обмен малыми блоками информации категории «Hello»; блоки отправляются с установленной периодичностью;
- маршрутизаторы производят сбор состояний своих связей с соседями (так называемых линков); линки включают в свой состав сетевой адрес самого маршрутизатора и сетевой адрес соседнего

маршрутизатора, сеть и префикс, тип сети и метрику (характеристику связи); после сбора состояний маршрутизатор формирует информационный блок категории LSA (*Link State Advertisement*);

- информационный блок LSA рассылается каждому соседнему маршрутизатору, который в свою очередь передает пакет дальше по сети; после получения пакета LSA каждый маршрутизатор добавляет содержащуюся в нем информацию в локальную таблицу LSDB (*Link State Database*), в которой накапливаются данные обо всех связях пар маршрутизаторов в пределах сети;

- на основе накопленных данных выстраивается полная карта сети, которая включает все действующие маршрутизаторы и образованные между ними связи;

- используя указанную карту, каждый маршрутизатор выполняет поиск самых рациональных (оптимальных) по метрикам маршрутов во всей сети и формирует из них таблицу маршрутизации.

В случае разрыва связи с соседом у одного из маршрутизаторов, он отправляет по сети новые блоки LSA, при этом повторяется вся процедура формирования таблицы маршрутизации. Чтобы исключить постоянный пересчет в крупных сетях с большим количеством маршрутизаторов, в них применяют разделение на зоны. В каждой из них выполняются автономные вычисления с передачей между зонами только итогового результата. В любой конфигурации OSPF имеется корневая зона с индексом 0 («ноль»). Малые сети обычно помещаются в пределах нулевой зоны, а для больших сетей требуется формирование дополнительных зон.

Открытый протокол маршрутизации не устанавливает отдельных требований к расчету метрики и оценки маршрутов. Его стандарт определяет стоимость каждой связи между парой узлов в смысле применяемых метрик. В случае прохождения маршрута через ряд узлов стоимости связей между парами узлов суммируется. Оптимальным признается маршрут с наименьшей или наибольшей стоимостью. При этом принципы подсчета стоимости маршрута зависят от назначения конкретной сети и принципов ее оптимизации.

Учитывая ресурсоемкий и сложный принцип работы протоколов типа OSPF, от вычислительных средств каждого маршрутизатора требуется достаточно высокая производительность и значительный объем оперативной памяти.

1.5. Протоколы внешнего или граничного шлюза типа BGP (*Border Gateway Protocol*) – протоколы динамической маршрутизации между автономными системами. Протокол внешнего (пограничного) шлюза определяет набор правил, определяющих наилучшие сетевые маршруты для передачи данных между автономными системами. Реальная система может состоять из множества автономных систем, связанных между собой системными протоколами. Задача BGP-маршрутизатора состоит в том, чтобы анализировать все доступные пути, по которым могут проходить данные, и выбирать наилучший маршрут в смысле используемой метрики. Протоколы типа BGP представляют собой одну из основных групп протоколов межсетевой динамической маршрутизации.

Поскольку данные передаются от агентов–источников к местам назначения, каждая промежуточная автономная система должна решить, куда отправить следующий блок данных. Это решение основывается на нескольких факторах, таких как межузловые расстояния, географическое положение и особенности территории, типы каналов связи, загрузка сети и стоимость передачи информации. Маршрутизация BGP учитывает эти факторы и помогает выделить наилучшую автономную систему для доставки информационных блоков потребителю.

В процессе функционирования BGP-маршрутизатор обеспечивает сбор информации о маршрутах и сохраняет ее в виде таблицы маршрутизации. BGP-маршрутизаторы используют сохраненную информацию для маршрутизации трафика. Каждая автономная система, согласно протоколу, постоянно обновляет информацию о новых и устаревших маршрутах, а программные механизмы протокола BGP обеспечивают обнаружение таких изменений и их фиксацию в таблице маршрутизации.

Протокол BGP поддерживает безопасность при управлении сетью. Он обеспечивает аутентификацию сообщений между маршрутизаторами с помощью предварительно настроенных паролей. Администраторы могут проверять сообщения BGP, поступающие из официальных автономных систем, и отфильтровывать несанкционированный трафик.

Протокол BGP функционирует с использованием механизма, называемого *пингом*. Администраторы назначают определенные маршрутизаторы в качестве одноранговых маршрутизаторов BGP, которые рассматриваются как устройства, расположенные на границе автономной системы. Одноранговые BGP-маршрутизаторы обмениваются информацией о маршрутизации с соседними одноранговыми узлами. После обмена информацией каждый BGP-маршрутизатор может построить вокруг себя схему сетевого окружения. На BGP-маршрутизаторы могут возлагаться функции рефлекторов и за счет этого достигается уменьшение количества соединений во внутренних протоколах. Такой BGP-маршрутизатор может выступать в роли центрального хаба, который соединяется с внутренним кластером маршрутизаторов. Это позволяет разделить сеть на несколько кластеров и рефлекторов. Только рефлекторы взаимодействуют с внешними маршрутизаторами протокола BGP, а также друг с другом.

1.6. Самоорганизующаяся опорная сеть MANET (*Mobile Ad-hoc network*). Под технологией самоорганизующейся опорной сети понимается мобильный беспроводной способ организации информационного взаимодействия агентов по спецификациям MANET с произвольным составом агентов, а также произвольной структурой и топологией. Эти свойства позволяют выделить MANET в отдельную категорию коммуникационных сетей.

Сети MANET начали активно развиваться с внедрением технологии Wi-Fi и получили достаточно широкое распространение в определенных проблемных областях. Эти сети не имеют постоянной топологии и формируются динамически путем объединения агентов (узлов) на определенной территории (в заданной области). Агенты (узлы) системы сети осуществляют беспроводное радиовзаимодействие, могут

осуществлять взаимные передвижения в процессе передачи, транзита и получения информации, а также покидать сеть или вступать в состав сети в произвольные моменты времени. В сети MANET не используются стационарные объекты и централизованное управление, динамически формируются маршруты передачи данных, изменяются маршрутные сведения при выходе из сети отдельных агентов (узлов) или появлении новых. В MANET-сетях каждая радиостанция агента (узла) является одновременно одноранговым источником, транзитным агентом или потребителем передаваемых данных. При этом данные передаются через такое количество транзитных агентов (узлов), какое необходимо для достижения требуемого потребителя. Важной особенностью рассматриваемых сетей является полная или частичная децентрализация управления и независимость работоспособности сети от отдельных агентов (узлов).

Основу работы самоорганизующихся сетей составляют протоколы динамической маршрутизации, а также средства широкополосной радиосвязи. Существует большое количество протоколов маршрутизации MANET, работа которых основана на различных метриках. Радиостанции, применяемые в самоорганизующихся опорных сетях, кроме собственных протоколов MANET поддерживают протоколы динамической маршрутизации стационарных сетей OSPF и IEGRP, что позволяет использовать их как точки доступа. При этом требуется, чтобы радиостанции широкополосной связи обладали возможностями маршрутизации и способностью к автономному решению коммуникационно-поточковых задач.

Протоколы маршрутизации сетей MANET функционируют на всех агентах (узлах), входящих в сеть. Для выбора оптимальных маршрутов используются различные метрики, которые могут включать такую информацию, как длина пути (количество шагов для достижения получателя), надежность, задержка, пропускная способность, загрузка, стоимость передачи трафика, географические координаты.

Наиболее распространенной метрикой является длина пути – это сумма длин каналов, через которые пролегает путь от источника к

адресату, или количество промежуточных устройств на пути передачи пакета. Под метрикой надежности обычно подразумевается доля потерь пакетов в каждом из каналов маршрута. Любые факторы надежности могут учитываться при получении численного значения данной метрики. Метрика задержки характеризует время, необходимое для доставки пакета от получателя к адресату. Задержка зависит от многих факторов, включая пропускную способность каналов, очереди в портах устройств на пути пакета, загрузки во всех промежуточных каналах, а также физическое расстояние, которое нужно преодолеть. Поскольку задержка характеризует множество факторов, данная метрика является весьма распространенной.

Пропускная способность также часто используется как критерий выбора пути. Под ней подразумевается объем данных, который может быть передан по сети в единицу времени. Метрика, связанная с пропускной способностью – это загрузка, которая отражает степень занятости сетевых ресурсов. Данный параметр можно вычислить разными способами, включая загрузку процессора и число обрабатываемых или передаваемых пакетов. Следует отметить, что постоянный анализ этих показателей может потребовать значительных ресурсов сетевого оборудования.

Обмен сообщениями маршрутизации, содержащими определенные метрики, может осуществляться в реактивном, проактивном или гибридном (сочетание реактивного и проактивного) режиме.

При реактивном режиме построение таблиц маршрутизации в агентах (узлах) сети MANET происходит непосредственно по запросу потребителя на передачу данных. Такой подход позволяет существенно сократить количество служебных сообщений и снизить нагрузку протокола маршрутизации на пропускные способности сети. Вместе с тем в данном случае возникает задержка между моментом поступления данных на передачу и началом отправления данных, вызванная поиском маршрута. При проактивном режиме обновление таблиц маршрутизации носит регулярный характер и не зависит от наличия потребительских данных для передачи. На каждом узле хранятся все маршруты,

связывающие отдельные агенты (узлы) сети. При необходимости передачи соответствующий маршрут извлекается из таблицы маршрутизации и используется для отправки данных. Гибридный режим сочетает возможности реактивного и проактивного режимов обмена сообщениями маршрутизации в сети.

1.7. **MANET – протоколы типа AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*)** относятся к семейству реактивных протоколов маршрутизации сетей MANET и осуществляют определение сетевых маршрутов по требованию. Как и в большинстве реактивных протоколов, выполняется цикл определения маршрутов с использованием широковещательного сетевого поиска и индивидуальных ответов, содержащих запрошенный маршрут. Протокол AODV использует индивидуальные числовые идентификаторы узлов для предотвращения заикливания и гарантии выбора наиболее позднего маршрута. Узлы AODV содержат таблицы маршрутизации, записи которых хранят значения однопереходных маршрутов (от узла к узлу). Каждая запись таблицы маршрутизации содержит соответствующий параметр времени жизни записи. Если маршрут не используется в течение периода времени жизни, то маршрут становится недействительным. В то же время каждый раз, когда маршрут используется, время жизни обновляется.

Протокол динамической маршрутизации от источника DSR (*Dynamic Source Routing*) относится к группе реактивных протоколов маршрутизации. Одной из основных характеристик DSR является то, что он осуществляет маршрутизацию от источника. Информационные пакеты не передаются пошагово от узла к узлу, а вместо этого содержат строгие маршруты источника, которые определяют каждый узел, входящий в маршрут до узла назначения. Запрос маршрута и ответное сообщение содержат маршруты от источника, поэтому если маршрут был однажды найден, источник запоминает его и может поместить в последующие информационные пакеты.

Вместо создания таблицы маршрутизации для отслеживания информации о маршрутах DSR использует кэш маршрутов. Кэш

позволяет осуществлять ввод множества маршрутов к одному и том же узлу назначения, то есть поддерживает множественную маршрутизацию. В том случае, если один маршрут к узлу назначения разрывается, источник может использовать альтернативные маршруты из кэша.

1.8. MANET – протоколы типа OLSR (*Optimized Link State Routing protocol*) – протоколы оптимизированной маршрутизации по состоянию канала. Они представляют собой категорию самых распространенных проактивных протоколов MANET сетей. Поскольку OLSR является проактивным протоколом, он обладает малым временем определения маршрута при поступлении данных на передачу. Особенностью OLSR является использование эффективного метода передачи служебной информации, получившего название многоточечной ретрансляции.

Не менее распространенным является проактивный протокол DSDV (*Destination-Sequenced Distance Vector Routing*) – дистанционно-векторный протокол с упорядочиванием по назначению. Протокол DSDV использует последовательности номеров для каждого узла в целях устранения проблемы бесконечного счета, являющейся общей для всех дистанционно-векторных протоколов. Каждый узел увеличивает свою числовую последовательность, если изменяются связи с соседними узлами. При выборе между двумя путями к требуемому потребителю, узел всегда выбирает путь с наибольшей числовой последовательностью. Эта особенность позволяет использовать последнюю информацию о связности сети.

Поскольку DSDV является проактивным протоколом, каждый узел рассчитывает и хранит маршруты ко всем узлам сети. В определенные промежутки времени каждый узел передает соседям свою текущую числовую последовательность в рамках сообщения об обновлении таблицы маршрутов.

1.9. MANET – протоколы зонной маршрутизации типа ZRP (*Zone Routing Protocol*). Они включают реактивные и проактивные механизмы в одном протоколе. Вокруг каждого узла протокол ZRP определяет зону, радиус которой измеряется в количествах переходов.

Каждый узел использует проактивную маршрутизацию в рамках своей зоны и реактивную маршрутизацию вне этой зоны, поэтому данный узел знает идентификатор и маршрут к узлам всей зоны. Если узлу необходимо передать данные конкретному узлу–получателю, он проверяет свою таблицу маршрутизации на наличие соответствующего маршрута. Если узел–получатель находится в рамках зоны, в таблице маршрутизации имеется маршрут к этому узлу. Если узел–получатель не находится в зоне, узел осуществляет поиск требуемого маршрута.

Среди протоколов маршрутизации MANET выделяют геолокационные решения, которые используют в качестве метрики географические координаты узлов. Эти протоколы могут быть как реактивные, так и проактивные. Географические координаты включаются в сообщения маршрутизации в виде координат GPS, либо координат относительно заданной точки или заданной координатной системы. Использование информации о местоположении узлов предотвращает широковещательный поиск по всей сети, поскольку служебные пакеты или пакеты данных отправляются в основном направлении расположения узла адресата.

Одним из представителей семейства геолокационных протоколов является протокол маршрутизации по местоположению LAR (*Location-Aided Routing*). Данный протокол относится к реактивным решениям и использует географические координаты для передачи запросов в направлении последнего местоположения требуемого узла. LAR определяет две зоны: ожидаемую (прогнозируемую) зону и зону запроса. Ожидаемая зона – это зона, нахождение в которой требуемого узла крайне вероятно. Для расчета этой зоны узел–источник должен знать предыдущее расположение требуемого узла в момент времени t_0 , а также оценку скорости перемещения v . Если текущее время равно t_1 , ожидаемая зона может быть рассчитана как окружность радиусом $v(t_1 - t_0)$. Зона запроса – это зона, в которой передается запрос маршрута для требуемого узла. Для увеличения вероятности нахождения требуемого узла зона запроса определяется как наименьшая прямоугольная область, включающая в себя ожидаемую зону и узел–источник запроса.

1.10. Результаты анализа опорных сетей для мультиагентных систем. Опорные сети мультиагентных систем представляют собой совокупность аппаратуры стационарных или мобильных распределенных систем связи, которые используют Internet-протоколы, а также практически недокументированное монолитное стандартное программное обеспечение с закрытыми или с открытыми кодами. Использование таких технических решений в принципе может приводить к нарушению условий безопасности и скрытности информации. Для получения информационной независимости и повышения безопасности необходимо создание и исследование специальных моделей систем сетевого типа и алгоритмов решения коммуникационно-поточковых задач для их последующей программной реализации. Проблема может быть разрешена за счет построения собственных правил маршрутизации (хотя и совместимых по спецификациям с рассмотренными выше протоколами) и создания уникального документированного программного обеспечения внутренних шлюзов IGP и внешних шлюзов BGP.

2. Рациональные модели коммуникационных сетей: математический аппарат графов

2.1. Общая схема построения коммуникационной системы представлена на рис. 3. В коммуникационной системе выделяется транспортная сеть и сеть контроля и управления. Обычно сеть контроля и управления налагается на транспортную сеть, узлы и каналы указанных сетей территориально могут совпадать. Количество узлов и конфигурация каналов определяют сложность сетей. В развитых сетях количество узлов может достигать десятков тысяч, а количество и конфигурация каналов способны обеспечивать их всеобщее взаимодействие. Узлы коммуникационных сетей могут быть размещены на обширных территориях.

Направленные каналы в графах с помощью дуг отображают симплексные (однонаправленные) системные связи между узлами. Частным случаем сети общего типа является ориентированное прадерево. Ненаправленные каналы в графах с помощью ребер отображают дуплексные (двунаправленные) системные связи. Частным случаем сети общего типа является неориентированное ациклическое дерево.

Сетевой аппарат предполагает задание сети с помощью следующих множеств:

- множества узлов в виде вектора–строки

$$R = \{R_i\}, \quad \text{Card } R = n;$$

- множества каналов в виде вектора–строки

$$K = \{K_r\}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, m, \quad \text{Card } r = m;$$

- матрицы смежности (матрицы конфигурации межузловых связей)

$$\|C_{ij}\|, \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

При этом $C_{ij} = 0$, если связь между узлами R_i, R_j отсутствует или $C_{ij} = 1$ при наличии связи между узлами R_i, R_j в виде ребра. Для связи в виде дуги $C_{ij} = 1$, если дуга имеет направление $i \rightarrow j$. Для сети со строго дуплексными каналами и неориентированным графом имеет место соотношение

$$m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}.$$

В описаниях сетей могут применяться матрицы инциденций, которые более информативны, однако в отношении вычислительных алгоритмов менее технологичны.

Сети, имеющие одинаковый состав узлов, каналов и одинаковые матрицы межузловых связей, называются изоморфными. Закономерности, установленные для некоторой сети, могут быть распространены на изоморфные сети.

2.3. Последовательность каналов и узлов, связывающих узлы R_i, R_j , называют маршрутом M_{ij} . Каналы маршрута могут состоять либо только из ребер, либо только из дуг строго одной направленности, либо

из ребер и дуг строго одной направленности (для графов смешанного типа). Сеть считается связанной, если для любой пары узлов R_i, R_j существует хотя бы один маршрут. Увеличение количества маршрутов между узлами сети сопровождается позитивным явлением повышения устойчивости к возможным отказам сетевого оборудования. Для количественной характеристики применяется коэффициент связности сети:

$$\gamma = m(n - 1) - 1.$$

Если сеть отображается с помощью неориентированного графа, то матрица смежности симметрична относительно главной диагонали. В ориентированном графе или в графе смешанного типа этот эффект не наблюдается.

При анализе сетей с использованием графов различают статические и динамические маршруты. В развитых сетях предусматриваются алгоритмы учета работоспособности каналов и узлов, построение ряда статических маршрутных планов с основными и возможными запасными маршрутами, а также технологии выбора маршрутных планов в сеансах взаимодействия узлов. Если сеть в определенных пределах не критична к допустимым задержкам передачи материального продукта, то могут применяться алгоритмы оперативной ситуационной маршрутизации.

Каждый ненулевой элемент главной диагонали матрицы смежности соответствует приузловой петле независимо от ориентации сетевого графа. В ориентированной сети каждая нулевая строка матрицы смежности соответствует узлу – приемнику (тупиковому узлу). Для ориентированной сети каждый нулевой столбец матрицы смежности соответствует узлу – источнику (висячему узлу).

Замкнутый маршрут неориентированного графа называют циклом, а для ориентированного или смешанного графа – контуром. Полный цикл или контур проходит через все узлы основного графа.

Остовным деревом называют дерево, которое является подграфом основного графа сети и охватывает все его узлы. Конструкцию, состоящую из остовного дерева минимального веса и наложенного на

него полного контура минимального веса, называют опорной сетью. Опорная сеть задает начальную конфигурацию любой реальной коммуникационной системы, может дополняться и развиваться путем введения новых симплексных и дуплексных связей.

2.4. Под потоком обобщенного материального продукта F понимают количество единиц данного продукта, проходящего по каналам и узлам сети в единицу времени. Величина максимального потока обобщенного материального продукта C , который может быть переработан узлом или передан по каналу в реальных условиях эксплуатации, называют пропускной способностью узла или канала.

При осмысленном присвоении ненулевым элементам матрицы смежности некоторых весов межузловых связей матрица смежности превращается в матрицу обобщенных весов. Смысл весов определяется контекстом конкретной сетевой задачи и может соответствовать расстоянию, времени, величине материального потока, пропускной способности.

Если C_i – пропускная способность узлов, а C_{ij} – пропускная способность каналов, то условия материального баланса сети вытекают из того положения, что значения фактических материальных потоков во всех узлах и каналах не могут превосходить соответствующих величин пропускной способности:

$$\{F_i \leq C_i\}; \{F_{ij} \leq C_{ij}\}.$$

Если в узле сети его суммарный исходящий поток превышает величину суммарного входящего потока, то узел является активным источником: i_1, i_2, i_3 (рис. 5) Если в узле сети его суммарный исходящий поток оказывается ниже величины суммарного входящего потока, то узел является активным потребителем: i_9 . В любом пассивном узле сети, функционирующем в режиме ретрансляции, его суммарный входящий поток должен быть равен суммарному исходящему потоку. В рассматриваемой сети узлами – потребителями и узлами – ретрансляторами могут быть i_4, i_5, i_6, i_7, i_8 .

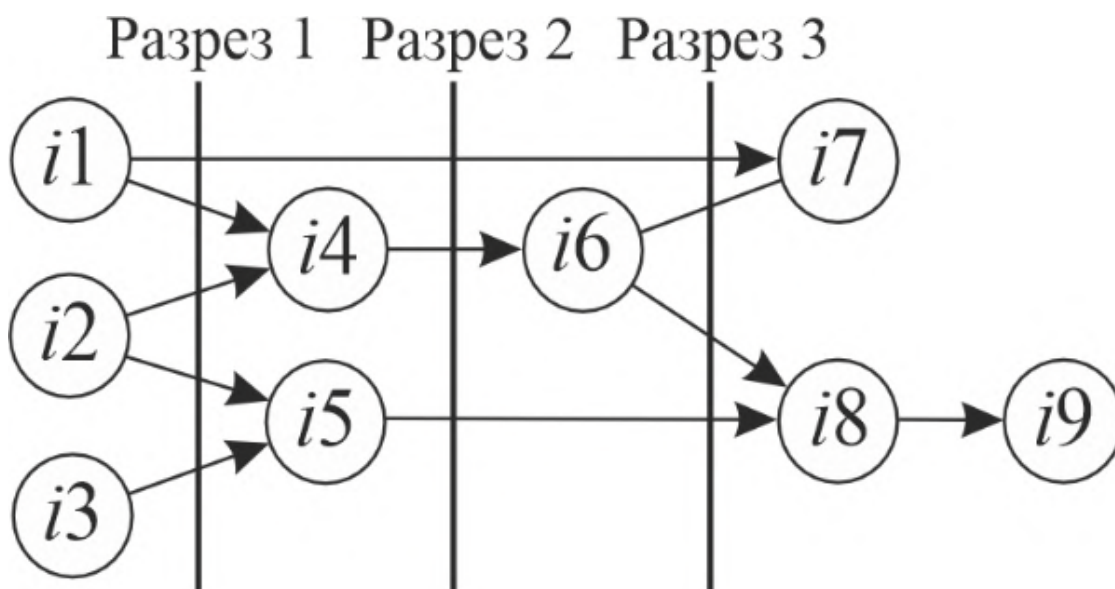


**Рис. 5. Узлы сети как источники, ретрансляторы
и потребители материального потока**

В сети вся совокупность источников может быть заменена одним гипотетическим узлом с суммарным потоком источников сети. Такой гипотетический узел называется главным и связывается гипотетическими симплексными каналами со всеми реальными узлами–источниками. В сети вся совокупность потребителей также может быть заменена одним гипотетическим узлом с суммарным потоком всех узлов сети. Такой гипотетический узел называется главным потребителем (стоком). Все реальные потребители сети связываются гипотетическими симплексными каналами с главным потребителем.

2.5. Разрез сети – это условная линия, проходящая через ребра и дуги сетевого графа и разбивающая множество узлов на непересекающиеся подмножества. Величина разреза VP определяется следующим образом:

- для неориентированного графа она равна сумме весов r ребер, через который разрез проходит;
- для ориентированного графа или графа смешанного типа она равна сумме весов r ребер, через который разрез проходит, причем эта

сумма дополнительно увеличивается на сумму весов d дуг, которые исходят из объектов области источников и замыкаются на объекты из области потребителей.

Для рассматриваемой сети:

$$VP_1 = d(i_1, i_4) + d(i_2, i_4) + d(i_2, i_5) + d(i_3, i_5);$$

$$VP_2 = r(i_4, i_6) + r(i_5, i_8);$$

$$VP_3 = r(i_5, i_8) + d(i_6, i_8),$$

если узлы i_1, i_2, i_3 – источники, а узел i_9 – потребитель;

$$VP_3 = r(i_5, i_8) + d(i_7, i_6),$$

если узел i_9 – источник, а узел i_4 – потребитель.

3. Группы коммуникационно-поточковых задач и схема связей между ними

3.1. В основе анализа коммуникационно-поточковых задач лежит теорема Форда–Фалкерсона: максимальная величина потока $F_{\max}(R_i, R_j)$ между узлом – источником R_i и узлом – потребителем R_j сети равна величине минимального разреза $US_{\min}(R_i, R_j)$, разделяющего эти узлы:

$$F_{\max}(R_i, R_j) = US_{\min}(R_i, R_j).$$

3.2. Основные коммуникационно-поточковые задачи, их взаимосвязь и взаимообусловленность.

Для построения и обеспечения эксплуатации коммуникационных систем возникает потребность в решении определенных коммуникационно-поточковых задач. Среди этих задач выделяются три основных группы: топологические задачи, поточковые задачи, а также задачи обеспечения работоспособности сети [4–8]. Схема связей между группами основных коммуникационно-поточковых задач представлена на рис. 6.



Рис. 6. Схема связей между группами основных коммуникационно-поточковых задач

Первая группа задач предназначена для формирования конфигурации сети и построения маршрутов сетевой передачи материального потока. К этой группе относятся:

- построение остовных деревьев минимального веса;
- построение полных контуров и циклов минимального веса;
- построение минимального двухполюсного маршрута между одной требуемой парой узлов;
- построение минимальных многополюсных маршрутов между всеми парами узлов.

Вторая группа задач обеспечивает расчеты величин ожидаемых сетевых потоков и выбор значений пропускной способности каналов и

узлов сети исходя из условий соблюдения материального баланса. Данная группа включает:

- решение транспортной задачи;
- построение портрета потоков сети и выбор пропускной способности каналов и узлов;
- оценку максимального двухполюсного потока между одной парой требуемых узлов;
- оценку максимальных многополюсных потоков между всеми парами узлов.

Третья группа задач определяет условия сохранения связности сети при потере работоспособности отдельными узлами и каналами. В эту группу входят следующие задачи:

- оценка минимального количества дуг и ребер, нарушение работоспособности которых приводит к разрыву сети;
- оценка минимального количества узлов, нарушение работоспособности которых также приводит к разрушению сети.

Логические связи между задачами устанавливаются в определенной последовательности. Поточковые задачи могут быть решены только при выбранной топологии сети и установленных маршрутах транспортировки сетевого продукта. Построение поточкового портрета сети и применение условий материального баланса позволяет обоснованно выбрать пропускную способность каналов и узлов. Потеря работоспособности узлами и каналами сети могут привести к разрывам маршрутов. Для рационального резервирования сетевого оборудования необходимо выявление условий возникновения возможных разрывов. Каждая задача предполагает применение в процессе решения исходных данных и определенных результатов решения других коммуникационно-поточковых задач.

Реальные сетевые потоки обобщенного продукта являются случайными. Обычно при решении коммуникационно-поточковых задач системными аналитиками принимаются допущения о стационарности потоков и использовании в решениях их осредненных параметров.

Получаемые решения чаще всего относятся к категории субоптимальных.

Решения задач выполняются с фиксацией текущих условий функционирования. Состояния работоспособности сетевых узлов и каналов, а также метеорологические условия, электромагнитная обстановка, радиационный фон и иные внешние факторы могут приводить к изменению работоспособности и фактического состава узлов и каналов, к падению пропускной способности, к изменениям интенсивностей потоков. Это требует реализации с помощью аппаратных и программных средств непрерывного мониторинга критических параметров среды функционирования системы.

Значительный интерес представляет анализ общей схемы решения коммуникационно-поточковых задач с использованием многошаговых процессов.

3.3. Коммуникационно-поточковые задачи относятся к категории оптимизационных задач с конечным дискретным множеством возможных решений и аддитивных критериев оптимальности. В большинстве случаев в составе исходных данных выделяются варьируемые параметры, которые имеют относительную самостоятельность и в некоторых пределах допускают свободное назначение или изменение. При решении задачи требуется найти такие значения параметров, при которых максимизируется или минимизируется заданная критериальная переменная.

3.4. Существуют методы прямого перебора возможных решений коммуникационно-поточковых задач. Когда построены все возможные решения и найдены соответствующие им значения критериальных переменных, возникает возможность поиска и отбора наилучших вариантов – оптимальных и субоптимальных. Однако при этом объемы вычислений могут быть настолько большими, что потребуют применения специальных оптимизационных методов и приемов.

3.5. Общая схема решения коммуникационно-поточковых задач основывается на использовании многошаговых процессов, методы построения и исследования которых были разработаны Беллманом и

Калабой. Наибольшее признание получили методы динамического программирования (планирования) и принцип оптимальности Беллмана.

3.6. Пусть допустимые значения варьируемых (свободно изменяемых или свободно назначаемых) параметров V_i образуют конечное множество

$$V = \{V_i\}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, H; \quad \text{card} V = H + 1.$$

На множестве V определено некоторое функциональное преобразование $T(V)$:

$$V_j = T_{ij}(V_i).$$

Функциональное преобразование позволяет от некоторой точки $V_i \in V$ переходить к определенной точке $V_j \in V$. Каждой точке V_i системным аналитиком задается приращение ΔE_i аддитивного критерия E , при этом

$$E_j(V_j) = E_i(V_i) + \Delta E_{ij}.$$

Кроме того, для обеспечения оптимального решения задачи системным аналитиком устанавливается стратегическое правило оптимального перемещения по множеству V :

$$T_{ij} = Q(V_i).$$

3.7. Указанная оптимизация осуществляется путем рекуррентного поиска оптимального решения от некоторой начальной точки X_0 :

$$T_{01} = Q(V_0), \quad V_1 = T_{01}(V_0), \quad E_1(V_1) = E_0(V_0) + \Delta E_{01};$$

$$T_{12} = Q(V_1), \quad V_2 = T_{12}(V_1), \quad E_2(V_2) = E_1(V_1) + \Delta E_{12};$$

$$T_{23} = Q(V_2), \quad V_3 = T_{23}(V_2), \quad E_3(V_3) = E_2(V_2) + \Delta E_{23}.$$

При этом необходимо, чтобы в зависимости от смысла задачи процесс сопровождался сходимением аддитивного критерия к экстремальному значению:

$$E_j(V_j) = E_i(V_i) + \Delta E_{ij} \rightarrow \min \quad \text{или} \quad E_j(V_j) = E_i(V_i) + \Delta E_{ij} \rightarrow \max.$$

Определяющее значение имеет построение или выбор системным аналитиком стратегического правила $T_{ij} = Q(V_i)$. Это правило называют стратегией: за минимальное (или за приемлемое) количество шагов k должно обеспечиваться нахождение в множестве V такой точки варьируемых параметров $V_{k \text{ опт}}$, которой будет соответствовать максимальное или минимальное значение аддитивного критерия $E(V_{k \text{ опт}})$.

3.8. Технология решения рассматриваемых задач отвечает методам динамического программирования. В то же время для большинства коммуникационно-поточковых задач разработаны авторизованные (то есть предложенные конкретными авторами) методы компактного получения оптимальных или субоптимальных решений. В инженерной практике чаще всего приходится иметь дело с субоптимальными решениями. Оптимальные решения крайне хрупки в том смысле, что даже при незначительном изменении параметров системы эти решения перестают быть строго оптимальными, поскольку необходим перерасчет точек экстремумов для новых условий.

4. Остовные деревья минимального веса для синтеза оптимальных топологий

4.1. Задача формирования остовных деревьев минимального веса применяется системными аналитиками для синтеза оптимальных топологий коммуникационных сетей различного технического назначения. Решение данной задачи основывается на технологии построения множества соединенных узлов сети методом поглощения, который в основных чертах повторяет способы, предложенные О. Борувкой (1926) и Д. Краскалом (1956). Следует отметить, что эти методы по многим признакам могут быть отнесены к разряду эвристических технологий.

4.2. Для определенного набора узлов коммуникационной сети и заданных обобщенных весов связей между узлами (пространственной межузловой протяженности или стоимости перемещения из одного узла в другой узел) необходимо синтезировать ребра дерева, которое охватывало бы все узлы сети и имело минимальный суммарный вес входящих ребер. Решения этой задачи применяются для построения оптимальной топологии сетей различного технического назначения: транспортных, логистических, энергетических, а также сетей электросвязи, кабельного телевидения и приборостроения.

4.3. Для решения задач этой категории применяется многошаговый процесс, именуемый процессом поглощения. Этот процесс допускает получение нескольких альтернативных вариантов

решений.

Пусть задано исходное множество несоединенных узлов сети с номерами

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$$

и матрица неотрицательных межузловых весов $C = [C_{ij} \geq 0]$; $i, j = 1, 2, \dots, n$. Значения C_{ij} конечны для всех i, j за исключением случаев, когда узел R_j по каким-либо причинам не достижим из узла R_i и значение C_{ij} равно бесконечности.

До начала многошагового процесса производятся следующие предварительные операции:

- создается начальное состояние множества соединенных узлов $S = \{S_1\}$, в которое включается всего один начальный узел S_1 остовного дерева, совпадающий с некоторым произвольным узлом R_q из исходного множества R , то есть $S_1 = R_q$; решение задачи не зависит от выбора этого узла;
- начальный узел R_q исключается из множества R ;
- задается начальное значение веса дерева $E_0 = 0$, которое соответствует пустому множеству соединенных узлов;
- формируется начальное состояние матрицы смежности будущего остовного дерева $A = \{a_{ij} = 0\}$;
- процесс поглощения включает $n - 1$ шаг, при этом на каждом шаге поглощается только один из узлов множества R и включается в множество S .

4.4. Каждый k -тый шаг процесса предполагает, что в множество соединенных узлов S на предыдущих шагах были отобраны k узлов S_e ($e = 1, 2, \dots, k - 1$), $\text{card}S = k - 1$ из множества несоединенных узлов R , $\text{card}R = n - k + 1$.

При этих условиях рассматриваемая технология требует:

- определения межузловых расстояний $D(S_e, R_d)$ между всеми узлами S_e ($e = 1, 2, \dots, k - 1$), которые входят в множество соединенных узлов S , и всеми узлами R_d ($d = 1, 2, \dots, n - k + 1$) из множества несоединенных узлов R , не поглощенных множеством S ;

- отбора некоторого узла R_q из множества несоединенных узлов для продолжения остоного дерева из узла S_g множества соединенных узлов;
- включения узла $S_k = R_q$ в множество соединенных узлов S , удаления узла R_q из множества R и задания значений элементов a_{ij} , a_{ji} матрицы смежности A ;
- модификации веса дерева $E_k = E_{k-1} + E_{S_k R_q}$, где $E_{S_k R_q}$ – вес отобранного ребра.

А. Межузловые расстояния $D(S_e, R_d)$ определяются по матрице C . Их максимальное количество на k -том шаге будет равно:

$$(k-1)(n-k+1),$$

при этом: $D(S_e, R_d) = C_{ij}$; $i = S_e, j = R_d$.

Б. Отбор некоторой пары узлов R_q, S_g для продолжения остоного дерева из узла S_g осуществляется с использованием решающего правила, соответствующего оптимальной стратегии рассматриваемого многошагового процесса: в узле R_q должно выполняться соотношение его максимальной близости к одному из узлов множества S :

$$D(S_g, R_q) = \min\{D(S_e, R_d)\}.$$

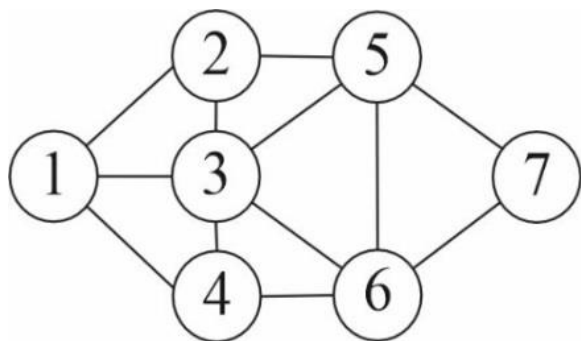
Отобранный узел R_q в остоном дереве будет смежным с узлом S_g . Если в результате выполнения операции $\langle \min \rangle$ отбирается одновременно несколько пар с равными значениями $D(S_e, R_d)$, то для продолжения дерева может быть задействована любая из этих пар.

В. Включение узла R_q в множество соединенных узлов выполняется с помощью введения дополнительного узла $S_k = R_q$: $S = S \cdot U \cdot R_q$, после чего узел R_q из множества несоединенных узлов R исключается. Элементам a_{ij} , a_{ji} ($i = S_g, j = R_q$) присваиваются значения, равные 1.

Г. Фактическая модификация веса дерева $E_k = E_{k-1} + E_{S_k R_q}$.

Д. Процесс завершается, когда множество несоединенных узлов оказывается пустым.

Для практического освоения технологии рассмотрим синтез остоного дерева минимального веса коммуникационной сети, структура которой имеет следующий вид:



Матрица обобщенных весов

$$C = \begin{vmatrix} 0 & 2 & 5 & 4 & P & P & P \\ 2 & 0 & 2 & P & 7 & P & P \\ 5 & 2 & 0 & 1 & 4 & 3 & P \\ 4 & P & 1 & 0 & P & 4 & P \\ P & 7 & 4 & P & 0 & 1 & 5 \\ P & P & 3 & 4 & 1 & 0 & 7 \\ P & P & P & P & 5 & 7 & 0 \end{vmatrix}.$$

В задачах этой категории параметр P принимает значение бесконечности, что указывает на отсутствие прямого сетевого канала между некоторыми парами узлов.

Предварительные операции:

- в множество соединенных узлов вводится начальный узел с номером 1

$$S = \{S_1 = 1\};$$

- из множества несоединенных узлов исключается начальный узел с номером 1

$$R = \{R_2 = 2, R_3 = 3, R_4 = 4, R_5 = 5, R_6 = 6, R_7 = 7\};$$

- формируется начальное состояние матрицы смежности будущего остоного дерева

$$A = \{a_{ij} = 0\}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.$$

Шаг 1.

Определяются межузловые расстояния между узлом S_1 и несоединенными узлами $R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$:

$$D(S_1, R_2) = 2; \quad D(S_1, R_3) = 5; \quad D(S_1, R_4) = 4,$$

$$D(S_1, R_5) = \infty; \quad D(S_1, R_6) = \infty; \quad D(S_1, R_7) = \infty.$$

Отбирается узел R_2 , который должен быть присоединен к узлу S_1 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_1, R_2) = 2$.

Отобранный узел включается в множество соединенных узлов $S_2 = R_2 = 2$, $S = \{S_1, S_2\}$ и исключается из множества несоединенных

узлов $R = \{R_3, R_4, R_5, R_6, R_7\}$.

Элементам a_{12} и a_{21} матрицы A присваиваются единичные значения.

Шаг 2.

Определяются межузловые расстояния между соединенными узлами S_1, S_2 и несоединенными узлами R_3, R_4, R_5, R_6, R_7 :

$$D(S_1, R_3) = 5; \quad D(S_1, R_4) = 4; \quad D(S_2, R_3) = 2; \quad D(S_2, R_5) = 7;$$

при этом значения других возможных межузловых расстояний для данного шага процесса построения остоного дерева будут равны бесконечности.

Отбирается узел R_3 , который должен быть присоединен к узлу S_2 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_2, R_3) = 2$.

Отобранный узел включается в множество соединенных узлов $S_3 = R_3 = 3$, $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ и исключается из множества несоединенных узлов $R = \{R_4, R_5, R_6, R_7\}$.

Элементам a_{23} и a_{32} матрицы A присваиваются единичные значения.

Шаг 3.

Определяются межузловые расстояния между соединенными узлами S_1, S_2, S_3 и несоединенными узлами R_4, R_5, R_6, R_7 :

$$D(S_1, R_4) = 4; \quad D(S_2, R_5) = 7; \quad D(S_3, R_4) = 1; \quad D(S_3, R_5) = 4; \quad D(S_3, R_6) = 3;$$

при этом значения других возможных межузловых расстояний для данного шага процесса построения остоного дерева будут равны бесконечности.

Отбирается узел R_4 , который должен быть присоединен к узлу S_3 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_3, R_4) = 1$.

Данный узел включается в множество соединенных узлов $S_4 = R_4 = 4$, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ и исключается из множества несоединенных узлов $R = \{R_5, R_6, R_7\}$.

Элементам a_{34} и a_{43} матрицы A присваиваются единичные значения.

Шаг 4.

Определяются межузловые расстояния между соединенными узлами S_1, S_2, S_3, S_4 и несоединенными узлами R_5, R_6, R_7 :

$$D(S_2, R_5) = 7; \quad D(S_3, R_5) = 4; \quad D(S_3, R_6) = 3; \quad D(S_4, R_6) = 4;$$

при этом значения других возможных межузловых расстояний для данного шага процесса построения остоного дерева будут равны бесконечности.

Отбирается узел R_6 , который должен быть присоединен к узлу S_3 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_3, R_6) = 3$.

Отобранный узел включается в множество соединенных узлов $S_5 = R_6 = 6$, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$ и исключается из множества несоединенных узлов $R = \{R_6, R_7\}$.

Элементам a_{36} и a_{63} матрицы A присваиваются единичные значения.

Шаг 5.

Определяются межузловые расстояния между соединенными узлами S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 и несоединенными узлами R_6, R_7 :

$$D(S_2, R_5) = 7; \quad D(S_3, R_5) = 4; \quad D(S_5, R_5) = 1; \quad D(S_5, R_7) = 7;$$

при этом значения других возможных межузловых расстояний для данного шага процесса построения остоного дерева будут равны бесконечности.

Отбирается узел R_5 , который должен быть присоединен к узлу S_5 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_5, R_5) = 1$.

Отбранный узел включается в множество соединенных узлов $S_6 = R_5 = 5$, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$ и исключается из множества несоединенных узлов $R = \{R_7\}$.

Элементам a_{65} и a_{56} матрицы A присваиваются единичные значения.

Шаг 6.

Определяются межузловые расстояния между соединенными узлами $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ и соединенным узлом R_7 :

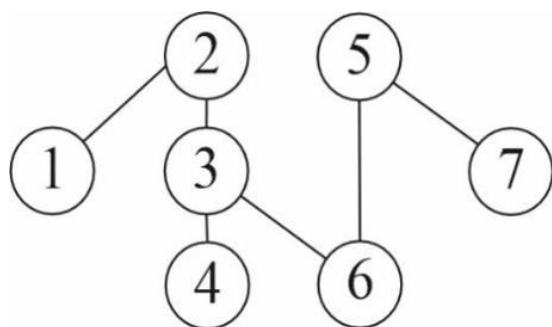
$$D(S_5, R_7) = 7; \quad D(S_6, R_7) = 5;$$

при этом значения других возможных межузловых расстояний для данного шага процесса построения остоного дерева будут равны бесконечности.

Отбирается узел R_7 , который должен быть присоединен к узлу S_6 и которому соответствует минимальное межузловое расстояние $D(S_6, R_5) = 5$.

Отобранный узел включается в множество соединенных узлов $S_7 = R = 7$, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7\}$ и исключается из множества несоединенных узлов. Элементам a_{57} и a_{75} матрицы A присваиваются единичные значения.

Матрица смежности A и соответствующее ей остовное дерево (вес дерева $E_7 = 14$) имеют вид:



Матрица смежности

$$C = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

5. Построение полных циклов и контуров минимального веса в сетях

5.1. Построение полных циклов и контуров минимального веса применяется системными аналитиками для синтеза оптимальных топологий коммуникационных сетей и, прежде всего, для построения опорных сетей различного технического назначения. Задачи этого типа часто называют задачами коммивояжера. Известны различные методы решения задачи, которые, по сути, относятся к эвристическим.

В вычислительном отношении решение задачи технологически оправдано основывать на методе Литтла (метод ветвей и границ) и операциях отбора ребер (дуг), которые могут быть введены в состав цикла (контура). Данный метод был предложен в 1963 году группой авторов – Д. Литтлом, Д. Мурти, Д. Суини и С. Кэрелом.

5.2. Для заданного набора узлов коммуникационной сети и заданных обобщенных весов связей между узлами (пространственной

межузловой протяженности или стоимости перемещения из одного узла в другой узел) необходимо синтезировать ребра (дуги) цикла (контура), которое охватывал бы абсолютно все узлы сети и имел минимальный суммарный вес входящих ребер (дуг).

5.3. Для решения задач этой категории применяется многошаговый процесс, реализуемый по методу Литтла. Данный подход является частной реализацией более общего метода ветвей и границ. Рассматриваемый многошаговый процесс допускает получение нескольких альтернативных вариантов решений.

Пусть задано исходное множество несоединенных узлов сети с номерами $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ и матрица неотрицательных межузловых весов $C = [C_{ij} \geq 0]$. Значения C_{ij} конечны для всех i, j за исключением случаев, когда узел j по каким-либо причинам не достижим из узла i (в этом случае значение C_{ij} равно бесконечности).

До начала многошагового процесса производятся следующие предварительные операции:

- формируется начальное состояние матрицы межузловых расстояний первого шага процесса $Q_1 = \{Q_{1ij} = C_{ij}\}$; $Q_{1ii} = P$ – значение бесконечности;
- задается начальное значение веса дерева $E_0 = 0$, которое соответствует пустому множеству ребер и дуг, отобранных в контур;
- формируется начальное состояние матрицы смежности будущего цикла (контура) $A = \{a_{ij} = 0\}$ и начальное значение нижней границы веса цикла (контура) $W_{inf\ 1} = 0$.

Процесс по методу Литтла включает не более n шагов, при этом на каждом шаге в результате выполнения ветвления в цикл (контур) отбирается только одно ребро (дуга).

5.4. Каждый k -тый шаг процесса предполагает реализацию ряда процедур:

- определение строчных межузловых редукций $\{D_i\}$ и построение на основе матрицы Q_k межузловых расстояний k -того шага первой редуцированной матрицы шага $Z_1 = \{Z_{1ij}\}$ (матрица является вспомогательной);

- определение столбцовых межузловых редукций $\{G_j\}$ и построение на основе первой редуцированной матрицы Z_1 k -того шага второй редуцированной матрицы шага $Z_2 = \{Z_{2ij}\}$ (матрица является вспомогательной);
- определение для всех нулевых элементов $Z_{2ij} = 0$ второй редуцированной матрицы Z_2 k -того шага величин штрафов Y_{ij} за невключение ребра (дуги) между узлами i, j в искомый цикл (контур);
- процедур ветвления с отбором ребра (дуги) $\langle e, d \rangle$ в искомый цикл (контур), для которого величина штрафа за его невключение в цикл (контур) максимальна, формирования элементов a_{ed}, a_{de} матрицы смежности A и расчета границ веса цикла (контура);
- модификацию веса цикла (контура) $E_k = E_{k-1} + E_{ed}$;
- построение на основе второй редуцированной матрицы Z_2 k -того шага матрицы межузловых расстояний Q_{k+1} для $k + 1$ -го шага.

А. Определение строчных межузловых редукций $\{D_i\}$ для k -того шага выполняется путем нахождения в каждой строке матрицы Q_k минимального по величине элемента: $D_i = Q_{k i q} = \min\{Q_{k i j}\}$. Элементы Z_{1ij} первой редуцированной матрицы Z_1 рассчитываются путем уменьшения всех элементов строк $Q_{k i j}$ матрицы Q_k на величину соответствующей строчной редукции D_i : $Z_{1ij} = Q_{k i j} - D_i$. В результате операции, по крайней мере, хотя бы один элемент Z_{1iq} в каждой строке матрицы Z_1 окажется нулевым.

Б. Определение столбцовых межузловых редукций $\{G_j\}$ для k -того шага выполняется путем нахождения в каждом столбце матрицы Z_1 минимального по величине элемента: $G_j = \min\{Z_{1ij}\}$. Эта операция имеет следующую особенность. Она выполняется только для тех столбцов матрицы Z_1 , в которых отсутствуют нулевые элементы. Если в столбце j нулевые элементы имеются, то полагается $G_j = 0$. Элементы редуцированной матрицы Z_2 рассчитываются с учетом этой особенности путем уменьшения всех элементов столбцов Z_{1ij} матрицы Z_1 на величину соответствующей столбцовой редукции G_j : $Z_{2ij} = Z_{1ij} - G_j$.

В. Все нулевые элементы $Z_{2ij} = 0$ второй редуцированной матрицы Z_2 отображают ребра (дуги) $\langle i, j \rangle$, которые потенциально могут быть

включены в искомый контур. Их количество заранее предсказать нельзя, но на каждом k -том шаге возможно около $n - k + 1$ таких точек. Для отбора конкретного ребра (дуги) применяется система вторичных штрафов Y . Вторичные штрафы Y_{ij} за невключение ребер (дуг) $\langle i, j \rangle$, определяемых элементами $Z_{2ij} = 0$, в искомый цикл (контур), рассчитываются следующим образом:

$$Y_{ij} = [\min\{Z_{2ij}\}, i = 1, 2, \dots, n] + [\min\{Z_{2ij}\}, j = 1, 2, \dots, n],$$

при этом в операциях $\langle \min \rangle$ k -того шага не должны участвовать те нулевые элементы Z_{2ij} , которые образовались непосредственно при первой и второй редукциях матриц Q_k и Z_1 этого шага.

Г. Процедура ветвления в точке $Z_{2ed} = 0$ с отбором ребра (дуги) $\langle e, d \rangle$ в искомый цикл (контур) основывается на решающем правиле максимизации штрафа за невключение элемента $\langle e, d \rangle$ в цикл (контур): $Y_{ed} = \max\{Y_{ij}\}$, $Y_{ed} \neq P$. Штрафы получили название вторичных, так как их величина указывает на максимально возможное увеличение веса цикла (контура) на k -том шаге его построения при выборе не ребра (дуги) $\langle e, d \rangle$, а любого другого альтернативного элемента.

Внимание. Если при выполнении процедуры Г образуется локальный, а не полный цикл (контур), то найденное ребро (дуга) $\langle e, d \rangle$ исключается из рассмотрения с последующим повторением процедуры без учета этого ребра (дуги). Если в процедуре $\langle \max \rangle$ образуются одинаковые значения Y_{ed} одновременно для нескольких ребер (дуг), то в цикл (контур) может быть введен любой из этих элементов. Возможно возникновение патовых ситуаций, когда из-за появления локальных циклов (контуров) или из-за повторного отбора ребер (дуг), ранее включенных в цикл (контур), отобрать конкретное ребро (дугу) для продолжения процесса нельзя. Для разрешения подобных ситуаций требуется применение технологии непосредственного подбора ребер (дуг) по критерию их минимального веса. При этом не должно образовываться локальных циклов (контуров) и тупиковых узлов.

Д. Формирование элементов a_{ed} , a_{de} матрицы смежности A осуществляется путем присвоения им единичных значений. Выполняется

фактическая модификация веса цикла (контура) $E_k = E_{k-1} + E_{ed}$. Расчет границ возможного веса цикла (контура) выполняется от шага к шагу рекуррентно.

Нижняя прогнозируемая граница веса $B_{inf k}$ k -того шага рекуррентно определяется на основании значения нижней границы $B_{inf k-1}$ $k-1$ -го шага, которая увеличивается на сумму всех строчных и столбцовых редукций k -того шага:

$$B_{inf k} = B_{inf k-1} + (D_1 + D_2 + \dots + D_n) + (G_1 + G_2 + \dots + G_n).$$

Верхняя прогнозируемая граница $B_{sup k}$ определяется на основании значения нижней границы $B_{inf k}$, рассчитанной выше, которая увеличивается на величину штрафа, полученного при отборе ребра (дуги) $\langle e, d \rangle$ на k -том шаге:

$$B_{sup k} = B_{inf k} + Y_{ed}.$$

В ходе выполнения ветвления и построения цикла (контура) должны выполняться условия границ:

$$B_{inf k} \leq E_k \leq B_{sup k}.$$

При переходе на технологию непосредственного подбора ребер или дуг система границ прекращает действие.

Е. Для предотвращения повторного отбора ребер (дуг) на последующих шагах всем элементам e -той строки и d -того столбца присваивается значение P (бесконечности).

Ж. В точке ветвления, где возможен выбор равноценных альтернатив, целесообразно равноправный выбор альтернатив заменить операцией выбора с предпочтением. Предпочтение следует отдавать той ветви, которой соответствуют невозрастающие значения прогнозируемых границ веса цикла (контура). Это усложняет процесс, но может дать более качественные результаты.

З. Процедура построения матрицы межузловых расстояний Q_{k+1} для $k+1$ -го шага осуществляется на основе второй редуцированной матрицы Z_2 k -того шага с помощью следующих операций: $Q_{k+1ij} = Z_{2ij}$; $Q_{k+1e_j} = P$; P – значение бесконечности. Данная процедура обеспечивает исключение на последующих шагах всех операций с ребром (дугой) $\langle e, d \rangle$, которое было введено в цикл (контур) на k -том шаге.

Процесс завершается, когда все множество узлов графа оказывается обойденным, необходимые ребра (дуги) отобраны и цикл (контур) сформирован.

5.5. Стратегия построения циклов (контуров) минимального веса по методу Литтла может приводить к субоптимальным решениям, в силу чего целесообразна верификация полученного результата.

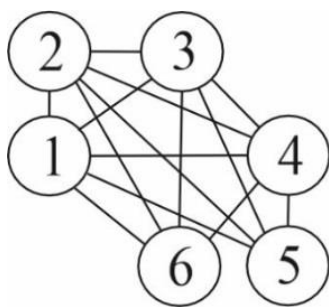
5.6. Пример

Для практического освоения технологии выполним синтез цикла (контура) минимального веса коммуникационной сети, структура которой приведена ниже.

В задачах этой категории параметр P принимает значение бесконечности, что указывает на отсутствие прямого сетевого канала между некоторыми парами узлов.

Предварительные операции:

- формируется начальное состояние матрицы смежности будущего цикла (контура) $A = \{a_{ij} = 0\}; i, j = 1, 2, \dots, 6$ и начальное значение границ веса цикла (контура) $B_{\inf k} = 0, B_{\sup k} = 0$;
- формируется начальное состояние матрицы межузловых расстояний первого шага процесса $Q_1 = \{Q_{1ij} = C_{ij}\}; i, j = 1, 2, \dots, 6$:



Матрица обобщенных весов

$$C = \begin{vmatrix} 0 & 27 & 43 & 16 & 30 & 26 \\ 27 & 0 & 16 & 1 & 30 & 30 \\ 43 & 16 & 0 & 35 & 5 & 40 \\ 16 & 1 & 35 & 0 & 18 & 18 \\ 30 & 30 & 5 & 18 & 0 & P \\ 26 & 30 & 40 & 18 & P & 0 \end{vmatrix}.$$

$$Q_1 = \begin{vmatrix} P & 27 & 43 & 16 & 30 & 26 \\ 27 & P & 16 & 1 & 30 & 30 \\ 43 & 16 & P & 35 & 5 & 40 \\ 16 & 1 & 35 & P & 18 & 18 \\ 30 & 30 & 5 & 18 & P & P \\ 26 & 30 & 40 & 18 & P & P \end{vmatrix}.$$

Шаг 1.

По матрице Q_1 определяются межузловые элементы строчной редукции и выполняется строчная редукция с построением матрицы Z_1 :

$$\begin{array}{l} D1=16 \\ D2=1 \\ D3=5 \\ D4=1 \\ D5=5 \\ D6=18 \end{array} \quad Z_1 = \begin{vmatrix} P & 11 & 27 & 0^* & 14 & 10 \\ 26 & P & 15 & 0^* & 29 & 29 \\ 38 & 11 & P & 30 & 0^* & 35 \\ 15 & 0^* & 34 & P & 17 & 17 \\ 25 & 25 & 0^* & 13 & P & P \\ 8 & 12 & 22 & 0^* & P & P \end{vmatrix}.$$

Символом * обозначены точки строчного редуцирования.

По матрице Z_1 определяются межузловые столбцовые редукции построения второй редуцированной матрицы Z_2 (символом # обозначены точки столбцового редуцирования):

$$G_1 = 8, G_2 = 0, G_3 = 0, G_4 = 0, G_5 = 0, G_6 = 10;$$

$$Z_2 = \begin{vmatrix} P & 11 & 27 & 0^* & 14 & 0\# \\ 18 & P & 15 & 0^* & 29 & 19 \\ 30 & 11 & P & 30 & 0^* & 25 \\ 7 & 0^* & 34 & P & 17 & 7 \\ 17 & 25 & 0^* & 13 & P & P \\ 0\# & 12 & 22 & 0^* & P & P \end{vmatrix}.$$

Штрафы Y_{ij} за невключение ребер, определяемых элементами $Z_{2ij} = 0$, составляют:

$$Y_{14} = 24, Y_{24} = 28, Y_{35} = 25, Y_{42} = 18, Y_{53} = 28, Y_{61} = 19, Y_{64} = 25.$$

Максимальные значения штрафов достигаются в точках Z_{24} , Z_{53} ($Y_{24} = Y_{53} = 28$), что соответствует ребрам $\langle 2, 4 \rangle$, $\langle 5, 3 \rangle$, отбор которых в искомый цикл равнозначен. Выберем ребро $\langle 2, 4 \rangle$. Элементам a_{24} и a_{42} матрицы A присваиваются единичные значения.

Нижняя граница веса цикла составляет:

$$B_{\inf 1} = 0 + (16 + 1 + 5 + 1 + 5 + 18) + (8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 10) = 64.$$

Верхняя граница веса цикла определяется значением $B_{\sup 1} = 64 + 28 = 92$.

По матрице Z_2 строится матрица межузловых расстояний второго шага Q_2 :

$$Q_2 = \begin{vmatrix} P & 11 & 27 & P & 14 & 0 \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0 & 25 \\ 7 & 0 & 34 & P & 17 & 7 \\ 17 & 25 & 0 & P & P & P \\ 0 & 12 & 22 & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Шаг 2.

По матрице Q_2 определяются межузловые строчные редукции и элементы редуцированной матрицы Z_1 :

$$\begin{matrix} D1=0 \\ D2=- \\ D3=0 \\ D4=0 \\ D5=0 \\ D6=0 \end{matrix} \quad Z_1 = \begin{vmatrix} P & 11 & 27 & P & 14 & 0^* \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0^* & 25 \\ 7 & 0^* & 34 & P & 17 & 7 \\ 17 & 25 & 0^* & P & P & P \\ 0^* & 12 & 22 & P & P & P \end{vmatrix}.$$

По матрице Z_1 определяются межузловые столбцовые редукции $\{G_j\}$, $j = 1, 2, \dots, 6$: $G_1 = 0$, $G_2 = 0$, $G_3 = 0$, $G_4 = -$, $G_5 = 0$, $G_6 = 0$ и элементы второй редуцированной матрицы Z_2 :

$$Z_2 = \begin{vmatrix} P & 11 & 27 & P & 14 & 0^* \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0^* & 25 \\ 7 & 0^* & 34 & P & 17 & 7 \\ 17 & 25 & 0^* & P & P & P \\ 0^* & 12 & 22 & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Штрафы Y_{ij} за невключение ребер (дуг), определяемых элементами $Z_{2ij} = 0$, в искомый цикл, составляют: $Y_{16} = 18$, $Y_{35} = 25$, $Y_{42} = 18$, $Y_{53} = 39$, $Y_{61} = 19$.

Максимальное значение штрафа достигается в точке Z_{53} ($Y_{53} = 39$), что соответствует выбору ребра $\langle 5, 3 \rangle$. Элементам a_{53} и a_{35} матрицы A присваиваются единичные значения.

Нижняя граница веса цикла составляет:

$$B_{\inf 2} = 64 + (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) + (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 10) = 64.$$

Верхняя граница веса цикла определяется значением $B_{\sup 2} = 64 + 39 = 103$.

По матрице Z_2 строится матрица межузловых расстояний третьего шага Q_3

$$Q_3 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0 \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0 & 25 \\ 7 & 0 & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ 0 & 12 & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Шаг 3.

По матрице Q_3 определяются межузловые строчные редукции и элементы редуцированной матрицы Z_1 :

$$\begin{matrix} D1=0 \\ D2=- \\ D3=0 \\ D4=0 \\ D5=- \\ D6=0 \end{matrix} \quad Z_1 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0^* \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0^* & 25 \\ 7 & 0^* & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ 0^* & 12 & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

По матрице Z_1 определяются межузловые столбцовые редукции $\{G_j\}$, $j = 1, 2, \dots, 6$: $G_1 = 0$, $G_2 = 0$, $G_3 = -$, $G_4 = -$, $G_5 = 0$, $G_6 = 0$ и элементы второй редуцированной матрицы:

$$Z_2 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0^* \\ P & P & P & P & P & P \\ 30 & 11 & P & P & 0^* & 25 \\ 7 & 0^* & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ 0^* & 12 & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Штрафы Y_{ij} за невключение ребер (дуг), определяемых элементами $Z_{2ij} = 0$, в искомый цикл, составляют: $Y_{16} = 18$, $Y_{35} = 25$, $Y_{42} = 18$, $Y_{61} = 19$.

Максимального значения штраф достигает в точке Z_{35} ($Y_{35} = 25$). Поскольку ребро $\langle 5, 3 \rangle$ ранее было отобрано в искомый цикл, сейчас следует отобрать точку Z_{61} ($Y_{61} = 19$), что соответствует ребру $\langle 6, 1 \rangle$. Элементам a_{61} и a_{16} матрицы A присваиваются единичные значения.

Нижняя граница веса цикла составляет:

$$B_{\inf 3} = 64 + (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) + (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 10) = 64.$$

Верхняя граница веса цикла определяется значением

$$B_{\text{sup } 3} = 64 + 19 = 83.$$

По матрице Z_2 строится матрица межузловых расстояний четвертого шага Q_4 :

$$Q_4 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0 \\ P & P & P & P & P & P \\ P & 11 & P & P & 0 & 25 \\ P & 0 & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ P & P & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Шаг 4.

По матрице Q_4 определяются межузловые строчные редукции и элементы редуцированной матрицы Z_1 :

$$\begin{matrix} D1 = 0 \\ D2 = - \\ D3 = 0 \\ D4 = 0 \\ D5 = - \\ D6 = - \end{matrix} \quad Z_1 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0* \\ P & P & P & P & P & P \\ P & 11 & P & P & 0* & 25 \\ P & 0* & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ P & P & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

По матрице Z_1 определяются межузловые столбцовые редукции $\{G_j\}$, $j = 1, 2, \dots, 6$: $G_1 = -$, $G_2 = 0$, $G_3 = -$, $G_4 = -$, $G_5 = 0$, $G_6 = 0$ и элементы второй редуцированной матрицы:

$$Z_2 = \begin{vmatrix} P & 11 & P & P & 14 & 0* \\ P & P & P & P & P & P \\ P & 11 & P & P & 0* & 25 \\ P & 0* & P & P & 17 & 7 \\ P & P & P & P & P & P \\ P & P & P & P & P & P \end{vmatrix}.$$

Штрафы Y_{ij} за невключение ребер (дуг), определяемых элементами $Z_{2ij} = 0$, в искомый цикл, составляют: $Y_{16} = 18$, $Y_{35} = 25$, $Y_{42} = 18$.

Максимального значения штраф достигает в точке Z_{35} ($Y_{35} = 25$). Однако ребро $\langle 5, 3 \rangle$ ранее было отобрано в искомый цикл. Повторно отбирать точки Z_{16} ($Y_{16} = 18$) и Z_{42} ($Y_{42} = 25$) нельзя по этой же причине.

Это типичная патовая ситуация.

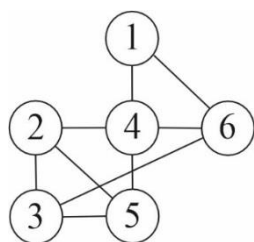
Шаг 5.

Для разрешения сложившейся ситуации воспользуемся технологией непосредственного подбора ребер (дуг). Без образования локальных циклов узел 1 может быть соединен только с узлами 2, 3, 4, 5, при этом $C_{12} = 27$, $C_{13} = 43$, $C_{14} = 16$, $C_{15} = 30$. Минимальное значение C_{ij} соответствует ребру $\langle 1, 4 \rangle$, которое следует включить в цикл, присвоив единичные значения элементам a_{14} и a_{41} матрицы A .

Без образования локальных циклов узел 2 может быть соединен только с узлами 3, 5 при этом $C_{23} = 16$, $C_{25} = 30$. Минимальное значение C_{ij} соответствует ребру $\langle 2, 3 \rangle$, которое следует включить в цикл, присвоив единичные значения элементам a_{23} и a_{32} матрицы A .

Для замыкания контура используется ребро $\langle 3, 6 \rangle$, которое следует включить в цикл, присвоив единичные значения элементам a_{36} и a_{63} .

Цикл минимального веса и соответствующая ему матрица смежности A принимают следующий вид:



Вес полного цикла 118

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

6. Минимальный двухполюсный маршрут между узлами одной пары

6.1. Построение минимального двухполюсного маршрута между узлами одной пары применяется системными аналитиками для синтеза оптимальных цепей и путей при заданной топологии коммуникационных систем. При этом обычно полагается, что опорная сеть системы построена. Алгоритм решения этой задачи может работать в статическом и динамическом режиме.

6.2. Рассматриваемый алгоритм был предложен Э. Дейкстрой в 1959 году. На основе этого алгоритма функционируют протоколы сетевой маршрутизации типа OSPF и IS-IS, основанные на технологии

отслеживания состояния канала.

6.3. Для решения задач данной категории применяется многошаговый процесс, именуемый процессом посещений.

Пусть задано исходное множество несоединенных узлов сети с номерами $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ и матрица неотрицательных межузловых весов $C = [C_{ij} \geq 0]$. Значения C_{ij} конечны для всех i, j за исключением случаев, когда узел R_j по каким-либо причинам не достижим из узла R_i и значение C_{ij} равно бесконечности. Сеть считается связной и между узлами любой пары есть путь.

Необходимо построить кратчайший маршрут между узлами R_e и R_d или между узлом R_e и всеми остальными узлами сети.

6.4. Предварительные операции:

- вводится понятие метки узла d_i как известное расстояние от исходного узла R_e до текущего рассматриваемого узла R_i , $i = 1, 2, \dots, e, \dots, n$;

- формируются начальные значения меток вектора

$$D = \{d_i\}; d_i = \infty \text{ для } i \neq e; d_e = 0 \text{ для } i = e;$$

- начиная с узла R_e , организуется последовательный многошаговый процесс «посещения» всех узлов сети и выполнение операций по возможному уменьшению текущих значений их меток;

- каждому узлу назначается признак посещения W_i , равный 0, если узел не посещался, и 1, если посещение имело место.

Если из посещенного узла произведено посещение соседних узлов, то значение признака устанавливается равным 2.

6.5. На каждом шаге k обеспечиваются следующие действия: А–Е.

А. В качестве начального базового узла $R_{\text{БАЗ } 0}$ выбирается узел R_e с минимальным значением метки $d_{\text{БАЗ}} = d_1 = 0$, узлу назначается признак посещения $W_1 = 1$ и организуется последующее «посещение» узлов–соседей $R_j(R_{\text{БАЗ } k})$, смежных с базовым узлом, для которых $C_{\text{БАЗ } j} \neq \infty$.

Б. Для каждой посещенной вершины проставляется признак посещения $W_j(R_{\text{БАЗ}}) = 1$ и вычисляется новое значение метки узла

$$d_j(R_{\text{БАЗ } k}) = d_j(R_{\text{БАЗ } x}) + C_{\text{БАЗ } j},$$

где $d_j(R_{\text{БАЗ } x})$ – предшествующее значение метки узла j . Если при этом

$$d_j(R_{\text{БАЗ } k}) < d_j(R_{\text{БАЗ } x}),$$

то проставляется новое меньшее значение метки этого узла $d_j(R_{\text{БАЗ } k})$.

В. Если посещаемый узел инициировал посещения соседей, то устанавливается признак $W_j = 2$.

Г. Если не все узлы посещались, или не из всех посещаемых узлов проведены посещения соседей, то выбирается в качестве базового очередной узел с минимальным значением метки.

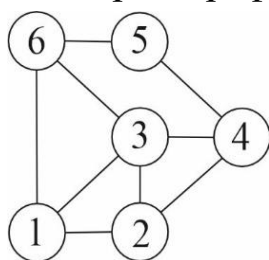
Д. Каждый узел может инициировать посещения соседей только один раз. Посещения узлов не подлежат инверсии.

Е. Последний вектор $D_k = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ определяет минимальную длину маршрута от узла R_1 до всех других узлов.

Маршрут соответствует списку и последовательности модификации меток базовых узлов. Маршруты от узла R_e к узлам R_i формируются с помощью операций обратного анализа и восстановления последовательностей базовых узлов, которые были использованы для построения конкретных маршрутов.

6.6. Пример

Рассмотрим граф:



$$C = \begin{vmatrix} 0 & 7 & 9 & \infty & \infty & 14 \\ 7 & 0 & 10 & 15 & \infty & \infty \\ 9 & 10 & 0 & 11 & \infty & 2 \\ \infty & 15 & 11 & 0 & 6 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 6 & 0 & 9 \\ 14 & \infty & 2 & \infty & 9 & 0 \end{vmatrix}$$

Будем полагать, что $R_e = 1$.

$D_1 = \{0, \infty, \infty, \infty, \infty, \infty\}$ посещения $W_e = 1$ и организуется последующее посещение узлов – соседей.

Шаг 1.

Фиксируется базовый узел $R_{\text{БАЗ } 1} = 1$ и метка базового узла $d_0(R_{\text{БАЗ } 1}) = 0$.

Матрица C определяет расстояния до смежных узлов

$$C_{12} = 7; C_{13} = 9; C_{16} = 14;$$

$$W_2 = 1; W_3 = 1; W_6 = 1.$$

$$d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) = d_0(R_{\text{БАЗ } 1}) + C_{12} = 0 + 7 = 7;$$

$$d_3(R_{\text{БАЗ } 1}) = d_0(R_{\text{БАЗ } 1}) + C_{13} = 0 + 9 = 9;$$

$$d_6(R_{\text{БАЗ } 1}) = d_0(R_{\text{БАЗ } 1}) + C_{16} = 0 + 14 = 14.$$

Эти значения меньше текущих значений ∞ меток узлов.

Производится замена меток первого шага для узлов R_2, R_3, R_6

$$D_1 = \{0, \underline{7}, 9, \infty, \infty, 14\}.$$

Устанавливаются значения признаков

$$W_e = W_1 = 2.$$

$$W_2 = 1; W_3 = 1; W_6 = 1.$$

$$W = \{2, 1, 1, 0, 0, 1\}.$$

Шаг 2.

Поскольку не все узлы сети посещались и не из всех посещаемых узлов проведены посещения соседей, то выбирается в качестве базового очередной узел с минимальным значением метки.

Фиксируется базовый узел $R_{\text{БАЗ } 2} = 2$ и метка $d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) = 7$.

Матрица C определяет расстояния до смежных узлов

$$C_{21} = 7; C_{23} = 10; C_{24} = 15.$$

Признак $W_1 = 2$ исключает корректировку метки $d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) = 7$ и ее значение сохраняется неизменным. Две другие метки имеют значения

$$d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) = d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) + C_{23} = 7 + 10 = 17;$$

$$d_4(R_{\text{БАЗ } 2}) = d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) + C_{24} = 7 + 15 = 22.$$

Текущее значение метки $d_3(R_{\text{БАЗ } 1}) = 9$ меньше значения $d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) = 17$ и корректировка не производится. Текущее значение метки $d_4(R_{\text{БАЗ } 1}) = \infty$ больше значения $d_4(R_{\text{БАЗ } 2}) = 22$ и необходима корректировка.

Производится замена меток второго шага

$$D_2 = \{0, 7, \underline{9}, 22, \infty, 14\}.$$

Устанавливаются значения признаков

$$W_2 = 2; W_3 = 1; W_4 = 1.$$

$$W = \{2, 2, 1, 1, 0, 1\}.$$

Шаг 3.

Выбирается и фиксируется в качестве базового очередной узел с минимальным значением метки: $R_{\text{БАЗ } 3} = 3, d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) = 9$.

Матрица C определяет расстояния до смежных узлов

$$C_{32} = 10; C_{34} = 11; C_{36} = 2.$$

Признак $W_2 = 2$; это исключает корректировку метки $d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) = 9$ и ее значение сохраняется неизменным.

$$d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) = d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) + C_{34} = 9 + 10 = 19;$$

$$d_6(R_{\text{БАЗ } 3}) = d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) + C_{36} = 9 + 2 = 11.$$

Текущее значение метки $d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) = 19$ меньше значения $d_4(R_{\text{БАЗ } 2}) = 22$ и необходима его корректировка. Текущее значение метки $d_6(R_{\text{БАЗ } 2}) = 14$ больше значения $d_6(R_{\text{БАЗ } 3}) = 11$, что также требует его корректировки.

Производится замена меток третьего шага

$$D_2 = \{0, 7, 9, 19, \infty, \underline{11}\}.$$

Устанавливается значение признака

$$W_3 = 2.$$

$$W = \{2, 2, 2, 1, 0, 1\}.$$

Шаг 4.

Выбирается в качестве базового очередной узел с минимальным значением метки: $R_{\text{БАЗ } 4} = 6$, $d_6(R_{\text{БАЗ } 3}) = 11$.

Матрица C определяет расстояния до смежных узлов

$$C_{61} = 10; C_{63} = 11; C_{65} = 2.$$

Признак $W_1 = 2$; это исключает корректировку метки $d_6(R_{\text{БАЗ } 1}) = 9$ и ее значение сохраняется неизменным.

$$d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) = d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) + C_{34}(R_{\text{БАЗ } 3}) = 9 + 10 = 19;$$

$$d_6(R_{\text{БАЗ } 3}) = d_3(R_{\text{БАЗ } 2}) + C_{36}(R_{\text{БАЗ } 3}) = 9 + 2 = 11.$$

Текущее значение метки $d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) = 19$ меньше значения $d_4(R_{\text{БАЗ } 2}) = 22$, поэтому необходима его корректировка. Текущее значение метки $d_6(R_{\text{БАЗ } 2}) = 14$ больше значения $d_6(R_{\text{БАЗ } 3}) = 11$, что также требует его корректировки.

Производится замена меток третьего шага

$$D_2 = \{0, 7, 9, 19, \infty, 11\}.$$

Устанавливается значение признака

$$W_6 = 2.$$

$W = \{2, 2, 2, 1, 0, 2\}$.

Шаг 5.

Выбирается в качестве базового очередной узел с минимальным значением метки: $R_{\text{БАЗ } 5} = 4$, $d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) = 19$.

Матрица C определяет расстояния до смежных узлов

$C_{42} = 15$; $C_{43} = 11$; $C_{45} = 6$.

Признак $W_2 = W_3 = 2$; это исключает корректировку меток $d_2(R_{\text{БАЗ } 1}) = 7$ и $d_3(R_{\text{БАЗ } 1}) = 9$. Их значение сохраняется неизменным.

$d_5(R_{\text{БАЗ } 5}) = d_4(R_{\text{БАЗ } 3}) + C_{45} = 19 + 6 = 25$.

Текущее значение метки $d_5(R_{\text{БАЗ } 5}) = 25$ меньше значения бесконечности, поэтому необходима его корректировка.

Производится замена меток пятого шага

$D_2 = \{0, 7, 9, 19, 25, 11\}$.

Устанавливается значение признака

$W_4 = 2$; $W_5 = 1$;

$W = \{2, 2, 2, 2, 1, 2\}$.

Шаг 6.

Поскольку не все узлы посещались и не из всех посещаемых узлов проведены посещения соседей, то алгоритм требует проверки посещений соседей из узла R_5 . В данной конкретной задаче это не приведет к изменению результатов.

7. Нахождение оптимальных маршрутов между всеми узлами сети

7.1. Задача построения оптимальных межузловых маршрутов относится к категории задач коммуникационной оптимизации технологических сетей и имеет конкретное техническое или технико-экономическое содержание. Оно определяется следующим образом: для заданного набора узлов коммуникационной сети и заданных обобщенных неотрицательных весов связей между узлами (пространственной межузловой протяженности или стоимости перемещения из одного узла в другой узел) необходимо синтезировать маршруты, которые попарно соединяли бы абсолютно все узлы сети и имели минимальный индивидуальный вес.

7.2. Решения этой задачи применяются для построения или назначения маршрутов в сетях разнообразного технического назначения: машиностроительных, транспортных, логистических, энергетических.

7.3. Для решения задач этой категории применяется многошаговый процесс, именуемый процессом подстановок узлов или методом Флойда–Ху.

По аналогии с задачей определения минимального двухполюсного маршрута между узлами одной пары в данном случае также задается исходное множество соединенных узлов сети с номерами $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ и матрица неотрицательных межузловых весов $C = [C_{ij} \geq 0]$. Значения C_{ij} конечны для всех i, j за исключением случаев, когда узел j по каким-либо причинам не достижим из узла i (в этих случаях значения C_{ij} равны бесконечности).

До начала многошагового процесса производятся следующие предварительные операции:

- формируется начальное состояние матрицы протяженности будущих оптимальных маршрутов $Q = \{Q_{ij} = C_{ij}\}$;
- формируется начальное состояние матрицы будущих оптимальных маршрутов $F = \{F_{ij} = j\}$.

Анализируемый процесс включает n шагов, при этом на каждом шаге делается проверка целесообразности подстановки во все маршруты какого-то одного узла.

7.4. Каждый k -тый шаг процесса предполагает реализацию следующих процедур:

- процедуры определения целесообразности введения k -того узла в маршруты между всеми i -тыми узлами сети ($i \neq k$) и j -тыми узлами ($j \neq i; j \neq k$);

- процедуры корректировки элементов матриц Q и F .

А. Процедура определения целесообразности введения k -того узла между i -тым и j -тым узлами заключается в проверке выполнения решающего соотношения

$$Q_{ij} > C_{ik} + C_{kj}.$$

Это соотношение указывает на факт возможного уменьшения пространственно-временной протяженности маршрута при дополнительном введении в него некоторого узла или нескольких узлов.

Б. Процедура корректировки элементов i, j матриц Q и F заключается в следующем. Если решающее соотношение процедуры **A** для элемента Q_{ij} выполняется, то это означает сокращение длины маршрута между i -тым и j -тым узлами за счет введения в связывающую их цепь (путь) k -того узла. Производится корректировка элементов матриц Q и F : $Q_{ij} = C_{ik} + C_{kj}$, $F_{ij} = k$. В противном случае элементы i, j матриц Q и F не изменяются.

7.5. В результате выполнения n шагов каждый элемент Q_{ij} матрицы Q будет соответствовать протяженности оптимального маршрута между узлами i, j .

Матрица F обеспечивает непосредственное формирование оптимальных сетевых маршрутов. Для формирования маршрута от узла i к узлу j рассматривается элемент F_{ij} .

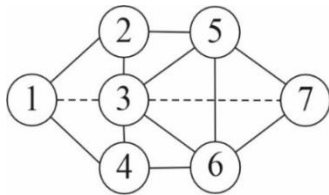
Если $F_{ij} = j$, то эти узлы смежные и маршрут i, j не содержит промежуточных узлов. Если $F_{ij} = q_1 \neq j$, то в маршруте содержится, по крайней мере, промежуточный узел с номером q_1 . Рассматривается элемент F_{q_1j} матрицы F . Если $F_{q_1j} = j$, то узлы q_1 и j являются смежными, а маршрут определяется цепью (путем) i, q_1, j . Если $F_{q_1j} = q_2 \neq j$, то в маршруте содержится, по крайней мере, еще один промежуточный узел q_2 . Если узлы $i, q_1, q_2, \dots$ или какие-то из них не являются смежными, то операции продолжается до окончательного раскрытия маршрутной последовательности узлов и построения маршрута.

7.6. Стратегия построения оптимальных маршрутов требует обязательного уточнения значений их протяженностей в матрице Q по составляющим ребрам (дугам) матрицы F .

7.7. Пример

Для практического освоения методики рассмотрим синтез оптимальных маршрутов коммуникационной сети, структура которой приведена ниже.

Матрица обобщенных весов



$$C = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & P & P & P \\ 8 & 0 & 5 & P & 7 & P & P \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & P & 4 & 0 & P & 9 & P \\ P & 7 & 4 & P & 0 & P & 2 \\ P & P & 6 & 9 & P & 0 & 11 \\ P & P & 8 & P & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}$$

Предварительные операции:

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & P & P & P \\ 8 & 0 & 5 & P & 7 & P & P \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & P & 4 & 0 & P & 9 & P \\ P & 7 & 4 & P & 0 & P & 2 \\ P & P & 6 & 9 & P & 0 & 11 \\ P & P & 8 & P & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 1.

Для подстановок используется узел $k = 1$ и маршруты для достижения узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$:

1-1-1, 1-1-2, 1-1-3, 1-1-4, 1-1-5, 1-1-6, 1-1-7

2-1-1, 2-1-2, 2-1-3, 2-1-4, 2-1-5, 2-1-6, 2-1-7

3-1-1, 3-1-2, 3-1-3, 3-1-4, 3-1-5, 3-1-6, 3-1-7

...

7-1-1, 7-1-2, 7-1-3, 7-1-4, 7-1-5, 7-1-6, 7-1-7.

Результаты подстановок представлены ниже. Символом * обозначены точки рационального введения в маршруты узла $i = 1$, сокращающие их протяженность.

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & P & P & P \\ 8 & 0 & 5 & 17 & 7 & P & P \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & 17 & 4 & 0 & P & 9 & P \\ 9 & 7 & 4 & P & 0 & P & 2 \\ P & P & 6 & 9 & P & 0 & 11 \\ P & P & 8 & P & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 1^* & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 1^* & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 2.

Для подстановок используется узел $k = 2$ и маршруты для достижения узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$:

1–2–1, 1–2–2, 1–2–3, 1–2–4, 1–2–5, 1–2–6, 1–2–7
 2–2–1, 2–2–2, 2–2–3, 2–2–4, 2–2–5, 2–2–6, 2–2–7
 3–2–1, 3–2–2, 3–2–3, 3–2–4, 3–2–5, 3–2–6, 3–2–7
 ...
 7–2–1, 7–2–2, 7–2–3, 7–2–4, 7–2–5, 7–2–6, 7–2–7.

Рассмотрим результаты подстановок. Символом * обозначены точки рационального введения в маршруты узла $i = 2$.

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & 15 & P & P \\ 8 & 0 & 5 & 17 & 7 & P & P \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & 17 & 4 & 0 & 24 & 9 & P \\ 15 & 7 & 4 & 24 & 0 & P & 2 \\ P & P & 6 & 9 & P & 0 & 11 \\ P & P & 8 & P & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 2^* & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 2^* & 6 & 7 \\ 2^* & 2 & 3 & 2^* & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 3.

Для подстановок используется узел $k = 3$ и маршруты для достижения узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, содержащие узел 3.

Символом * обозначены точки рационального введения узла $i = 3$ в маршруты.

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & 11 & 13 & 15 \\ 8 & 0 & 5 & 9 & 7 & 11 & 13 \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & 9 & 4 & 0 & 8 & 9 & 12 \\ 11 & 7 & 4 & 8 & 0 & 10 & 2 \\ 13 & 11 & 6 & 9 & 10 & 0 & 11 \\ 15 & 13 & 8 & 12 & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 3^* & 3^* & 3^* \\ 1 & 2 & 3 & 3^* & 5 & 3^* & 3^* \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 3^* & 3 & 4 & 3^* & 6 & 3^* \\ 3^* & 2 & 3 & 3^* & 5 & 3^* & 7 \\ 3^* & 3^* & 3 & 4 & 3^* & 6 & 7 \\ 3^* & 3^* & 3 & 3^* & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 4.

Для подстановок используется узел $k = 4$ и маршруты для достижения узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Символом * обозначены точки рационального введения в маршруты узла $i = 4$.

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & 11 & 13 & 15 \\ 8 & 0 & 5 & 9 & 7 & 11 & 13 \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 8 \\ 9 & 9 & 4 & 0 & 8 & 9 & 12 \\ 11 & 7 & 4 & 8 & 0 & 10 & 2 \\ 13 & 11 & 6 & 9 & 10 & 0 & 11 \\ 15 & 13 & 8 & 12 & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 3 \\ 3 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 7 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 5.

Для подстановок используется узел $k = 5$ и маршруты узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Символом * обозначены точки рационального введения в маршруты узла $i = 5$.

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & 11 & 13 & 13 \\ 8 & 0 & 5 & 9 & 7 & 11 & 9 \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 6 \\ 9 & 9 & 4 & 0 & 8 & 9 & 10 \\ 11 & 7 & 4 & 8 & 0 & 10 & 2 \\ 13 & 11 & 6 & 9 & 10 & 0 & 11 \\ 13 & 9 & 6 & 10 & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 5* \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 5* \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 5* \\ 1 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 5* \\ 3 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 7 \\ 5* & 5* & 5* & 5* & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Шаг 6.

Для подстановок используется узел $k = 6$ и маршруты узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Подстановки узла $i = 6$ оказываются безрезультатными и не изменяют матрицы Q и F .

Шаг 7.

Для подстановок используется узел $k = 7$ и маршруты узлов $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Подстановки узла $i = 7$ также оказываются безрезультатными.

Итоговые матрицы имеют следующий вид:

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 8 & 7 & 9 & 11 & 13 & 13 \\ 8 & 0 & 5 & 9 & 7 & 11 & 9 \\ 7 & 5 & 0 & 4 & 4 & 6 & 6 \\ 9 & 9 & 4 & 0 & 8 & 9 & 10 \\ 11 & 7 & 4 & 8 & 0 & 10 & 2 \\ 13 & 11 & 6 & 9 & 10 & 0 & 11 \\ 13 & 9 & 6 & 10 & 2 & 11 & 0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 5 \\ 3 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 & 7 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 3 & 6 & 7 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 6 & 7 \end{vmatrix}.$$

Межузловые маршруты определяются по матрице F ; поскольку граф не ориентирован и пространство узлов и связей изотропно, то все маршруты инвертируемы:

$1 \rightarrow 2$: 1–2; $1 \rightarrow 3$: 1–3; $1 \rightarrow 4$: 1–4; $1 \rightarrow 5$: 1–3–5; $1 \rightarrow 6$: 1–3–6; $1 \rightarrow 7$: 1–3–5–7

$2 \rightarrow 3$: 2–3; $2 \rightarrow 4$: 2–3–4; $2 \rightarrow 5$: 2–5; $2 \rightarrow 6$: 2–3–6; $2 \rightarrow 7$: 2–5–7

$3 \rightarrow 4$: 3–4; $3 \rightarrow 5$: 3–5; $3 \rightarrow 6$: 3–6; $3 \rightarrow 7$: 3–5–7

$4 \rightarrow 5$: 4–3–5; $4 \rightarrow 6$: 4–6; $4 \rightarrow 7$: 4–5–7

$5 \rightarrow 6$: 5–3–6; $5 \rightarrow 7$: 5–7

$6 \rightarrow 7$: 6–7.

Маршруты для ориентированной сети могут не обладать изотропностью, и для такой сети в общем случае потребуется синтез всех маршрутов.

8. Планирование материальных потоков в узлах и каналах коммуникационных сетей

8.1. Задача планирования материальных потоков в сетевых каналах и узлах является центральной потоковой задачей при обосновании выбора пропускной способности сетевых узлов и каналов. Решение данной задачи гарантирует устойчивое функционирование любых коммуникационных систем в рабочем диапазоне материальных нагрузок. Она относится к категории задач потоковой оптимизации однопродуктовых технологических сетей: для заданного набора узлов коммуникационной сети, среди которого имеются источники с ограниченной производительностью и потребители с ограниченным потреблением материального потока. При заданной стоимости

транспортировки единиц материального потока между узлами сети необходимо так распределить частные материальные потоки от источников к потребителям, чтобы суммарная стоимость транспортировки продукта была минимальной.

8.2. Рассматриваемая задача применяется для оптимального выбора пропускной способности узлов и каналов при проектировании, например, сетей передачи данных.

8.3. Для решения задач этой категории используется методика их сведения к задачам линейного программирования.

Пусть задано исходное множество соединенных узлов сети с номерами $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, которое включает множество узлов–источников материального потока $I = \{I_q\}$, $q = 1, 2, \dots, k$, множество узлов–потребителей $P = \{P_d\}$, $d = 1, 2, \dots, g$, а также некоторое количество промежуточных коммуникационных узлов. Кроме того, заданы верхние ограничения производительности источников $I = \{I_q\}$, нижние или верхние ограничения на узловое потребление материальных потоков $W = \{W_d\}$, а также матрица стоимости межузловой транспортировки единиц материального потока от источников к потребителям $C = [C_{ij}]$; $i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, g$. Значения C_{ij} конечны для всех i, j , при этом $C_{ii} = 0$.

8.4. Планирование предполагает нахождение наилучшего в определенном смысле распределения потоков между источниками и потребителями $\{X_{qd}\}$ с помощью реализации следующих процедур:

- процедуры сведения исходной задачи к задаче линейного программирования;
- процедуры нахождения первоначального допустимого решения (опорного плана оптимизации) методом северо-западного угла;
- процедуры решения задачи линейного программирования симплекс-методом или иным итерационным методом путем оптимизации первоначального допустимого решения.

8.5. Процедура сведения исходной задачи к задаче линейного программирования заключается в следующем.

Допустим, что X_{qd} – величина локального материального потока–

трафика, транспортируемого по сети в требуемый час контроля нагрузки от источника q к потребителям d . Обычно выбирается час наибольшей нагрузки и час наименьшей нагрузки, что выявляет возможный размах колебания трафика.

Из-за ограниченной производительности источников по формированию исходящего трафика должна соблюдаться система неравенств:

$$\{X_{q1} + X_{q2} + \dots + X_{qd} + \dots + X_{qm} \leq I_q\}.$$

У каждого потребителя P_d формируется материальный поток, который объединяет локальные потоки от всех источников. Его величина должна быть не выше заданных ограничений по потреблению материального потока (входящего трафика), что требует соблюдения еще одной системы неравенств:

$$\{X_{1d} + X_{2d} + \dots + X_{qd} + \dots + X_{kd} \leq W_d\}.$$

Системы неравенств задают распределение локальных материальных потоков от источников к потребителям с учетом ограничений производительности и потребления. Задача имеет технический смысл только для случая, когда

$$I_1 + I_2 + \dots + I_k \leq W_1 + W_2 + \dots + W_g.$$

Чаще всего все ограничения целесообразно задавать в виде равенств, что соответствует сбалансированной сети и канонической задаче линейного программирования для часа наибольшей нагрузки.

Неотрицательные решения $\{X_{qd}\}$, удовлетворяющие указанным выше неравенствам, называются допустимыми.

Необходимо определить распределения материальных потоков источников между потребителями $\{X_{qd} > 0\}$, которые удовлетворяли бы системам линейных равенств или неравенств (то есть были бы допустимыми) и минимизировали бы линейный функционал стоимости транспортировки материального потока (то есть были бы оптимальными или субоптимальными):

$$L = X_{11}C_{11} + X_{12}C_{12} + \dots + X_{1g}C_{1g} + X_{21}C_{21} + X_{22}C_{22} + \dots + \\ + X_{2g}C_{2g} + \dots + X_{k1}C_{k1} + X_{k2}C_{k2} + \dots + X_{kg}C_{kg} \rightarrow \min$$

8.6. Процедура нахождения первоначального допустимого решения методом северо-западного угла заключается в следующем.

Используется специальная таблица северо-западного угла с размерностью $k \times d$ и нулевыми позициями. В процессе реализации метода нулевые позиции таблицы будут заполняться начальными допустимыми значениями X_{qd} .

Исходная таблица имеет следующий вид:

0	0	0	...	0	...	0	I_1
0	0	0	...	0	...	0	I_2
0	0	0	...	0	...	0	I_3
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_q
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_k
W_1	W_2	W_3	...	W_d	...	0	W_g^*

А. Ячейка элемента X_{11} северо-западного (верхнего левого) угла заполняется значением I_1 , если $I_1 < W_1$ и весь объем W_1 продукта первого источника передается первому потребителю. При этом таблица приобретает следующий вид:

I_1	0	0	...	0	...	0	0
0	0	0	...	0	...	0	I_2
0	0	0	...	0	...	0	I_3
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_q
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_k
$W_1 - I_1$	W_2	W_3	...	W_d	...	0	W_g^*

Б. Ячейка элемента X_{11} северо-западного угла заполняется значением W_1 и весь объем продукта первого потребителя восполняется первым источником. В этом случае таблица приобретает вид:

W_1	0	0	...	0	...	0	$I_1 - W_1$
0	0	0	...	0	...	0	I_2
0	0	0	...	0	...	0	I_3
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_q
...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	...	0	...	0	I_k
0	W_2	W_3	...	W_d	...	0	W_g^*

В. Последовательно продолжая указанный процесс и руководствуясь положением северо-западного угла, заполняется вся таблица:

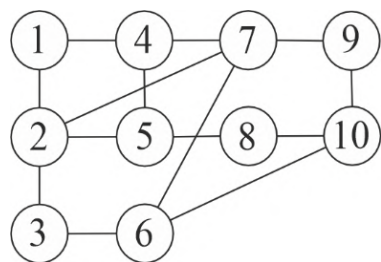
$$\begin{array}{cccccc} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \dots & X_{1m} & 0 \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \dots & X_{2m} & 0 \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \dots & X_{3m} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{k1} & X_{k2} & X_{k3} & \dots & X_{kq} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0^* & \dots \end{array}.$$

Г. Полученные значения элементов X_{qd} таблицы определяют начальное допустимое неоптимизированное решение и применяются в качестве так называемого опорного плана процесса оптимизации.

8.7. Задача оптимизации может быть решена путем применения метода Жордана–Гаусса для получения приведенных систем ограничений и последующего использования итерационных методов (допустим, симплекс-метода) для решения задачи оптимизации.

8.8. Пример

Рассмотрим планирование материальных потоков в сети, имеющей следующую структуру:



Матрица обобщенных весов

$$C = \begin{vmatrix} 0 & 3 & P & 5 & P & P & P & P & P & P \\ 3 & 0 & 7 & P & 6 & P & 9 & P & P & P \\ P & 7 & 0 & P & P & 5 & P & P & P & P \\ 5 & P & P & 0 & 4 & P & 7 & P & P & 15 \\ P & 6 & P & 4 & 0 & P & P & 6 & P & P \\ P & P & 5 & P & P & 0 & 11 & P & P & 16 \\ P & 9 & P & 7 & P & 11 & 0 & P & 9 & P \\ P & P & P & P & 6 & P & P & 0 & P & 8 \\ P & P & P & P & P & P & 9 & P & 0 & 5 \\ P & P & P & 15 & P & 16 & P & 8 & 5 & 0 \end{vmatrix}.$$

А. Сетевые источники–узлы 1, 3 с производительностью $V_1 = 10$, $V_3 = 5$ единиц обобщенного продукта в час наибольшей нагрузки соответственно.

Потребители–узлы 5, 8, 9, 10 с нижними ограничениями на потребление $W_5 \leq 4, 5$, $W_8 \leq 5$, $W_9 \leq 2, 3$, $W_{10} \leq 3, 2$ единиц обобщенного

продукта в час наибольшей нагрузки. Сетевые коммутаторы–узлы 2, 4, 6, 7.

Стоимость транспортировки единиц обобщенного продукта от источников к потребителям в условных единицах составляет:

1,43 для $1 \rightarrow 5$; 2,39 для $1 \rightarrow 8$; 3,29 для $1 \rightarrow 9$; 3,08 для $1 \rightarrow 10$;

2,03 для $3 \rightarrow 5$; 2,09 для $3 \rightarrow 8$; 3,89 для $3 \rightarrow 9$; 3,21 для $3 \rightarrow 10$.

Б. Сведение потоковой задачи к задаче линейного программирования с учетом заданных ограничений производительности источников (узлы 1, 3) и потребителей (узлы 5, 8, 9, 10) позволяют получить совокупность неравенств и линейный функционал вида:

$$X_1 = X_{15} + X_{18} + X_{19} + X_{110} \leq 10;$$

$$X_5 = X_{15} + X_{35} \leq 4,5;$$

$$X_3 = X_{35} + X_{38} + X_{39} + X_{310} \leq 5;$$

$$X_8 = X_{18} + X_{38} \leq 5;$$

$$X_9 = X_{19} + X_{39} \leq 2,3;$$

$$X_{10} = X_{110} + X_{310} \leq 3,2;$$

$$L = 1,43X_{15} + 2,39X_{18} + 3,29X_{19} + 3,08X_{110} + \\ + 2,03X_{35} + 2,09X_{38} + 3,89X_{39} + 3,21X_{310} \rightarrow \min.$$

В. Применение метода северо-западного угла:

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	0	0	0	0	10
X_3	0	0	0	0	5
	4,5	5	2,3	3,2	*

Шаг 1.

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	4,5	0	0	0	5,5
X_3	0	0	0	0	5
	0	5	2,3	3,2	*

Шаг 2.

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	4,5	0	0	0	0,5
X_3	0	0	0	0	5
	0	0	2,3	3,2	*

Шаг 3.

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	4,5	5	0,5	0	0
X_3	0	0	0	0	5
	0	0	1,8	3,2	*

Шаг 4.

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	4,5	5	0,5	0	0
X_3	0	0	1,8	0	3,2
	0	0	0	3,2	*

Шаг 5.

	X_5	X_8	X_9	X_{10}	
X_1	4,5	5	0,5	0	0
X_3	0	0	1,8	3,2	0
	0	0	0	0	*

Начальные значения потоков составят:

$$X_{15} = 4,5; \quad X_{18} = 5; \quad X_{19} = 0,5; \quad X_{110} = 0;$$

$$X_{35} = 0; \quad X_{38} = 0; \quad X_{39} = 1,8; \quad X_{310} = 3,2.$$

При таком распределении опорного плана стоимость транспортировки составит:

$$L = 1,43 \cdot 4,5 + 2,39 \cdot 5 + 3,29 \cdot 0,5 + 3,08 \cdot 0 + \\ + 2,03 \cdot 0 + 2,09 \cdot 0 + 3,89 \cdot 1,8 + 3,21 \cdot 3,2 = 37,304.$$

Решение задачи линейного программирования итерационным симплекс-методом приводит к улучшению решения и к следующим субоптимальным результатам:

$$X_{15} = 2,77; \quad X_{18} = 3,57; \quad X_{19} = 1,39; \quad X_{110} = 2,27;$$

$$X_{35} = 1,73; \quad X_{38} = 1,43; \quad X_{39} = 0,91; \quad X_{310} = 0,93;$$

$$L_{\min} = 35,442.$$

9. Построение портрета потоков и выбор пропускной способности каналов

9.1. Под портретом потоков однопродуктовой сети понимают отношение, которое содержит кортежи следующего состава:

$$\langle \text{НОО}q \rangle \langle \text{НОП}d \rangle \quad \langle X_{qd1} - \text{ПН} \rangle \langle X_{dq1} - \text{ОН} \rangle \quad \langle X_{qd2} - \text{ПН} \rangle \langle X_{dq2} - \text{ОН} \rangle \\ \langle X_{qdK} - \text{ПН} \rangle \langle X_{dqK} - \text{ОН} \rangle.$$

Ключевыми атрибутами кортежей являются:

- НОО – номер абонента–отправителя потока q ;
- НОП – номер абонента–получателя потока d .

Параметрами процессов транспортировки являются интенсивности потоков $\langle Xqdr - \text{ПН} \rangle$ $\langle Xdqr - \text{ОН} \rangle$, передаваемые по r -ному дуплексному каналу в прямом направлении (ПН), за которое первоначально может быть выбрано направление возрастания номеров r взаимодействующих узлов, или в обратном направлении (ОН). Для симплексных каналов прямое направление определяется направлением проводимости канала, при этом одно из значений параметров в паре будет нулевым. Первоначально выбранные направления в дальнейшем не корректируются.

9.2. Для конкретной сети должны быть построены все маршруты передачи в количестве $k \times g$, которые задают нижнюю границу числа кортежей в отношении. Отношение может дополняться необходимыми вспомогательными маршрутами.

9.3. Маршруты отображаются с помощью атрибутов кортежей, которые задействуются в каждом конкретном маршруте для каждого интересующего часа контроля нагрузки. Различные маршруты могут использовать одни и те же каналы. Это позволяет для каждого часа контроля нагрузки сформировать индивидуальные отношения и использовать их в дальнейших расчетах.

9.4. Величина интенсивности консолидированных потоков в канале r в прямом и в обратном направлениях вычисляется как простая сумма одноименных атрибутов потоков:

$$\langle \Lambda r - \text{ПН} \rangle = \sum_{q=1}^k \sum_{d=1}^g \langle Xqdr - \text{ПН} \rangle;$$

$$\langle \Lambda r - \text{ОН} \rangle = \sum_{q=1}^k \sum_{d=1}^g \langle Xqdr - \text{ОН} \rangle$$

для $r = 1, 2, \dots, K$.

Таким же образом рассчитываются интенсивности консолидированных потоков на входах $\langle \Lambda i - \text{ВХ} \rangle$ узлов:

$$\langle \Lambda_i - BX \rangle = \sum_{q=1}^k \sum_{i=1}^g \langle X_{qir} - BX \rangle,$$

где $\langle X_{qir} - BX \rangle$ – интенсивность потока, поступающего от источника q на вход узла i .

9.5. Пропускная способность каналов и узлов выбирается из условия материального баланса: для любого часа наибольшей нагрузки пропускная способность должна иметь защитный интервал и на 7–10 % превышать ожидаемую интенсивность потоков.

9.6. Пример

Для сети, рассмотренной в п. 2.5, найдены следующие потоки:

$$\begin{aligned} X_{15} &= 2,77; \quad X_{18} = 3,57; \quad X_{19} = 1,39; \quad X_{110} = 2,27; \\ X_{35} &= 1,73; \quad X_{38} = 1,43; \quad X_{39} = 0,91; \quad X_{310} = 0,93. \end{aligned}$$

Оптимальные маршруты этой сети определены методом Флойда–Ху:

- для источника 1 и потребителей 5, 8, 9, 10 они соответствуют цепям каналов 1–2–5; 1–2–5–8; 1–2–7–9; 1–4–10;
- для источника 3 и потребителей 5, 8, 9, 10 цепи образуются последовательностями каналов 3–2–5; 3–2–5–8; 3–6–7–9; 3–6–10.

Потоки в узлах сети составляют мутационный узел:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{15} + X_{18} + X_{19} + X_{110} = 10; \\ X_2 &= X_{15} + X_{18} + X_{19} + X_{35} + X_{38} = 10,89; \\ X_3 &= X_{35} + X_{38} + X_{39} + X_{310} = 5; \\ X_4 &= X_{110} = 2,27; \\ X_5 &= X_{15} + X_{35} + X_{18} + X_{38} = 9,5; \\ X_6 &= X_{39} + X_{310} = 1,84; \\ X_7 &= X_{19} + X_{39} = 2,3; \\ X_8 &= X_{18} + X_{38} = 5; \\ X_9 &= X_{19} + X_{39} = 2,3; \\ X_{10} &= X_{110} + X_{310} = 3,2, \end{aligned}$$

где $i = 1; j = 3$;

при этом материальный поток в 5 ед. об. продукта передается из узла 5 в узел 8.

Потоки в сетевых каналах, вычисленные по сокращенной схеме, представлены в таблице 1, в которой приведены также расчетные значения требуемой пропускной способности каналов.

Таблица 1

Величина потоков в сетевых каналах

Узлы		Каналы										
<i>i</i>	<i>j</i>	1-2	1-4	4-10	2-5	2-7	3-2	3-6	5-8	6-7	7-9	7-10
1	5	2,77	0	0	2,77	0	0	0	0	0	0	0
1	8	3,57	0	0	3,57	0	0	0	3,57	0	0	0
1	9	1,39	0	0	0	1,39	0	0	0	0	1,39	0
1	10	0	2,27	2,27	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	0	0	0	1,73	0	1,73	0	0	0	0	0
3	8	0	0	0	1,43	0	1,43	0	1,43	0	0	0
3	9	0	0	0	0	0	0	0,91	0	0,91	0,91	0
3	10	0	0	0	0	0	0	0,93	0	0	0	0,93
Сумма		7,73	2,27	2,27	9,5	1,39	3,16	1,84	5	0,91	2,3	0,93
Расчетные значения		8,5	2,5	2,5	10,5	1,6	3,5	2,0	5,5	1,2	2,6	1,2

Для стабильного функционирования сети пропускная способность ее каналов должна превосходить расчетные значения на 7–10%. Резервными каналами сети являются $\langle 4, 5 \rangle$, $\langle 4, 7 \rangle$, $\langle 6, 7 \rangle$, $\langle 8, 10 \rangle$, $\langle 9, 10 \rangle$.

Входные потоки узлов сети позволяют оценить их необходимую пропускную способность:

$$X_{12} = X_{15} + X_{18} + X_{19} = 7,73;$$

$$X_{14} = X_{110} = 2,27;$$

$$X_{25} = X_{15} + X_{18} + X_{35} + X_{38} = 9,5;$$

$$X_{27} = X_{19} = 1,39;$$

$$X_{32} = X_{35} + X_{38} = 3,16;$$

$$X_{36} = X_{39} + X_{310} = 0,93;$$

$$X_{410} = X_{110} = 2,27;$$

$$X_{58} = X_{18} + X_{38} = 5;$$

$$X_{67} = X_{39} = 0,91;$$

$$X_{610} = X_{310} = 0,93;$$

$$X_{79} = X_{19} + X_{39} = 2,3.$$

Для стабильного функционирования сети пропускная способность узлов также должна превосходить расчетные значения на 7–10%.

10. Расчет максимальных межузловых потоков и обеспечение устойчивого функционирования системы

10.1. Расчет максимальных межузловых потоков.

10.1.1. Задача расчета максимальных межузловых потоков применяется для обоснования потоковой нагрузки на технические и программные средства коммуникационной системы при заданной пропускной способности сетевых каналов. Решение задачи гарантирует устойчивое функционирование любых коммуникационных систем в рабочем диапазоне материальных нагрузок. Она относится к категории задач потоковой оптимизации однопродуктовых технологических сетей и имеет конкретное технико-экономическое содержание: для заданного набора узлов коммуникационной сети при определенной пропускной способности сетевых каналов рассчитываются максимально возможные межузловые потоки в сети.

10.1.2. На определение максимальных потоков для всех пар узлов сети ориентирован метод Гомори–Ху; это так называемый многополюсный вариант. Не меньшую значимость имеет метод Форда–Фалкерсона для конкретных пар узлов (двухполюсный вариант). В частности, он применяется при практической реализации метода Гомори–Ху.

10.1.3. Пусть задано исходное множество соединенных узлов сети с номерами $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, а также пропускная способность межузловых каналов $C = [C_{ij}]$. Значения пропускной способности каналов C_{ij} конечны для всех i, j , при этом $C_{ii} = P$ (значение бесконечности), а для несмежных узлов $C_{ij} = 0$.

Метод Гомори–Ху предполагает многошаговое преобразование исходного графа реальной коммуникационной сети в виртуальное дерево

минимальных разрезов, которое является исключительно абстрактной моделью и отражает только свойства реальных объектов. Узлы дерева минимальных разрезов и их количество совпадают с узлами исходного графа. Ребра дерева минимальных разрезов являются искусственными построениями. Любому ребру, соединяющему узлы R_i и R_j дерева, приписывается пропускная способность S_{ij} минимального разреза, отделяющего узел R_i от узла R_j исходного графа. В соответствии с теоремой Форда–Фалкерсона величина минимального разреза определяет максимальный материальный поток между этими узлами.

10.1.4. Если граф минимальных разрезов построен, то величина максимального потока X_{ij} между любой парой узлов R_i, R_j исходного графа определяется пропускной способностью ребра, входящего в маршрут между узлами R_i, R_j дерева минимальных разрезов и имеющего ее минимальное значение по сравнению с пропускной способностью остальных ребер этого маршрута.

10.1.5. Алгоритм построения дерева минимальных разрезов предполагает реализацию многошагового процесса, при этом выполняются следующие операции:

- в исходном графе выбирается произвольная пара узлов R_i, R_j ;
- по методу Форда–Фалкерсона рассчитывается величина максимального потока X_{ij} между узлами R_i, R_j ;
- в исходном графе строится разрез, отделяющий узел R_i от узла R_j и имеющий расчетную величину X_{ij} ;
- разрез может отделять друг от друга либо одиночный (атомарный) узел R_i и конденсация узлов, содержащих узел R_j , либо две конденсации узлов, одна из которых содержит узел R_i , а вторая узел R_j ; под конденсацией узлов понимается некоторая группа узлов, которые произвольным образом связаны между собой;
- узел R_i , или конденсация узлов, содержащая узел R_i , а также конденсация узлов, содержащая узел R_j , объявляются узлами дерева минимальных разрезов; они соединяются виртуальным ребром с пропускной способностью $S_{ij} = X_{ij}$;

- конденсация узлов, находящихся по одну сторону разреза и содержащая узел R_i , преобразуется рассмотренным выше способом в последовательную цепь атомарных узлов, при этом виртуальным ребрам присваиваются значения пропускной способности, которые соответствуют величинам разрезов между узлами, входящими в конденсацию;

- в конденсации, содержащей узел R_j , выбирается произвольный узел R_k и производится повторение операций до образования дерева минимальных разрезов, которое содержит лишь атомарные узлы исходного графа и не содержит конденсаций узлов.

10.1.6.1. Алгоритм Форда–Фалкерсона заключается в следующем:

- определяются h возможных альтернативных маршрутов M_h между парой узлов R_i, R_j , которые располагаются в порядке возрастания их длины – количества входящих ребер (дуг):

$$M_1(a) = R_i, R_{q11}, R_{q12}, R_{q13}, \dots, R_j;$$

$$M_2(b) = R_i, R_{q21}, R_{q22}, R_{q23}, \dots, R_j;$$

$$M_2(c) = R_i, R_{q31}, R_{q32}, R_{q33}, \dots, R_j;$$

...

$$M_h(f) = R_i, R_{qh1}, R_{qh2}, R_{qh3}, \dots, R_j,$$

где $a, b, c, \dots, f$ – количество ребер (дуг) в первом, втором и так далее маршрутах, при этом $a < b < c < \dots < f$;

- на основании значений элементов матрицы обобщенных весов формируются последовательности значений пропускной способности ребер (дуг), входящих в альтернативные маршруты между узлами R_i и R_j :

$$C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1a}; C_{21}, C_{22}, C_{23}, \dots, C_{2b};$$

$$C_{31}, C_{32}, C_{33}, \dots, C_{3c}; \dots, C_{h1}, C_{h2}, C_{h3}, \dots, C_{hf};$$

- в первом альтернативном маршруте выбирается ребро (дуга) с минимальной пропускной способностью $C_1 = \min\{C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1a}\}$ и производится насыщение первого маршрута потоком $X_1 = C_1$; насыщенный маршрут более не может увеличивать материальный поток;

- находятся остаточные величины пропускной способности ребер (дуг) $C(1)_{qk}$ альтернативных маршрутов для $q = 1, 2, 3, \dots, g$:

$$C(1)_{q1} = C_{q1} - K_{q11}X_1; \quad C(1)_{q2} = C_{q2} - K_{q21}X_1; \quad \dots \quad C(1)_{qk} = C_{qk} - K_{qk1}X_1,$$

где $K_{q11}, K_{q21}, \dots, K_{qk1}$ – бинарные коэффициенты вхождения ребер (дуг) с номерами 1, 2, ..., k альтернативного маршрута q в первый маршрут, при этом

$K_{qw1} = 0$, если ребро (дуга) с номером w некоторого маршрута q не входит в первый альтернативный маршрут;

$K_{qw1} = 1$, если ребро (дуга) с номером w некоторого маршрута q входит в первый альтернативный маршрут;

- во втором альтернативном маршруте выбирается ребро (дуга) с минимальной пропускной способностью $C_2 = \min\{C(1)_{21}, C(1)_{22}, C(1)_{23}, \dots, C(1)_{2b}\}$ и производится насыщение второго маршрута потоком $X_2 = C_2$;

- находятся остаточные величины пропускной способности ребер (дуг) $C(2)_{qk}$ альтернативных маршрутов:

$$C(2)_{q1} = C(1)_{q1} - K_{q12}X_2; \quad C(2)_{q2} = C(1)_{q2} - K_{q22}X_2; \quad \dots \quad C(2)_{qk} = \\ = C(1)_{qk} - K_{qk2}X_2,$$

где $K_{q12}, K_{q22}, \dots, K_{qk2}$ – бинарные коэффициенты вхождения ребер (дуг) с номерами 1, 2, ..., k альтернативного маршрута q во второй маршрут, при этом

$K_{qw2} = 0$, если ребро (дуга) с номером w некоторого маршрута q не входит во второй альтернативный маршрут;

$K_{qw2} = 1$, если ребро (дуга) с номером w некоторого маршрута q входит во второй альтернативный маршрут;

если для некоторого ребра w маршрута q оказывается $S(1)_{qw} - K_{qw2}X_2 < 0$, то принимается $S_{2qw} = 0$;

- продолжается процесс насыщения для $q = 3, 4, \dots, g$.

Альтернативные маршруты, для которых $X_q > 0$, называются аугментальными, то есть повышающими поток в узле R_j . Учитывая последовательное насыщение маршрутов и наличие у них общих ребер (дуг), часть альтернативных маршрутов будет иметь значения $X_q = 0$, а маршруты не будут аугментальными.

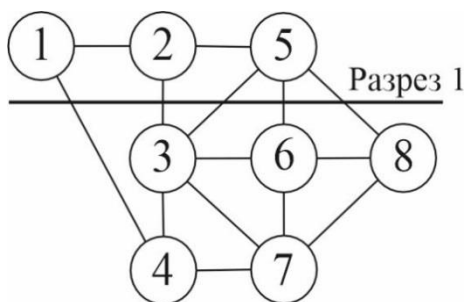
Рассчитывается максимально возможный поток между узлами R_i, R_j :

$$X_{ij} = X_1 + X_2 + \dots + X_g$$

как сумма насыщающих потоков аугментальных маршрутов.

10.1.7. Пример

Рассмотрим расчет максимальных межузловых потоков в сети. Будем считать матрицу C матрицей пропускной способности:



Матрица обобщенных весов

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 9 & P & 3 & P & P & P & P \\ 9 & 0 & 2 & P & 7 & P & P & P \\ P & 2 & 0 & 2 & 4 & 8 & 6 & P \\ 3 & P & 2 & 0 & P & P & 5 & P \\ P & 7 & 4 & P & 0 & 10 & P & 9 \\ P & P & 8 & P & 10 & 0 & 7 & 12 \\ P & P & 6 & 5 & P & 7 & 0 & 10 \\ P & P & P & P & 9 & 12 & 10 & 0 \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим произвольную пару узлов сети 5, 6 и определим максимально возможный поток между этими узлами по методу Форда–Фалкерсона. Возможные альтернативные маршруты M и насыщающие значения потоков составляют следующий перечень:

- $\langle 5, 6 \rangle; C_{56} = 10; X_1 = 10;$
- $\langle 5, 8, 6 \rangle; C_{586} = 9; X_2 = 9;$
- $\langle 5, 3, 6 \rangle; C_{536} = 4; X_3 = 4;$
- $\langle 5, 2, 3, 6 \rangle; C_{5236} = 2; X_4 = 2;$
- $\langle 5, 2, 1, 4, 3, 6 \rangle; C_{521436} = 2; X_5 = 2;$
- $\langle 5, 2, 1, 4, 7, 6 \rangle; C_{521476} = 3; X_6 = 1;$
- $\langle 5, 2, 1, 4, 7, 3, 6 \rangle; C_{5214736} = 3; X_7 = 0;$
- $\langle 5, 2, 1, 4, 7, 8, 6 \rangle; C_{5214786} = 3; X_8 = 0.$

Максимально возможный поток

$$C_{56} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 = 28.$$

Этому потоку соответствует минимальный разрез $1\langle 1, 4 \rangle, \langle 2, 3 \rangle, \langle 3, 5 \rangle, \langle 5, 6 \rangle, \langle 5, 8 \rangle$, величина которого равна 28. Разрез позволяет произвести первый этап преобразования исходного графа.

Аналогичным образом рассматриваются пары узлов $\langle 1, 5 \rangle$ и $\langle 2, 5 \rangle$. Максимальный поток $C_{15} = 12$ и ему соответствует минимальный разрез

$\langle 1, 2 \rangle$, $\langle 1, 4 \rangle$. Максимальному потоку $C_{25} = 12$ соответствует минимальный разрез $\langle 1, 4 \rangle$, $\langle 2, 3 \rangle$, $\langle 2, 5 \rangle$. Разрезы позволяют произвести второй этап преобразования исходного графа.

Узлы 3, 4, 7, 8 отделяются от узла 6 в атомарном виде следующими разрезами:

узел 3 $\rightarrow C_{36} = 22$, разрез $\langle 2, 3 \rangle$, $\langle 3, 4 \rangle$, $\langle 3, 5 \rangle$, $\langle 3, 6 \rangle$, $\langle 3, 7 \rangle$;

узел 4 $\rightarrow C_{46} = 10$, разрез $\langle 4, 1 \rangle$, $\langle 4, 3 \rangle$, $\langle 4, 7 \rangle$;

узел 7 $\rightarrow C_{76} = 28$, разрез $\langle 7, 3 \rangle$, $\langle 7, 4 \rangle$, $\langle 7, 6 \rangle$, $\langle 7, 8 \rangle$;

узел 8 $\rightarrow C_{86} = 31$, разрез $\langle 8, 5 \rangle$, $\langle 8, 6 \rangle$, $\langle 8, 7 \rangle$.

Матрица максимальных межузловых потоков X в сети имеет вид:

$$X = \begin{vmatrix} - & 12 & 12 & 10 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & - & 12 & 10 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & - & 10 & 22 & 22 & 22 & 22 \\ 10 & 10 & 10 & - & 10 & 10 & 10 & 10 \\ 12 & 12 & 22 & 10 & - & 28 & 28 & 28 \\ 12 & 12 & 22 & 10 & 28 & - & 28 & 31 \\ 12 & 12 & 22 & 10 & 28 & 28 & - & 28 \\ 12 & 12 & 22 & 10 & 28 & 31 & 28 & - \end{vmatrix}.$$

10.2. Оценка минимального количества каналов и узлов, нарушение работоспособности которых приводит к разрыву сети.

10.2.1. Коммуникационные системы характеризуются высоким уровнем насыщения разнообразными техническими и программными средствами, которые имеют конечные значения показателей надежности. Для обеспечения устойчивого функционирования этих систем технически оправдано резервирование их составных частей. Определяющим моментом является оценка минимального количества каналов и узлов, нарушение работоспособности которых приводит к разрыву сети. В основе принятия решений в данном случае лежит теорема Френка–Фриша.

10.2.2. Теорема Френка–Фриша. Если каждому каналу связной сети условно присвоить пропускную способность, равную 1, то величина максимального потока между любой парой узлов сети равна минимальному числу каналов, соединяющих эти узлы, нарушение

работоспособности которых приводит к разрыву сети между указанными узлами. Данная теорема определяет технологию решения задач по оценке минимального количества каналов и узлов, нарушение работоспособности которых сопровождается разрывом сети.

10.2.3. Алгоритм решения задачи оценки минимального количества каналов включает следующие шаги:

- условное присвоение пропускной способности, равной 1, каждому сетевому каналу;
- решение задачи по расчету величины максимальных потоков между всеми парами узлов сети;
- формирование сводной таблицы рационального резервирования каналов с учетом их функциональной важности и ожидаемых показателей надежности.

Минимальное количество каналов, нарушение работоспособности которых приводит к разрыву сети, соответствует количеству выполненных циклов трансформации до разрыва сети.

10.2.4. Алгоритм решения задачи по оценке минимального количества узлов включает следующие шаги трансформации и анализа системы:

- отбор системного узла, имеющего максимальную степень (количество каналов, инцидентных узлу);
- трансформация системы путем удаления отобранного узла и всех инцидентных ему каналов из сети;
- условное присвоение пропускной способности, равной 1, каждому сетевому каналу оставшейся части системы;
- решение задачи по расчету величин максимальных потоков между всеми парами узлов трансформированной системы;
- оценка отсутствия разрывов в сети, повторение указанных операций трансформации и анализа при отсутствии разрывов, а также подсчет выполненных циклов трансформации до образования разрывов;
- анализ появления возможных нулевых значений максимальных потоков, что указывает на разрыв сети.

Следует отметить, что фактически данная схема предполагает последовательное удаление центральных и наиболее значимых узлов системы.

10.2.5. Рассматриваемый алгоритм может быть использован для оценки максимального количества неработоспособных узлов, для чего при трансформации отбираются системные узлы, имеющие минимальную степень. Эта схема предполагает последовательное удаление периферийных второстепенных узлов системы.

Список литературы

1. Гулай А.В. Адаптивное управление многоагентной интеллектуальной системой: алгоритмический аспект / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Наука и техника. – 2025. – Т. 24. – № 3. – С. 167–180.
2. Гулай А.В. Сетевое информационное взаимодействие агентов роя: техническая и программная реализация / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2024. – Т. 25 – № 6. – С. 295–305.
3. Гулай А.В. Организация процессов решения функциональных задач в мультиагентных системах / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Наука и техника. – 2025. – Т. 24. – № 2. – С. 87–97.
4. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов. – М.: Ленанд, 2021. – 304 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: КноРус, 2010. – 191 с.
6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
8. Дуглас Л. Анализ сетей (графов) в среде R. Руководство пользователя / Л. Дуглас. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 250 с.

© Гулай А.В., Богданова Е.А.

Глава 7.

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ СТЕНКУ В РЕЖИМЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ

Афанасьев Анатолий Михайлович

д.т.н., доцент, профессор

ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

Аннотация: Рассмотрена задача о теплообмене между двумя средами через разделяющую их плоскую стенку, при условиях, что на границах стенки имеют место краевые условия третьего рода, и что температура одной из сред имеет составляющую, изменяющуюся во времени по гармоническому закону.

Введено понятие комплексного коэффициента теплопередачи, который обобщает применяемое в литературе понятие коэффициента теплопередачи для стационарных полей и связывает амплитуду и начальную фазу колебаний температуры одной из сред с амплитудой и начальной фазой плотности теплового потока, передаваемого через пластину в другую среду.

Зависимость комплексного коэффициента теплопередачи от периода колебаний температуры описана с помощью параметра, который назван постоянной времени пластины для тепловых процессов. Показано, что в режиме, когда период колебаний превышает постоянную времени пластины, передача переменной части теплового потока через пластину происходит примерно так же, как и в случае стационарных полей. Если же период колебаний меньше постоянной времени, то с усилением этого неравенства интенсивность передаваемого через пластину теплового потока монотонно уменьшается и стремится к нулю.

В качестве примера произведен расчет характеристик теплопередачи для стенок из меди и строительного кирпича.

Полученные результаты найдут применение в теории теплообменных аппаратов рекуперативного типа при исследовании нестационарных режимов теплообмена между двумя средами.

Ключевые слова: математическая физика, теория теплопроводности, задача для пластины, краевые условия третьего рода, гармонический режим, метод комплексных амплитуд, тепловые волны, коэффициент теплопередачи, частотная характеристика, критерий Био, теплообменные аппараты, рекуперативный процесс.

COEFFICIENT OF HEAT TRANSFER THROUGH A FLAT WALL IN THE MODE OF HARMONIC TEMPERATURE CHANGE OF THE MEDIUM

Afanasyev Anatoly Mikhailovich

Abstract: The problem of heat exchange between two media through a flat wall separating them is considered, under the conditions that boundary conditions of the third kind occur at the boundaries of the wall, and that the temperature of one of the media has a component that varies over time according to a harmonic law.

The concept of a complex heat transfer coefficient is introduced, which generalizes the concept of a heat transfer coefficient for stationary fields used in the literature and relates the amplitude and initial phase of temperature fluctuations in one medium to the amplitude and initial phase of the heat flux density transmitted through a plate to another medium.

The dependence of the complex heat transfer coefficient on the period of temperature fluctuations is described using a parameter called the plate time constant for thermal processes. It is shown that in the mode when the oscillation period exceeds the time constant of the plate, the transfer of a variable part of the heat flow through the plate occurs in approximately the same way as in the case of stationary fields. If the oscillation period is less than the time constant, then with an increase in this inequality, the intensity of the heat flux transmitted through the plate decreases monotonously and tends to zero.

As an example, the heat transfer characteristics for walls made of copper and building bricks are calculated.

The results obtained will find application in the theory of recuperative type heat exchangers in the study of non-stationary modes of heat exchange between two media.

Key words: Mathematical physics, theory of thermal conductivity, plate problem, boundary conditions of the third kind, harmonic regime, method of complex amplitudes, heat waves, heat transfer coefficient, frequency response, Bio criterion, heat exchangers, regenerative process.

Введение

Задачи о температурном поле внутри пластины при граничных условиях первого, второго или третьего рода, одинаковых на обеих поверхностях пластины или различных, принадлежат к числу классических задач математической физики: [1, с. 26-32], [2, с. 109-112, с. 127-128], [3, с. 83-105, с. 191-216, с. 298-302], [4, с. 173-196], [5, с. 197-215, с. 238-241], [6, с. 543-547], [7, с. 644-645]. Полученные при их исследовании результаты широко применяют на практике для анализа природных и технологических процессов. Например, в химической промышленности они используются для расчета распределений температуры и влагосодержания внутри материалов при их нагревании и сушке [8]; для расчета характеристик и оптимизации режима работы теплообменных аппаратов [9]; для расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, характеризующих тепловое взаимодействие двух сред на разделяющей их границе [10, 11]; для решения задач идентификации, т.е. для определения теплофизических характеристик материалов по результатам измерения параметров температурных полей в специальном образом организованных экспериментах [2, 5, 12].

В настоящей статье мы будем анализировать работу тепловых аппаратов *рекуперативного типа*, в которых обмен теплом между двумя средами происходит через разделяющую их плоскую стенку. При рассмотрении работы таких устройств основной интерес чаще всего представляет не распределение температуры по толщине пластины, а плотность передаваемого через пластину теплового потока при задании

всех условий, однозначно определяющих тепловой процесс. В литературе такие задачи обычно называют *задачами о теплопередаче через плоскую стенку*. Если температуры обеих сред не изменяются, а температурное поле является установившимся стационарным, то задача о теплопередаче имеет известное решение, при записи которого вводится понятие *коэффициента теплопередачи* [13, 14]. Если же температура хотя бы одной из сред не остается постоянной, то расчет теплопередачи существенным образом усложняется; именно расчеты такого рода мы и намерены провести в настоящей статье; распространить понятие коэффициента теплопередачи на случай полей, изменяющихся во времени, и является ее темой.

При решении поставленной задачи мы ограничимся *гармоническим законом* изменяющейся во времени температуры среды, а тепловой режим будем считать установившимся гармоническим. Тогда связь между входным воздействием (изменяющейся по гармоническому закону температурой среды по одну из сторон пластины) и откликом системы (плотностью передаваемого через пластину теплового потока, также имеющей гармонический вид) будет иметь смысл *частотной характеристики*, и потому отклик системы при произвольном входном воздействии можно будет найти с помощью преобразования Фурье.

Практическое значение исследований такого рода можно пояснить следующим примером, в котором речь идет о проблеме моделирования колебаний температуры внутри помещений, вызванных суточными колебаниями температуры внешней среды [15, 16]. Пусть одна из поверхностей стенки находится под воздействием внешней среды, температура которой изменяется во времени по гармоническому закону, а другая поверхность есть граница помещения, в котором температуру следует поддерживать на одном и том же уровне. Ясно, что выполнить это условие постоянства температуры в помещении можно лишь при наличии *системы кондиционирования*, которая будет отводить (подводить) входящий в помещение (выходящий из помещения)

тепловой поток, плотность которого и должна быть определена в ходе расчетов. Плотность потока будет зависеть от коэффициента теплопередачи, который в данном случае будет иметь вид частотной характеристики и задаваться, следовательно, модулем этой функции и ее аргументом. Следует ожидать, что с понижением частоты модуль частотной характеристики будет стремиться к тому значению, которое имел коэффициент теплопередачи в случае *стационарного* температурного поля, а с ростом частоты этот модуль будет асимптотически приближаться к нулю, что соответствует экспоненциальному росту затухания (уменьшению глубины проникновения) тепловых волн *в задаче Фурье*. Так в литературе по математической физике называют задачу о тепловых волнах в полупространстве, в условиях, когда температура границы полупространства изменяется во времени по гармоническому закону [5]. Таким образом, может оказаться, что на высокой частоте вариации температуры среды, находящейся в контакте с одной из поверхностей пластины, уже не будут вызывать вариаций теплового потока на другой поверхности, как это было на низкой частоте, что, безусловно, необходимо учитывать при рассмотрении теплопередачи через стенку при переменных во времени граничных условиях.

Задача о температурном поле в пластине

Рассмотрим показанную на рис. 1 пространственно одномерную задачу о расчете установившегося температурного поля $T(x, \tau)$ в пластине, теплообмен которой с внешней средой происходит по закону Ньютона, причем температура T_1 среды 1 поддерживается неизменной, равной нулю, а температура среды 2 совершает гармонические колебания вблизи температуры $\bar{T}_2$ по закону

$$T_2(\tau) = \bar{T}_2 + \tilde{T}_2 \cdot \cos \omega \tau. \quad (1)$$

Здесь и далее прямая линия и волна, поставленные над знаком переменной, будут обозначать величины, относящиеся к стационарной и гармонической части температурного поля соответственно.

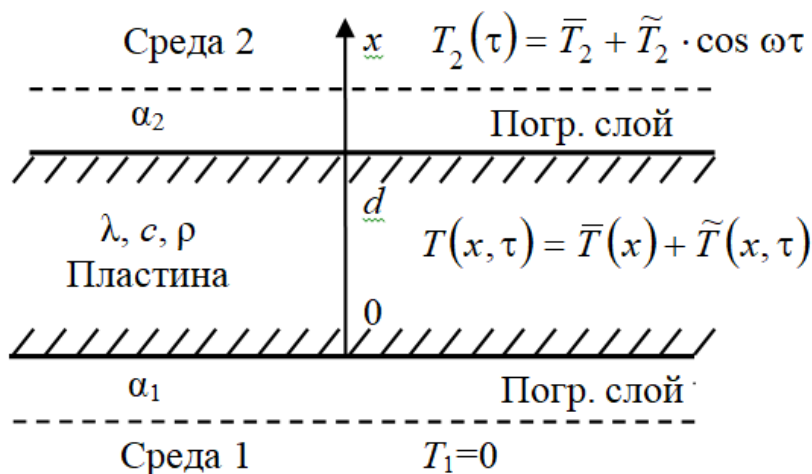


Рис. 1. Задача о температурном поле в пластине

Краевая задача для расчета искомой функции будет иметь следующий вид [3]:

$$\begin{cases} \partial T / \partial \tau = a \cdot \partial^2 T / \partial x^2; \\ \alpha_1 \cdot T(0, \tau) = \lambda \cdot \partial T / \partial x(0, \tau); \\ \alpha_2 [T(d, \tau) - (\bar{T}_2 + \tilde{T}_2 \cdot \cos \omega \tau)] = -\lambda \cdot \partial T / \partial x(d, \tau). \end{cases} \quad (2)$$

Здесь x – координата; τ – время; $a = \lambda / (c\rho)$ – коэффициент температуропроводности (коэффициент диффузии тепла); λ , c , ρ – соответственно коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность материала пластины; α_1 и α_2 – коэффициенты теплообмена поверхностей пластины с внешними средами; ω – круговая частота колебаний.

В задаче (2) мы не указали начальные условия, т.е. это *задача без начальных данных*. Она имеет бесконечно много решений, но ее установившееся решение (решение при $\tau \rightarrow \infty$, асимптотическое решение), которое нас интересует, от начальных условий не зависит и определяется единственным образом [17]. Согласно [5, с. 197-215], это установившееся решение можно построить в виде

$$T(x, \tau) = \bar{T}(x) + \tilde{T}(x, \tau), \quad (3)$$

где $\bar{T}(x)$ и $\tilde{T}(x, \tau)$ – *стационарное* и, соответственно, *гармоническое* решения следующих двух задач:

$$\begin{cases} \partial \bar{T} / \partial \tau = a \cdot \partial^2 \bar{T} / \partial x^2; \\ \alpha_1 \cdot \bar{T}(0, \tau) = \lambda \cdot \partial \bar{T} / \partial x(0, \tau); \\ \alpha_2 [\bar{T}(d, \tau) - \bar{T}_2] = -\lambda \cdot \partial \bar{T} / \partial x(d, \tau). \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \partial \tilde{T} / \partial \tau = a \cdot \partial^2 \tilde{T} / \partial x^2; \\ \alpha_1 \cdot \tilde{T}(0, \tau) = \lambda \cdot \partial \tilde{T} / \partial x(0, \tau); \\ \alpha_2 [\tilde{T}(d, \tau) - \tilde{T}_2 \cdot \cos \omega \tau] = -\lambda \cdot \partial \tilde{T} / \partial x(d, \tau). \end{cases} \quad (5)$$

Подчеркнем, что задачи (4) и (5), как и задача (2), имеют бесконечно много решений; мы должны выбрать из них лишь решения указанных двух видов. Под гармоническим мы понимаем решение вида

$$\tilde{T}(x, \tau) = A(x) \cdot \sin [\omega \tau + \alpha(x)], \quad (6)$$

в котором температура при каждом x изменяется во времени по гармоническому закону с амплитудой и начальной фазой, зависящими от x .

Здесь следует отметить, что приведенные утверждения об асимптотических решениях задач без начальных данных делают в литературе обычно на основе физических соображений, считая их очевидными и не нуждающимся в доказательствах.

Как было сказано выше, конечной целью исследования является расчет не температурного поля, а плотности передаваемого через пластину теплового потока. Под передаваемым потоком мы имеем в виду поток в среде 1 при $x=-0$ (в пределе к нулю слева). Но тепловой поток непрерывно изменяется при переходе через нижнюю границу пластины $x=0$, поэтому его вычисление в среде 1 при $x=-0$ мы можем заменить на его вычисление внутри пластины при $x=+0$.

Стационарное решение задачи (4) получается элементарными средствами и хорошо известно в литературе [13, 14]. Температурное поле в этом решении линейно зависит от координаты, а интересующий нас тепловой поток вычисляется по формуле

$$\bar{q}_x|_{x=0} = -\lambda \left. \frac{d\bar{T}(x)}{dx} \right|_{x=0} = -\bar{k} \cdot \bar{T}_2; \quad \frac{1}{\bar{k}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{d}{\lambda}. \quad (7)$$

В этих формулах $\bar{k}$ – коэффициент теплопередачи. В настоящей статье мы произведем обобщение этого известного в литературе понятия,

и будем говорить, что в данном случае речь идет о коэффициенте теплопередачи *по постоянной составляющей* температурного перепада.

Асимптотическим решением задачи (5) и связанным с этим решением переменным во времени тепловым потоком мы займемся в следующем пункте.

Задача о переменной составляющей температурного поля

Введем в рассмотрение комплекснозначную функцию

$$\tilde{T}(x, \tau) = \dot{T}(x) \cdot \exp(-i\omega\tau). \quad (8)$$

Здесь точка над знаком переменной, как и всюду далее, обозначает комплексный характер величины. При любой зависимости

$$\dot{T}(x) = |\dot{T}(x)| \cdot \exp[i \cdot \arg \dot{T}(x)]$$

действительная часть функции (8)

$$\operatorname{Re} \tilde{T}(x, \tau) = |\dot{T}(x)| \cdot \cos[\omega\tau - \arg \dot{T}(x)]$$

будет гармоническим полем вида (6). Следовательно, решение $\tilde{T}(x, \tau)$ задачи (5) мы можем искать в виде

$$\tilde{T}(x, \tau) = \operatorname{Re} \tilde{T}(x, \tau). \quad (9)$$

Приняв такой план, составим для функции $\tilde{T}(x, \tau)$ задачу, которая формулируется на основе задачи (5) и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \partial \tilde{T} / \partial \tau = a \cdot \partial^2 \tilde{T} / \partial x^2; \\ \alpha_1 \cdot \tilde{T}(0, \tau) = \lambda \cdot \partial \tilde{T} / \partial x(0, \tau); \\ \alpha_2 [\tilde{T}(d, \tau) - \tilde{T}_2 \cdot \exp(-i\omega\tau)] = -\lambda \cdot \partial \tilde{T} / \partial x(d, \tau). \end{cases} \quad (10)$$

Здесь все уравнения, если подставить в них

$$\tilde{T}(x, \tau) = \operatorname{Re} \tilde{T}(x, \tau) + i \cdot \operatorname{Im} \tilde{T}(x, \tau)$$

и переписать после этого в виде равенств действительных частей стоящих слева и справа от знака «равно» выражений, дадут нам, с учетом (9), в точности систему (5). Значит, если мы найдем решение $\tilde{T}(x, \tau)$ задачи (10), то действительная часть найденной функции даст нам в точности решение $\tilde{T}(x, \tau)$ задачи (5).

Отметим, что в проведенных рассуждениях, излагающих идею решения, в формуле (8) под знаком экспоненты можно было бы выбрать

знак «+», а в дальнейшем говорить не о действительной, а о мнимой части функции (8).

В соответствии с объявленным планом, подставим (8) в (10), и после сокращений на $\exp(-i\omega\tau)$ получим краевую задачу для $\dot{T}(x)$:

$$\begin{cases} \dot{T}''(x) + (i\omega/a)\dot{T}(x) = 0; \\ \lambda\dot{T}'(0) - \alpha_1\dot{T}(0) = 0; \\ \lambda\dot{T}'(d) + \alpha_2\dot{T}(d) = \tilde{T}_2. \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, наша задача свелась к нахождению входящей в (8) функции $\dot{T}(x)$. Функции $\dot{T}(x)$ и $\tilde{\dot{T}}(x, \tau)$ называют соответственно *комплексной амплитудой* и *комплексом* искомого поля $\tilde{T}(x, \tau)$.

Будем решать первое уравнение системы (11). Перепишем его так:

$$\dot{T}''(x) + \dot{\gamma}^2 \dot{T}(x) = 0, \quad (12)$$

где $\dot{\gamma} = \sqrt{i\omega/a} = \beta(1+i) = \sqrt{2}\beta \cdot \exp(i\pi/4)$, $\beta = \sqrt{\omega/(2a)}$.

Здесь β имеет смысл *коэффициента затухания* для тепловых волн в задаче Фурье для полупространства [5]. Мы будем применять также обозначение

$$\delta = 1/\beta = \sqrt{2a/\omega} - \quad (13)$$

– *глубина проникновения* для этих волн. Эта величина является функцией частоты ω и коэффициента температуропроводности материала пластины $a = \lambda/(c\rho)$.

Запишем общее решение уравнения (12):

$$\dot{T}(x) = C_1 \cdot \cos \dot{\gamma}x + C_2 \cdot \sin \dot{\gamma}x. \quad (14)$$

Для нахождения постоянных C_1 и C_2 мы имеем второе и третье уравнения из системы (11). Вычисляя с помощью (14) входящие в эти уравнения величины, получим:

$$\begin{aligned} \dot{T}(0) &= C_1; & \dot{T}(d) &= C_1 \cdot \cos \dot{\gamma}d + C_2 \cdot \sin \dot{\gamma}d; \\ \dot{T}'(0) &= \dot{\gamma}C_2; & \dot{T}'(d) &= -\dot{\gamma}C_1 \cdot \sin \dot{\gamma}d + \dot{\gamma}C_2 \cdot \cos \dot{\gamma}d. \end{aligned}$$

В итоге из (11) будем иметь следующую систему для нахождения C_1 и C_2 :

$$\begin{cases} -\alpha_1 C_1 + \lambda \dot{\gamma} C_2 = 0; \\ C_1 (\alpha_2 \cdot \cos \dot{\gamma}d - \lambda \dot{\gamma} \cdot \sin \dot{\gamma}d) + C_2 (\alpha_2 \cdot \sin \dot{\gamma}d + \lambda \dot{\gamma} \cdot \cos \dot{\gamma}d) = \alpha_2 \cdot \tilde{T}_2. \end{cases} \quad (15)$$

Решив эту систему, мы сможем написать, на основании формул (8) и (14), что комплекс температурного поля определится выражением

$$\tilde{T}(x, \tau) = (C_1 \cdot \cos \dot{\gamma}x + C_2 \cdot \sin \dot{\gamma}x) \cdot \exp(-i\omega\tau). \quad (16)$$

Действительная часть этой функции и даст нам искомое поле $\tilde{T}(x, \tau)$. Далее мы должны будем, используя это поле, подсчитать интересующую нас переменную часть плотности теплового потока на нижней границе пластины. Непростые выкладки, связанные с получением результата на этом пути, можно будет существенным образом сократить, если сначала провести вычисление плотности теплового потока в комплексной области, и только затем перейти к действительным функциям. К этой процедуре мы и обратимся в следующем пункте.

Комплексный коэффициент теплопередачи

Для x -компоненты переменной составляющей плотности теплового потока на нижней границе пластины имеем:

$$\tilde{q}_x(x, \tau)|_{x=0} = -\lambda \frac{\partial}{\partial x} \tilde{T}(x, \tau) \Big|_{x=0} = -\lambda \frac{\partial}{\partial x} \operatorname{Re} \tilde{T}(x, \tau) \Big|_{x=0} = \operatorname{Re} \tilde{\tilde{q}}_x(x, \tau) \Big|_{x=0},$$

где обозначено

$$\tilde{\tilde{q}}_x(x, \tau) \Big|_{x=0} = -\lambda \frac{\partial}{\partial x} \tilde{T}(x, \tau) \Big|_{x=0} -$$

комплексная плотность теплового потока. Вычисляя здесь производную с помощью (16), получим

$$\tilde{\tilde{q}}_x(x, \tau) \Big|_{x=0} = -\lambda \dot{\gamma} C_2 \cdot \exp(-i\omega\tau).$$

Таким образом, из двух неизвестных коэффициентов C_1 и C_2 нам нужно найти только коэффициент C_2 . Вернувшись к системе (15) и решив ее, найдем этот коэффициент, и, подставив его в последнюю формулу, будем иметь:

$$\tilde{\tilde{q}}_x(x, \tau) \Big|_{x=0} = -\frac{\lambda \dot{\gamma}}{\lambda \dot{\gamma} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \cos \dot{\gamma}d + \left(1 - \frac{\lambda^2 \dot{\gamma}^2}{\alpha_1 \alpha_2} \right) \cdot \sin \dot{\gamma}d} \cdot \tilde{T}_2 \cdot \exp(-i\omega\tau).$$

Теперь мы должны выделить здесь действительную часть и дать интерпретацию полученному соотношению. В отношении

интерпретации логичным представляется следующий подход. Пользуясь аналогией с результатом (7) для стационарных полей, перепишем последнюю формулу в виде

$$\tilde{q}_x(x, \tau)\big|_{x=0} = -\tilde{k}(\omega) \cdot \tilde{T}_2 \cdot \exp(-i\omega\tau), \text{ где} \quad (17)$$

$$\tilde{k}(\omega) = \frac{\lambda \dot{\gamma}}{\lambda \dot{\gamma} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \cos \dot{\gamma} d + \left(1 - \frac{\lambda^2 \dot{\gamma}^2}{\alpha_1 \alpha_2} \right) \cdot \sin \dot{\gamma} d} - \quad (18)$$

комплексный коэффициент теплопередачи по переменной составляющей температурного перепада. Его физическое содержание выявляется следующим образом. Выделив у этого коэффициента модуль $\tilde{k}(\omega)$ и аргумент $\tilde{\varphi}(\omega)$, и записав его с помощью этих функций в виде

$$\tilde{k}(\omega) = \tilde{k}(\omega) \cdot \exp[i\tilde{\varphi}(\omega)], \quad (19)$$

мы для комплексной плотности теплового потока (17) получим выражение

$$\tilde{q}_x(x, \tau)\big|_{x=0} = -\tilde{k}(\omega) \cdot \exp[i\tilde{\varphi}(\omega)] \cdot \tilde{T}_2 \cdot \exp(-i\omega\tau).$$

Приравняв здесь действительные части, будем иметь, что

$$\tilde{q}_x(x, \tau)\big|_{x=0} = -\tilde{k}(\omega) \cdot \tilde{T}_2 \cdot \cos[\omega\tau - \tilde{\varphi}(\omega)]. \quad (20)$$

Вспоминая теперь, что температура среды 2 изменяется по закону (1), мы делаем вывод, что модуль и аргумент комплексного коэффициента теплопередачи $\tilde{k}(\omega)$ показывают, каким образом амплитуда и начальная фаза переменной части температуры второй среды $\tilde{T}_2 \cdot \cos \omega\tau$ преобразуются, соответственно, в амплитуду и начальную фазу плотности теплового потока на границе первой среды, т.е. на нижней границе пластины.

Убедимся теперь в том, что на низкой частоте, когда $\omega \rightarrow 0$, формула (20) приводит к результату, который известен нам заранее. Действительно, из физических соображений ясно, что на низкой частоте описание переменной части температурного поля и описание его постоянной части различаться уже не будут. Сравнивая в этом случае системы уравнений для стационарного и гармонического полей,

соответственно (4) и (5), мы делаем вывод, что если из системы (4) для плотности теплового потока вытекает, согласно (7), формула

$$\bar{q}_x|_{x=0} = -\bar{k} \cdot \bar{T}_2,$$

то из системы (5) на низкой частоте должна вытекать формула

$$\tilde{q}_x(x, \tau)|_{x=0} = -\bar{k} \cdot \tilde{T}_2 \cdot \cos \omega \tau.$$

Но именно к такому результату и приводит формула (20), если принять во внимание, что

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \tilde{k}(\omega) = \bar{k}.$$

Убедиться в справедливости последнего соотношения несложно: при $\omega \rightarrow 0$ мы будем иметь $\dot{\gamma} \rightarrow 0$, и тогда, заменяя в формуле (18) $\cos \dot{\gamma} d$ на единицу, а $\sin \dot{\gamma} d$ на $\dot{\gamma} d$, мы и получим нужный нам результат.

Рассматривая теперь область высоких частот, мы без труда устанавливаем, используя представления функций $\cos \dot{\gamma} d$ и $\sin \dot{\gamma} d$ в формуле (18) в виде рядов, что

$$\tilde{k}(\omega) \rightarrow 0 \text{ при } \omega \rightarrow \infty.$$

Таким образом, как мы и предполагали во «Введении», высокочастотные колебания температуры среды по одну из сторон пластины уже не будут вызывать колебаний теплового потока на ее другой стороне, в противоположность тому, как это наблюдалось на низкой частоте.

Разумеется, понятие частоты «высокой» и «низкой» нуждается в уточнении, что и будет сделано ниже.

Комплексный коэффициент как функция безразмерных переменных

Придадим формуле (18) для $\tilde{k}(\omega)$ удобный для анализа вид. Умножив числитель и знаменатель этой формулы сначала на толщину пластины d , а затем на определяемый формулой (7) коэффициент $\bar{k}$, получим:

$$\tilde{k}(\omega) = \bar{k} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{d}{\lambda} \right) \cdot \frac{\lambda \dot{\gamma} d}{\lambda \dot{\gamma} d \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \cos \dot{\gamma} d + d \left(1 - \frac{\lambda^2 \dot{\gamma}^2}{\alpha_1 \alpha_2} \right) \cdot \sin \dot{\gamma} d}. \quad (21)$$

Выполним теперь следующие два преобразования.

а) Используя формулу (12) для $\tilde{\gamma}$ и введенную формулой (13) глубину проникновения $\delta = 1/\beta = \sqrt{2a/\omega}$, напомним, что

$$\gamma d = \beta(1+i)d = \frac{1+i}{\delta} d = \xi + i\xi, \text{ где} \quad (22)$$

$$\xi = d/\delta = d\sqrt{\omega/(2a)} - \quad (23)$$

новая безразмерная переменная. Ее физическое содержание раскрывается следующим образом. С одной стороны, поскольку величина δ – это глубина проникновения температурных волн в материал пластины, то величина ξ будет иметь смысл *относительной глубины проникновения*. С другой стороны, поскольку $\xi^2 = d^2\omega/(2a)$, то, значит, квадрат безразмерной переменной ξ будет иметь смысл *относительной частоты*. Чтобы подчеркнуть это обстоятельство, можно ввести параметр $\omega_0 = 2a/d^2$ – *собственную частоту пластины для тепловых процессов* – и писать $\xi^2 = \omega/\omega_0$. В монографии А.В. Лыкова «Теория теплопроводности» для переменной ξ^2 принято обозначение Rd и название *критерий Предводителя* [3, с. 300], но этот термин распространения в литературе не получил, и пользоваться им здесь мы не будем.

Наряду с собственной частотой ω_0 можно ввести также и отвечающий ей период колебаний

$$t_0 = 2\pi/\omega_0 = \pi d^2/a, \quad (24)$$

который будем называть *постоянной времени пластины* для тепловых процессов.

Как будет видно из дальнейшего, значение $\xi=1$ (глубина проникновения волны δ равна толщине пластины d , или, что то же самое, частота волны ω равна собственной частоте ω_0) является той границей, движение от которой в одну и в другую стороны позволит говорить о характерных свойствах тепловых волн на «низких» и «высоких» частотах.

б) В качестве следующего шага введем в рассмотрение, как это принято при решении задач с теплообменом по закону Ньютона, безразмерные критерии Био

$$Bi_1 = \alpha_1 d / \lambda; \quad Bi_2 = \alpha_2 d / \lambda. \quad (25)$$

С учетом (22) и (25) формула (21) приобретает следующий окончательный вид:

$$\tilde{k}(\xi) = \bar{k} \frac{(1/Bi_1 + 1/Bi_2 + 1)(\xi + i\xi)}{(1/Bi_1 + 1/Bi_2)(\xi + i\xi) \cdot \cos(\xi + i\xi) + \left(1 - \frac{(\xi + i\xi)^2}{Bi_1 \cdot Bi_2}\right) \sin(\xi + i\xi)}; \quad (26)$$
$$\frac{1}{\bar{k}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{d}{\lambda}.$$

Полученная формула содержит тригонометрические функции от комплексной переменной, вследствие чего анализ формулы наталкивается на значительные трудности и может быть проведен только численными методами. Упрощающим обстоятельством является то, что комплексная переменная, от которых вычисляются тригонометрические функции, имеет одинаковые действительную и мнимую части (это переменная $\xi + i\xi$), что упрощает анализ и сводит его к построению двух действительных функций от одной действительной переменной (как и при построении частотных характеристик в теории электрических цепей). Некоторые из такого рода тригонометрических функций табулированы, в качестве примера можно указать на [3, с. 303]. Аналитического исследования свойств таких функций в литературе по тепловым волнам еще не произведено. Между тем, оно необходимо для понимания общих свойств получаемых в этой области решений. Определенного вида работа такого рода и будет проделана в следующем пункте.

Тригонометрические функции от комплексной переменной специального вида

Функция $\sin(\xi + i\xi)$ – это комплексная функция комплексной переменной, при условии, как уже отмечалось, что действительная и мнимая части у аргумента этой функции совпадают. Здесь нам потребуется показательный вид этой функции

$$\sin(\xi + i\xi) = |\sin(\xi + i\xi)| \cdot \exp[i \cdot \arg \sin(\xi + i\xi)].$$

Согласно справочной литературе [18], модуль этой функции будет определяться выражением

$$|\sin(\xi + i\xi)| = \sqrt{\sin^2 \xi + \operatorname{sh}^2 \xi}, \quad (27)$$

а для аргумента функции при $\xi > 0$ на промежутке $0 < \xi \leq 2\pi$ будет справедлива формула

$$\arg \sin(\xi + i\xi) \equiv \psi(\xi) = \begin{cases} \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \xi \cdot \operatorname{th} \xi), & 0 < \xi < \pi; \\ -\pi/2, & \xi = \pi; \\ \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \xi \cdot \operatorname{th} \xi) - \pi, & \pi < \xi < 3\pi/2; \\ \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \xi \cdot \operatorname{th} \xi) + \pi, & 3\pi/2 \leq \xi < 2\pi; \\ \pi/2, & \xi = 2\pi. \end{cases} \quad (28)$$

При $\xi=0$ аргумент $\psi(\xi)$ функции $\sin(\xi + i\xi)$ не определен, поскольку модуль этой функции равен нулю; предельное значение аргумента

$$\lim_{\xi \rightarrow 0} \psi(\xi) = \pi/4.$$

При $\xi=3\pi/2$ функция $\psi(\xi)$ имеет разрыв первого рода; ее значение изменяется в этой точке скачком от предельного значения $\psi=-\pi$ слева до предельного значения $\psi=+\pi$ справа. Наличие разрыва у этой функции обусловлено тем, что диапазон ее изменений должен быть приведен к промежутку $-\pi < \xi \leq +\pi$.

Заметим, что формулы, подобные формуле (28) и выражающие аргументы тригонометрических функций от комплексной переменной, приводят иногда в справочной литературе в неправильном виде (см., например, [19, с. 40]).

Формула (28) дает описание функции $\psi(\xi)$ на отрезке $0 \leq \xi \leq 2\pi$. Эта формула сохранит свою структуру, если отрезок исследования заменить на

$$2\pi n \leq \xi \leq 2\pi(n+1),$$

где n – любое натуральное. Несмотря на это обстоятельство, функция $\psi(\xi)$ не будет периодической, поскольку свойством периодичности не обладает функция $\operatorname{th} \xi$.

График функции $\psi(\xi)$ показан на рис. 2.

$$\psi(\xi) = \arg \sin(\xi + i\xi)$$

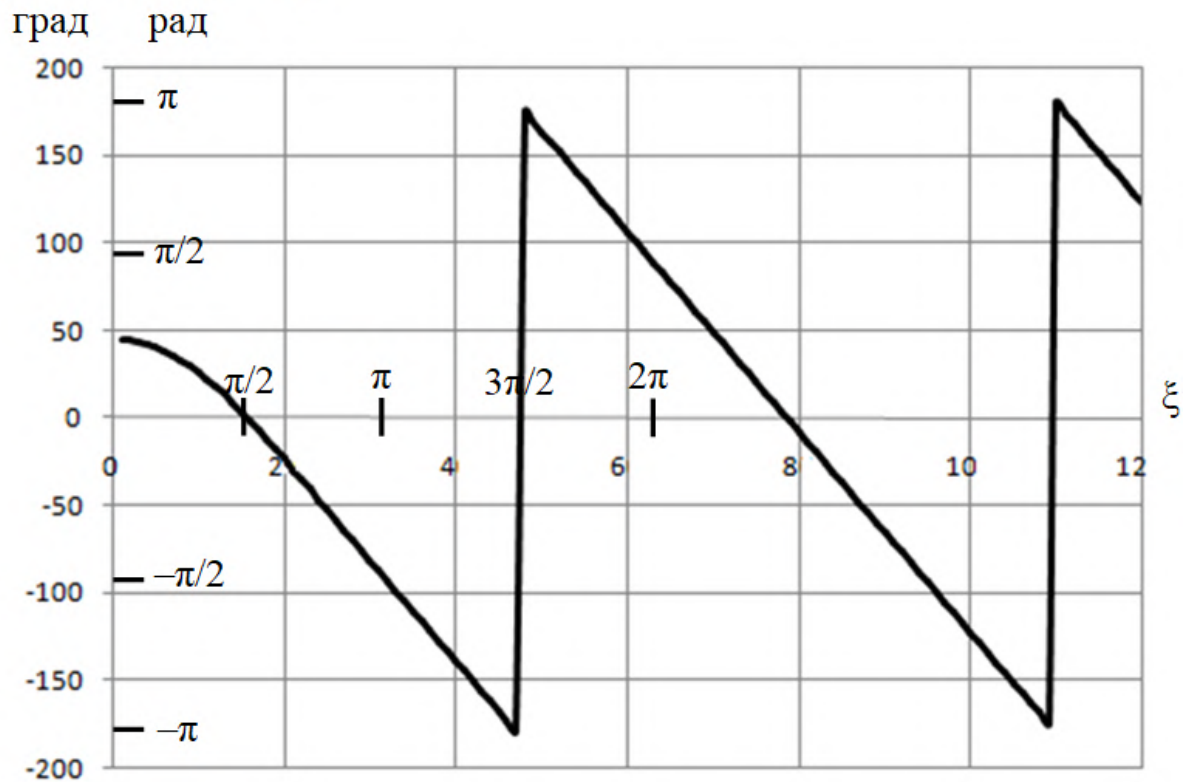


Рис. 2. Аргумент функции $\sin(\xi + i\xi)$

Заслуживает пояснений линейная зависимость ψ от ξ на монотонных участках, которая наблюдается примерно с $\xi=2$. Возьмем, например, участок

$$\pi < \xi < 3\pi/2.$$

Согласно формуле (28), здесь

$$\psi(\xi) = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \xi \cdot \operatorname{th} \xi) - \pi.$$

Но при $\xi > \pi$ справедливо приближение $\operatorname{th} \xi \approx 1$, и тогда

$$\psi(\xi) \approx \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \xi) - \pi = \operatorname{arctg}(1/\operatorname{tg} \xi) - \pi = -\pi/2 - \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \xi).$$

Здесь мы воспользовались формулой

$$\operatorname{arctg}(\xi) + \operatorname{arctg}(1/\xi) = \pi/2, \text{ если } \xi > 0.$$

В свою очередь, в диапазоне от $\xi=\pi/2$ до $\xi=3\pi/2$ справедлива формула

$$\operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \xi) = \xi - \pi.$$

В итоге написанная выше приближенная формула для ψ превращается в

$$\psi(\xi) \approx \pi/2 - \xi,$$

что находится в полном согласии с рис. 2.

По аналогичной схеме можно было бы произвести рассмотрение и функции $\cos(\xi + i\xi)$.

Частный случай: условия первого рода на нижней границе

Проанализируем общую формулу (26) для частного случая, когда температура нижней поверхности пластины $x=0$ не изменяется во времени, а остается постоянной и равной температуре T_1 среды 1, с которой эта поверхность находится в контакте. Таким образом, формально следует заново рассмотреть задачу, положив при ее формулировке, что на нижней границе пластины имеет место краевое условие не третьего рода, а первого рода, т.е. выполняется соотношение

$$T(x, \tau)|_{x=0} = T_1 = 0. \quad (29)$$

В действительности, как известно, нового рассмотрения можно не производить, поскольку решение задачи при краевом условии первого рода можно получить из решения при краевом условии третьего рода, если коэффициент теплообмена во втором решении устремить к бесконечности [3]. Таким образом, новое решение, отвечающее краевому условию (29), мы можем образовать из полученного выше решения (26), если положить в нем $\alpha_1 \rightarrow \infty$, или, что то же самое, $Bi_1 \rightarrow \infty$. Тогда формула (26) станет такой:

$$\tilde{k}(\xi) = \bar{k} \frac{(Bi_2 + 1) \cdot (\xi + i\xi)}{(\xi + i\xi) \cdot \cos(\xi + i\xi) + Bi_2 \cdot \sin(\xi + i\xi)}; \quad \frac{1}{\bar{k}} = \frac{1}{\alpha_2} + \frac{d}{\lambda}. \quad (30)$$

Представить в общих чертах поведение этой функции при изменении условий, определяющих процесс, можно с помощью графиков ее модуля $\tilde{k}(\xi)$ и аргумента $\tilde{\varphi}(\xi)$, показанных на рис. 3 и 4.

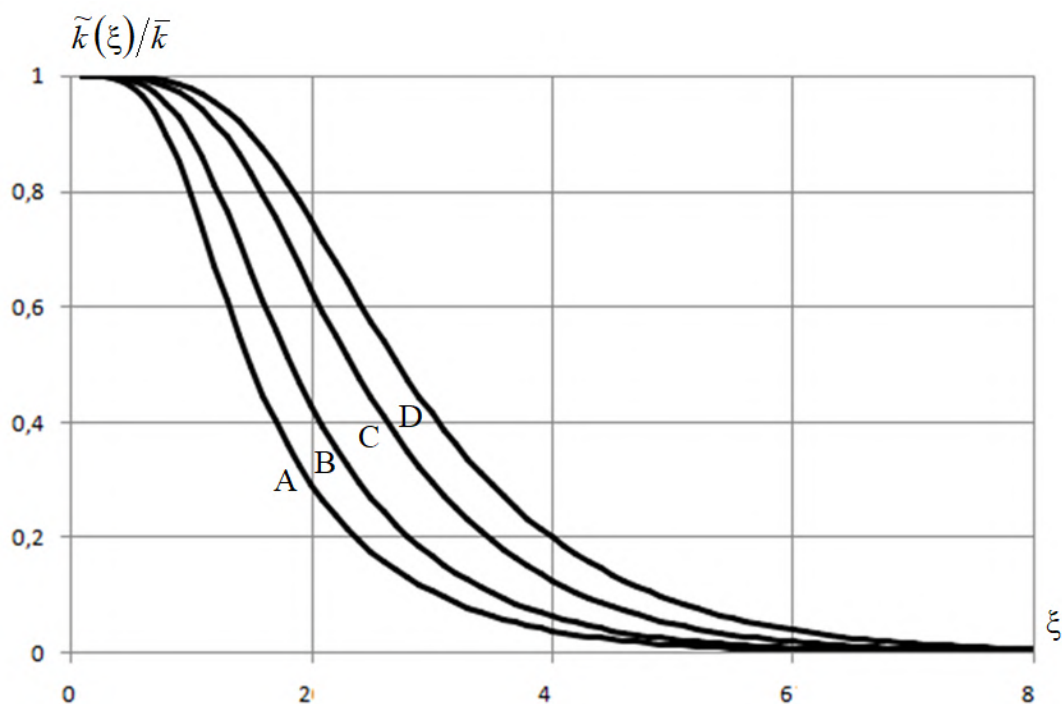


Рис. 3. График модуля комплексного коэффициента теплопередачи (30): $Bi_2=0,1$ (A); 1 (B); 5 (C); 100 (D)

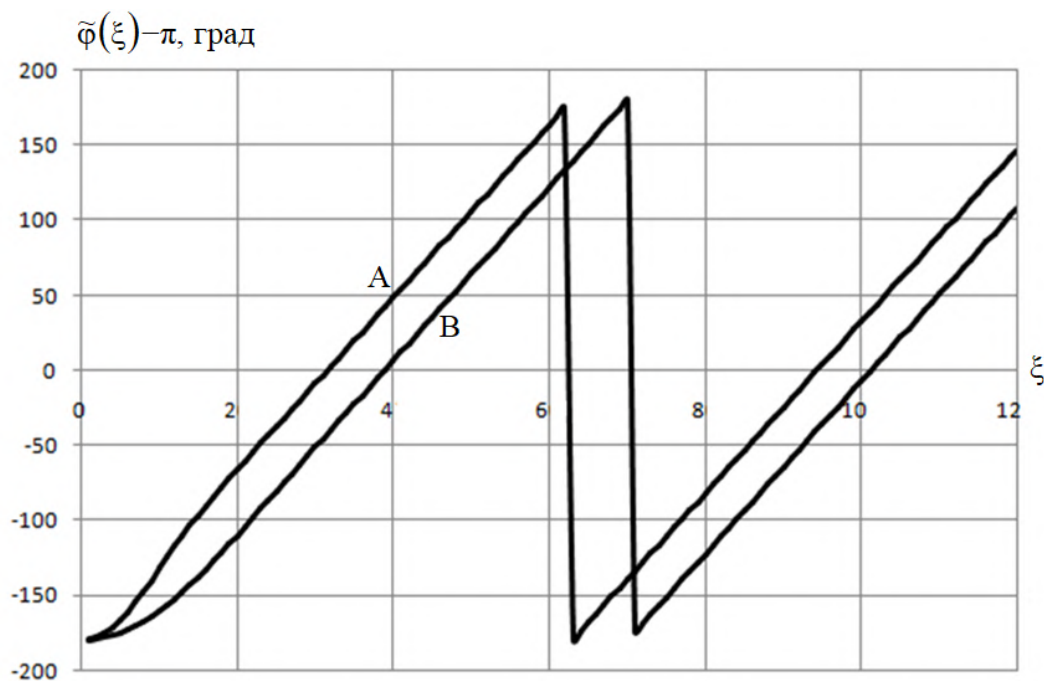


Рис. 4. График аргумента комплексного коэффициента теплопередачи (30): $Bi_2=0,1$ (A); 100 (B)

Частный случай: условия первого рода на обеих границах пластины

Продолжая упрощать ситуацию, в которой рассматривается задача, перейдем к изучению процесса, в котором, наряду с требованием $\alpha_1 \rightarrow \infty$, выполняется также и требование $\alpha_2 \rightarrow \infty$. Это означает, что на обеих границах пластины имеют место граничные условия первого рода (а не третьего рода, как это было в начале нашего исследования), т.е. температуры этих поверхностей совпадают с температурами сред, с которыми они находятся в контакте:

$$T(x, \tau)|_{x=0} = T_1 = 0; \quad T(x, \tau)|_{x=d} = \bar{T}_2 + \tilde{T}_2 \cdot \cos \omega \tau. \quad (31)$$

Нужную нам формулу мы получим из (30), если перейдем там к пределам $\alpha_2 \rightarrow \infty$, $Bi_2 \rightarrow \infty$.

Тогда получим:

$$\tilde{k}(\xi) = \bar{k} \frac{\xi + i\xi}{\sin(\xi + i\xi)}; \quad \bar{k} = \frac{\lambda}{d}. \quad (32)$$

Графики модуля $\tilde{k}(\xi)$ и аргумента $\tilde{\varphi}(\xi)$ этого коэффициента, построенные с помощью компьютерной программы, показаны на рис. 5.

Следует отметить, что формулу (32) для $\tilde{k}(\xi)$ можно представить выражением

$$\tilde{k}(\xi) = \bar{k} \frac{1}{\text{sinc}(\xi + i\xi)}, \quad (33)$$

в котором $\text{sinc } z = (\sin z)/z$ – распространение известной в математике функции $\text{sinc } x = (\sin x)/x$ («кардинальный синус») на случай комплексной переменной z , при дополнительном условии, что действительная и мнимая части у этой переменной совпадают. Очевидная важность этой функции в задачах о плоских температурных волнах до сих пор в литературе отмечена не была, и к числу табулированных она не принадлежит.

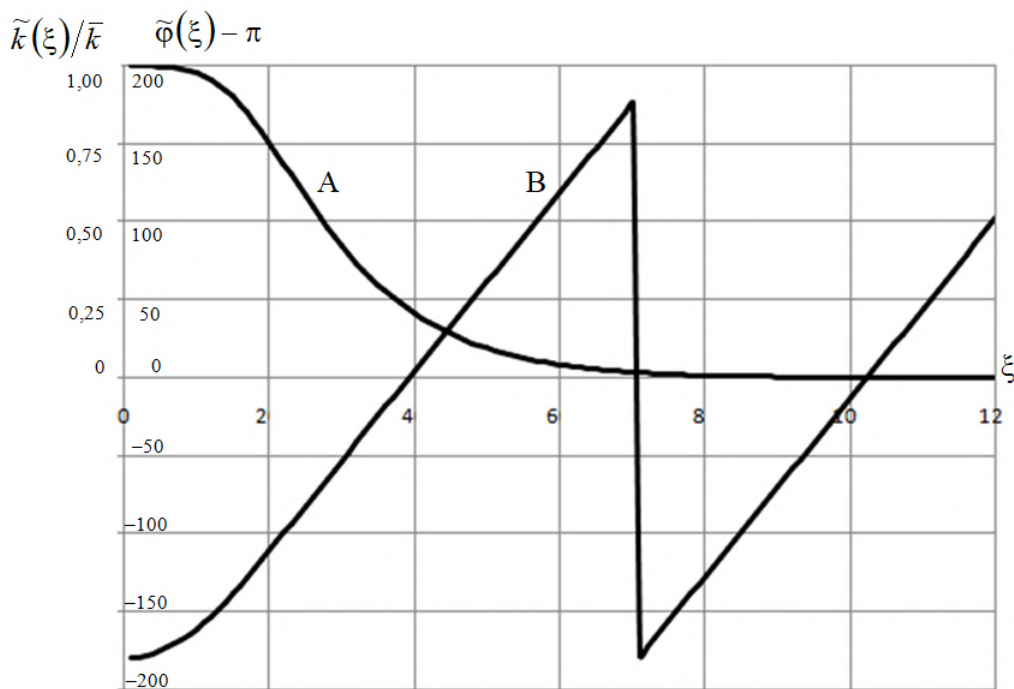


Рис. 5. Графики модуля (А) и аргумента (В, град) комплексного коэффициента теплопередачи (32); $\xi^2 = \omega/\omega_0$ – относительная частота; $\omega_0 = 2a/d^2$.

Обсуждение результатов

В результате проведенного исследования мы получили выражение для плотности передаваемого через пластину рис. 1 теплового потока. Если температура среды 1 поддерживается постоянной, равной нулю, а температура среды 2, кроме постоянной составляющей $\bar{T}_2$, имеет еще и переменную составляющую $\tilde{T}_2 \cdot \cos \omega t$, то плотность теплового потока на нижней поверхности

$$q_x = \bar{q}_x + \tilde{q}_x = -\bar{k} \cdot \bar{T}_2 - \tilde{k}(\xi) \cdot \tilde{T}_2 \cdot \cos[\omega t - \tilde{\varphi}(\xi)],$$

где $\bar{k}$ – коэффициент теплопередачи по постоянной составляющей температурного перепада; $\tilde{k}(\xi)$ и $\tilde{\varphi}(\xi)$ – модуль и аргумент комплексного коэффициента теплопередачи $\tilde{k}(\xi)$ по переменной составляющей температурного перепада; $\xi^2 = \omega/\omega_0$ – относительная частота; $\omega_0 = 2a/d^2$ – собственная частота пластины для тепловых процессов. Формулы для $\bar{k}$ и $\tilde{k}(\xi)$ зависят от вида краевых условий на границах пластины. Если на

обеих границах принимаются условия третьего рода – то это формулы (26); при условиях первого рода на нижней границе и третьего рода на верхней границе – это формулы (30); при условиях первого рода на обеих границах – это формулы (32).

В заключение проведем некоторые расчеты, приняв для комплексного коэффициента теплопередачи выражение (32).

Показательной можно считать ситуацию, когда глубина проникновения тепловых волн $\delta=1/\beta$ равна толщине пластины d , или, что то же самое, период колебаний t и отвечающая ему частота колебаний ω имеют значения t_0 и ω_0 , определяемые формулой (24). В этом режиме для безразмерной переменной ξ , связанной с перечисленными величинами формулой

$$\xi^2 = \omega/\omega_0 = t_0/t,$$

мы получаем значение $\xi=1$, и подсчет по формуле (32) дает

$$\tilde{k}/\bar{k} = 0,978; \quad \tilde{\varphi} = 19^\circ.$$

Этот режим близок к тому, который имеет место для *стационарных* тепловых потоков, и, как видно из рис. 5, если уменьшать частоту, то к такому режиму мы в еще большей степени будем приближаться, поскольку будем иметь

$$\tilde{k}/\bar{k} \rightarrow 1; \quad \tilde{\varphi} \rightarrow 0.$$

Наоборот, при увеличении частоты относительно ее характерного значения $\omega=\omega_0$, которому отвечает $\xi=1$, мы будем наблюдать монотонное уменьшение амплитуды колебаний теплового потока на нижней границе пластины при неизменной амплитуде колебаний температуры на ее верхней границе.

Таким образом, введение собственной частоты ω_0 позволяет в рамках нашей задачи придать смысл понятиям «низких» и «высоких» частот.

Проведем расчет постоянной времени t_0 для двух случаев, для стенки из меди ($d=1$ см, $a=0,1145 \cdot 10^{-3}$ м²/с), и для стенки из

строительного кирпича ($d=10$ см, $a=0,25 \cdot 10^{-6}$ м²/с). Тогда получим значения

$$t_0=2,744 \text{ с и } t_0=1,454 \text{ сут}$$

соответственно. Эти примеры дают представление об ожидаемых тепловых эффектах при рассмотрении переменных температурных полей в следующих ситуациях. В первой из них речь идет о работе теплообменных аппаратов рекуперативного типа (в них обмен теплом между двумя средами происходит через разделяющую их металлическую стенку), а во второй – при моделировании изменений тепловых режимов помещений внутри зданий при изменении состояния окружающей среды [15, 16]. Рассчитанные постоянные времени пластины определяют те периоды колебаний, при которых передача переменных тепловых потоков через пластину происходит еще примерно так же, как и потоков постоянных; уменьшение же этих периодов по сравнению с рассчитанными значениями нарушает баланс, и интенсивности переменных потоков начинают монотонно уменьшаться.

Обобщая проведенное рассмотрение результата (32), можно в качестве переменной части температуры верхней поверхности пластины рассмотреть не гармоническое, а *импульсное* температурное поле. Тогда граничные условия (31) следует заменить на

$$T(x, \tau)|_{x=0} = T_1 = 0; \quad T(x, \tau)|_{x=d} = \bar{T}_2 + \tilde{T}_n(\tau).$$

Здесь $\tilde{T}_n(\tau)$ есть импульс произвольной формы, его длительность равна t_n . Переходя к приближенным расчетам, и ограничиваясь с этой целью «обрезанным спектром» импульса, мы можем в качестве верхней границы этого спектра взять $\omega_n = 2\pi/t_n$ [20]. Значит, если $t_n > t_0$, то

$$\omega_n = 2\pi/t_n < \omega_0 = 2\pi/t_0.$$

Учтем теперь, что при $\omega < \omega_0$ мы будем иметь $\xi < 1$. Но тогда, согласно рис. 5, для всех гармоник «обрезанного спектра» комплексный коэффициент теплопередачи будет приближенно определяться формулой $\tilde{k}(\omega) \approx \bar{k}$, и значит, комплексы выходных гармоник будут получаться из комплексов входных гармоник с помощью формулы $\tilde{q}(\omega) \approx \bar{k} \cdot \tilde{T}_n(\omega)$.

Отсюда вытекает, что для самих сигналов, выходного и входного, будет выполняться соотношение

$$\tilde{q}(\tau) \approx \bar{k} \cdot \tilde{T}_n(\tau).$$

Это означает, что передача тепла, отвечающая импульсному температурному воздействию, происходит так же, как и в случае стационарного температурного поля, т.е. импульсный характер температуры верхней поверхности пластины, возбуждающей тепловые волны, можно не принимать во внимание.

Если же $t_n < t_0$, то с усилением этого неравенства тепловые импульсы на верхней границе пластины уже не будут вызывать импульсов теплового потока на ее нижней границе.

Обсудим одно из возможных применений решенной нами задачи о тепловых волнах в плоской стенке. Обобщением теплопередачи через плоскую стенку является процесс передачи тепла через *многослойную* плоскую стенку. В теории теплопроводности такая задача становится актуальной, например, при конструировании *тепловой изоляции*, которая обычно имеет вид многослойного покрытия из материалов со специально подобранными теплофизическими характеристиками. Проблема корректного описания тепловых процессов в слоистой среде возникает также и в *геокриологии* [21], где ставится задача о моделировании сезонных изменений теплофизического состояния мерзлых пород и грунтов, естественным состоянием которых является их слоистость. Известные в литературе результаты исследования тепловых полей в слоистых средах позволяют рассчитывать по простым формулам коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление многослойной конструкции, если характеристики с такими названиями известны для каждого слоя в отдельности [13]. Однако применять такие формулы для многослойных конструкций можно лишь в случае *стационарных* температурных полей. Если же условие стационарности не выполнено, то мы будем иметь в общем случае распространяющийся в слоистой среде температурный волновой процесс, вследствие чего анализ теплоизолирующих свойств конструкции очевидным образом усложнится, и искомые коэффициент теплопередачи и термическое

сопротивление уже нельзя будет простым образом выразить через заданные характеристики отдельных слоев, составляющих конструкцию. Решить такую задачу можно, если взять за основу частотную характеристику плоского слоя, полученную в настоящей статье, и применить к многослойной конструкции *метод импедансов*, излагаемый в [22].

В качестве направлений, в которых может быть продолжена начатая в данной статье работа, можно указать еще и на расчет частотных характеристик плоского слоя при других, отличных от принятых здесь граничных условий, а также на проведение аналогичных расчетов с учетом содержащейся в материале *влаги*. Учет влаги при расчете частотной характеристики *полупространства* уже произведен с участием автора в работах [23-26].

Заключение

Исследовано температурное поле в пластине, находящейся в состоянии теплообмена с окружающими ее средами. Температура одной среды поддерживается неизменной, а температура другой среды, кроме постоянной составляющей, имеет еще и гармоническую переменную составляющую. Теплообмен границ пластины с окружающими ее средами происходит по закону Ньютона.

Введено понятие комплексного коэффициента теплопередачи по переменной составляющей, который является обобщением применяемого в литературе понятия коэффициента теплопередачи для неизменных во времени температурных полей на случай полей, изменяющихся во времени по гармоническому закону. Комплексный коэффициент имеет вид частотной характеристики и связывает амплитуду и начальную фазу гармонических колебаний температуры одной среды с амплитудой и начальной фазой плотности теплового потока, который передается через пластину в другую среду.

Модуль и аргумент комплексного коэффициента теплопередачи представлены как функции безразмерной переменной, квадрат которой имеет смысл относительной частоты колебаний. Кроме относительной частоты колебаний, для описания установившегося гармонического поля

в пластине введены понятия глубины проникновения температурной волны и постоянной времени пластины для тепловых процессов. Показано, что в режиме, когда период колебаний превышает постоянную времени пластины, передача тепла через нее происходит примерно так же, как и в случае стационарных температурных полей. В противоположность этому, если период колебаний меньше постоянной времени пластины, то с усилением этого неравенства интенсивность передаваемого через пластину теплового потока монотонно стремится к нулю.

Подробно исследованы два частных случая полученных общих формул. Они относятся к ситуации, когда на границах пластины вместо условий теплообмена Ньютона имеют место краевые условия первого рода.

Полученные результаты найдут применение в теории теплообменных аппаратов рекуперативного типа, в теории алгоритмов для расчета колебаний температуры и влажности внутри помещений, вызванных колебаниями характеристик внешней среды, в теории методов для определения теплофизических характеристик материалов на основании данных измерений, т.е. при решении обратных задач теории теплопроводности.

Еще одним применением рассчитанной в статье частотной характеристики плоского слоя может быть исследование нестационарных тепловых полей в слоистых средах. В качестве примера можно указать на задачи теории теплоизоляции и задачи математического моделирования тепловых процессов в промерзающе-протаивающих грунтах, актуальных при планировании хозяйственной деятельности в области распространения мерзлых пород.

Список литературы

1. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. Пер. с англ. под ред. А.В. Лыкова. – М.-Л.: Госэнергоиздат. – 1961. – 680 с.
2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Пер. со второго англ. издания под ред. А.А. Померанцева. – М.: Наука. – 1964. – 488 с.

3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа. – 1967. – 600 с.
4. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. – М.: Наука. – 1969 – 288 с.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука. – 1966. – 724 с.
6. Морс Ф.М., Фешбах Г. Методы теоретической физики. Т. 2. – М.: Изд-во иностр. лит-ры. – 1960. – 886 с.
7. Франк Ф., Мизес Р. Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. Часть 2. Пер. с нем. под общей ред. Л.Э. Гуревича. – М.-Л.: ОНТИ, гл. ред. общетех. лит-ры. – 1937. – 998 с.
8. Натарева О.С. Кокина Н.Р., Натарева С.В. Теплоперенос в процессе конвективной сушки влажного материала // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2015. – Т. 58. – Вып. 2. – С. 67-72.
9. Тугашева Л.Г., Затонский А.В. Сравнение способов управления теплообменным аппаратом // Теоретич. основы химической технологии. – 2021. – Т. 55. – № 1. – С. 58-66.
10. Цыганков М.П., Кручинин Д.С. Особенности математического моделирования высокотемпературных теплообменников // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2013. – Т. 56. – Вып. 3. – С. 95-99.
11. Видин Ю.В., Злобин В.С. К расчету собственных чисел в задаче нестационарной теплопроводности плоского тела при несимметричных граничных условиях третьего рода // Известия РАН. Энергетика. – 2021. – № 2. – С. 75-81.
12. Соколов А.К. Решение обратной задачи теплопроводности для симметричного температурного поля пластины, аппроксимированного степенными функциями // Известия РАН. Энергетика. – 2017. – № 6. – С. 108-118.
13. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат. – 1979. – 416 с.
14. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия. – 1977. – 344 с.

15. Басок Б.И., Новиков В.Г., Давыденко Б.В., Беляева Т.Г., Новицкая М.П., Сороковой Р.Я. Радиационно-конвективный теплообмен здания с окружающей средой при воздействии солнечного излучения // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93. – № 1. – С. 48-57.

16. Ахмадиев Ф.Г., Гиззятов Р.Ф. Математическое моделирование процесса теплопередачи через многослойные ограждающие конструкции зданий // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95. – № 5. – С. 1155-1165.

17. Зоммерфельд А. Дифференциальные уравнения в частных производных физики. Пер. с нем. А.А. Самарского и Н.Н. Яненко. Под ред. А.Н. Тихонова. – М.: Изд-во иностр. лит-ры. – 1950. – 457 с.

18. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – СПб.: Изд-во Лань. – 2010 – 608 с.

19. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. – М.: Наука. – 1979. – 832 с.

20. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа. – 1983. – 536 с.

21. Мерзлотоведение (краткий курс). Под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ. – 1981. – 240 с.

22. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука. – 1973. – 343 с.

23. Афанасьев А.М., Бахрачева Ю.С. Обобщение задачи Фурье о температурных волнах в полупространстве // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2021. – Т. 24. – № 2. – С. 13-21.

24. Афанасьев А.М., Бахрачева Ю.С. Решение задач геокриологии на основе формул для затухающих гармонических волн тепломассопереноса в однородном полупространстве // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96. – № 2. – С. 392-400.

25. Афанасьев А.М., Бахрачева Ю.С. Задача о тепломассообмене полупространства с воздушным потоком при периодическом изменении температуры воздуха // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2024. – Т. 27. – № 2. – С. 14-28.

26. Афанасьев А.М., Бахрачева Ю.С. Решение задач геокриологии на основе обобщенной теории Фурье для температурных волн в полупространстве // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2024. – Т. 27. – № 4. – С. 83-93.

© Афанасьев А.М., 2025

Глава 8.
**ПЛАНИРОВАНИЕ ПУТИ АВТОНОМНОГО
МОБИЛЬНОГО РОБОТА В УСЛОВИЯХ
СИЛЬНОПЕРЕСЕЧЁННОЙ МЕСТНОСТИ**

Рего Григорий Эйнович

К.Т.Н.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

Аннотация: Глава посвящена теоретическим и прикладным аспектам планирования пути автономного мобильного робота в лесных условиях. Рассматриваются вопросы позиционирования под пологом леса, представления среды, алгоритмов глобального и локального планирования, оценки проходимости и управления рисками. Предлагается архитектура глобально-локального (G2L) планирования с учётом неполной информированности и неопределённости.

Ключевые слова: лес, автономный робот, планирование пути, SLAM, GNSS-RTK, проходимость, G2L, неопределённость.

**PATH PLANNING OF AN AUTONOMOUS
MOBILE ROBOT IN ROUGH TERRAIN**

Rego Grigorij Einovich

Abstract: The chapter focuses on theoretical and practical aspects of path planning for autonomous mobile robots in forest environments. It addresses positioning under canopy, environmental representations, global and local planning algorithms, traversability assessment and risk management. A Global-to-Local (G2L) planning architecture is proposed with consideration of incomplete information and uncertainty.

Key words: forest, autonomous robot, path planning, SLAM, GNSS-RTK, traversability, G2L, uncertainty.

Введение

Лесной ландшафт — один из наименее «дружелюбных» для автономной мобильной робототехники: сочетание резких продольных и поперечных уклонов, микрорельефа, валежника и поваленных деревьев, мягких/водонасыщенных почв и снежного покрова, а также плотной кроны, ухудшающей качество глобального позиционирования. В таких условиях программно-аппаратные комплексы должны одновременно решать три взаимосвязанные задачи: устойчивое позиционирование при недоступности GNSS (Global Navigation Satellite System) под пологом леса; многослойное описание среды (наличие препятствий, высота, проходимость) с явным учётом неопределённости; глобально-локальное планирование пути с ограничениями безопасности и энергозатрат в условиях неполноты информации. С отраслевой точки зрения тема обусловлена реальными вызовами лесного хозяйства: нехваткой рабочей силы, повышенными рисками травматизма, необходимостью сокращать ущерб почвенно-растительному покрову и одновременно повышать производительность [1, с. 1–3; 2, с. 1–5]. Цель данной главы — представить целостный инженерный подход к планированию пути в лесу: от позиционирования к представлениям среды и далее — к архитектурам и алгоритмам планирования под неопределённостью, завершая протоколами валидации.

Позиционирование и представления среды: от «якоря» GNSS к проходимости

В условиях сильнопересечённой местности и плотного полога деревьев ухудшение глобальной навигации под пологом немедленно сказывается на устойчивости движения, а нелинейный рельеф и микропрепятствия резко повышают требования к детальности и правдоподобию карт. С отраслевой стороны мотивация определяется необходимостью роботизации лесного хозяйства — дефицит кадров, безопасность и требования к бережному обращению с почвенно-растительным покровом прямо диктуют переход к автономным и полуавтономным технологиям [1, с. 1–3; 2, с. 1–5]. Поэтому архитектура позиционирования и картографирования в лесу должна быть

одновременно робастной к недоступности GNSS и богатой на слои представления.

Распространённая в инженерной практике установка «GNSS даст абсолютную точность» неправомерна в лесу. Плотная крона ухудшает видимость, вызывает многолучевость и затухание, а влажная листва и ветровые колебания крон вносят дополнительную нестабильность. Даже при использовании многочастотных, мульти-созвездных приёмников RTK (Real-Time Kinematic) точное позиционирование часто оказывается нестабильным и сильно зависящим от локальной структуры древостоя и погодных условий. Специализированные исследования точности в лесу показывают широкий разброс ошибок, подтверждая, что на уровне системной архитектуры GNSS в пологе следует трактовать как якорный канал, а не как единственный источник глобальной привязки [19, с. 2–5; 29, с. 2–6; 30, с. 4–10; 31, с. 6–12].

На практике наибольшую надёжность демонстрируют гибридные методы локализации, в которых лидарная и визуальная одометрия интегрируются с данными инерциального измерительного модуля (Inertial measurement unit–IMU) и объединяются в факторный граф с оптимизацией по критерию максимума апостериорной правдоподобности (maximum a posteriori–MAP). Классические реализации показывают, что лидар обеспечивает устойчивое восстановление геометрии сцены даже в областях, бедных на текстурные признаки, в то время как использование визуальной одометрии повышает устойчивость в условиях дефицита дальномерных возвратов [5, с. 1–9]. Факторные графы позволяют единообразно включать различные сенсорные модальности — IMU, одометрию, GNSS-измерения, выступающие в качестве якорных факторов, — и управлять их вкладом посредством ковариационных матриц ошибок и робастных функций потерь [4, с. 20–60]. Для реализации инкрементальной оптимизации, обеспечивающей баланс между точностью и вычислительной эффективностью, широко применяются алгоритмы семейства iSAM, в частности iSAM2 [23, с. 216–225].

Сетки занятости (occupancy grids) представляют собой классическую парадигму вероятностного моделирования окружающей среды, в рамках которой каждая ячейка дискретного пространства описывается вероятностью нахождения в состояниях «занято», «свободно» или «неизвестно». Подход восходит к фундаментальным работам Х. Моревека и А. Элфеса [25, с. 116–121; 24, с. 136–146]. Для задач навигации в лесных массивах принципиальное значение имеет не только фиксация факта занятости, но и корректное выделение областей неопределённости, поскольку именно на их границах формируются фронтиры разведки — множества ячеек, разделяющих известные свободные области и неизвестные зоны карты. Такие фронтиры служат естественными ориентирами для постановки промежуточных целей и должны учитываться при построении локальной стратегии движения как факторы риска, влияющие на выбор траектории и допустимый коридор планирования. Двумерные сетки занятости обеспечивают высокую вычислительную эффективность и широко применяются для быстрой планировки маршрутов, однако наличие нависающих крон и наклонённых стволов снижает достоверность бинарной классификации «занято/свободно». В связи с этим двумерные модели нередко дополняются трёхмерными сетками занятости, при этом для повышения эффективности алгоритмов планирования используется их проекция в формат 2.5D.

OctoMap представляет собой компромисс между точностью и вычислительными затратами: вероятностная трёхмерная карта занятости хранится в структуре октодерева, что позволяет экономно описывать большие свободные объёмы и при этом детализировать области, имеющие ключевое значение [7, с. 189–206]. Такой подход особенно актуален в лесных условиях, где присутствуют значительные «воздушные» просветы и большое количество повторяющихся вертикальных структур (стволы и ветви). OctoMap поддерживает вероятностные обновления состояния ячеек, хранение областей неопределённости и формирование проекций в 2.5D-представления, применяемые для глобального планирования; при этом локальные

алгоритмы используют более плотные карты, центрированные относительно робота.

Карты высот с учётом ковариации позволяют моделировать микрорельеф как фактор риска. Локальные elevation maps являются ключевым инструментом для учёта мелкомасштабных неровностей — ступеней, бугров, корневых выворотов и мелких канав. Принципиально важно хранить ковариацию высоты, так как ошибки оценки напрямую влияют на вычисление уклонов и работу риск-модулей (например, оценку вероятности опрокидывания при движении по поперечному склону) [6, с. 433–440]. Современные GPU-реализации обновления карт высот позволяют поддерживать окно локальной карты протяжённостью 20–30 м с пространственным разрешением 0.1–0.2 м при частотах, совместимых с локальными оптимизаторами [32, с. 2273–2276]. Для интеграции с планировщиком вводится elevation costmap: каждой ячейке приписываются не только среднее значение высоты, но и дисперсия, а также оценки уклона и шероховатости.

Слой проходимости описывает связь между геометрией среды и динамикой движения. Ключевые признаки — продольный и поперечный уклон, шероховатость и ступенчатость поверхности, несущая способность грунта, а также близость к препятствиям — агрегируются в интегральные стоимости или бинарные маски доступности. Для тяжёлых шасси, работающих на мягких почвах, целесообразно учитывать элементы терамеханики (сцепление, буксование, проседание), что позволяет корректно отражать реальные энергетические затраты и риски [26, с. 17–50; 27, с. 315–420; 28, с. 234–242]. На практике разделяют «жёсткие» и «мягкие» компоненты: жёсткие (например, запрет движения при поперечном уклоне выше порогового значения) задаются как маски доступности, а мягкие добавляются к интегральной стоимости. Дополнительно учитываются риск-функции (коллизии, опрокидывания, застревания), а также энергетическая компонента: на подъёмах и мягких грунтах стоимость движения за единицу расстояния увеличивается, что обеспечивает учет заряда робота глобальным планировщиком [3, с. 1379–1382].

В условиях леса области неопределённости практически неизбежны из-за ограниченности поля зрения сенсоров. Поэтому на уровне планирования необходимо учитывать информационную ценность наблюдений: предпочтение отдается действиям, которые сокращают неопределённость в локализации и/или картографической модели. В теоретическом плане это ведёт к постановкам в пространстве вероятностных состояний (belief space) и к POMDP-моделям, тогда как на практике чаще применяются ограничения на риск и информационно-ориентированные методы разведки (в частности, frontier-подход) [14, с. 1194–1215; 18, с. 146–151].

Типичный набор сенсоров для лесных приложений включает двухчастотный многосистемный GNSS-приёмник с выносной антенной, IMU класса tactical-grade, лидар с числом лучей от 16 до 64 и RGB-D сенсоры для ближней зоны. Картографическое представление обычно включает локальное окно карты высот размером 20–30 м с разрешением 0.1–0.2 м, глобальный слой уклонов с разрешением 0.5–1.0 м и OctoMap для описания крон и стволов. Типовые частоты работы: локальный планировщик — 10–20 Гц; обновление локальной карты — 5–10 Гц; глобальное планирование — 0.2–1 Гц. GNSS-измерения интегрируются в факторный граф только после проверки согласованности (innovation test); при деградации сигнала система снижает скорость, расширяет горизонт локальной оптимизации и активирует режим разведки [6, с. 433–440; 4, с. 60–100; 19, с. 2–5].

Краткий обзор классов алгоритмов планирования

Планирование пути может рассматриваться как задача поиска оптимальной или субоптимальной траектории в конфигурационном пространстве, удовлетворяющей геометрическим, кинематическим, динамическим и риск-ориентированным ограничениям. Классические алгоритмы делятся на четыре основные категории: (а) эвристический графовый поиск (A^* , Θ^* , LPA^* , D^* , D^* Lite и их модификации), (b) выборочные методы (PRM, PRM*, RRT, RRT*, BIT*), (c) локальные оптимизационные подходы (Timed-Elastic Band, Dynamic Window Approach, Model Predictive Control), (d) методы планирования в

пространстве убеждений (belief space) с явным учётом неопределённости.

A* остаётся эталоном эвристического поиска на решётке или графе при допустимой эвристике: он гарантирует нахождение пути минимальной стоимости, если используется допустимая и последовательная эвристика. Улучшения вроде Theta* и Lazy Theta* позволяют строить так называемые любые-угольные траектории, снижая «ступенчатость» и повышая плавность маршрутов [20, с. 533–540]. Когда среда частично известна и динамически изменяется, традиционный A* становится неэффективным: при каждом локальном изменении карты приходится пересчитывать путь с нуля.

Эффективность A* сильно зависит от выбора эвристической функции $h(x)$, которая оценивает «остаточную стоимость» от текущей конфигурации до цели. В стандартных решётках широко применяются манхэттенские и евклидовы расстояния, однако в лесу геометрия рельефа и ограничения проходимости делают эти приближения грубыми. Уклон, влажность почвы и наличие валежника изменяют реальную стоимость движения: два одинаковых по евклидовому расстоянию пути могут различаться по времени и энергозатратам в несколько раз. Поэтому целесообразно строить евклидовы эвристики, взвешенные по уклону: $h(x) = d_E(x, goal) * (1 + w_{slope} * mean_{slope}(x, goal))$.

Допустимость такой эвристики (она не переоценивает реальную стоимость) требует, чтобы коэффициент w_{slope} отражал максимальный рост затрат с увеличением уклона. Анализ допустимости и согласованности эвристик подробно разобран в [8, с. 100–107] и [20, с. 533–540]. В частично известных картах можно использовать «эвристику с понижением»: текущая эвристика уменьшает стоимость в зоне неизвестности, стимулируя разведку.

В ситуациях, когда время критично, полезны модификации A* с множителем, увеличивающим эвристику (Weighted A*). Такой подход позволяет получить путь быстрее, жертвуя оптимальностью: найденное решение гарантированно не хуже, чем $w * OPT$, где $w \geq 1$. «Anytime A*» строит грубый путь с большим w , а затем постепенно снижает

коэффициент, улучшая траекторию. В лесу это может быть применимо для быстрого вывода из критической зоны, после чего система улучшает путь на ходу. Однако «anytime» алгоритмы могут быть ресурсоёмкими, что нужно учитывать при реализации на бортовых компьютерах.

Для леса, где препятствия обнаруживаются на ходу, могут применяться инкрементальные алгоритмы. D^* , LPA^* и D^* Lite поддерживают глобальную стоимость в рабочем графе и пересчитывают её только для изменённых узлов, что сильно экономит вычисления при локальных обновлениях [9, с. 3310–3317; 10, с. 476–483]. Однако их применение на высокоразрешённой 2.5D-сетке может быть ограничено вычислительными ресурсами; решения этой проблемы включают в себя разреживание решётки и использование эвристик для ограничения обновлений. Инкрементальные алгоритмы используют структуру приоритета по rhs - и g -значениям: в D^* Lite для каждого узла поддерживается оценка rhs (желательная стоимость) и g (текущая стоимость). При изменении карты пересчитываются только узлы, у которых rhs и g различаются. В лесу это особенно эффективно: при обнаружении поваленного дерева пересчитывается лишь локальный «фронт» графа, а глобальный маршрут быстро обновляется. LPA^* схож по принципу, но использует другие структуры и был разработан для работы в неизвестной среде. Ключевым нюансом является грамотный выбор порядка обхода и обновления узлов: неправильная настройка может привести к лавинообразным обновлениям и потерять преимущества инкрементальности [9, с. 3310–3317; 10, с. 476–483].

При сложной кинематике (длиннобазные колёсные шасси, трактора с прицепом) и непрерывных ограничениях на управление целесообразно уходить от сеточных методов и использовать семплинг. Probabilistic Roadmap (PRM) строит граф конфигураций через случайные выборки и локальные планировщики, пригоден для многократных запросов на статичной карте: этап обучения создаёт граф конфигураций, этап запроса соединяет начальную и конечную конфигурации [11, с. 566–580]. RRT и его модификации строят дерево, распространяющееся в свободном пространстве; RRT* и PRM* гарантируют асимптотическую

оптимальность при увеличении количества выборок, что важно для задач, где критерий качества — не только достижимость, но и минимизация стоимости [12, с. 846–870; 13, с. 761–799]. ВІТ* объединяет эвристический поиск с семплингом, что позволяет эффективно решать задачи на 2.5D/3D-костмэпе: вместо равномерного семплирования пространство выбирается пропорционально эвристике, что ускоряет сходимость и повышает вероятность получения качественного решения [13, с. 545–550].

Глобальные планировщики дают коридор или грубую траекторию. Локальный планировщик отвечает за сглаживание, обработку кинематики и динамики, учёт мгновенных препятствий и ограничений. Timed-Elastic Band (TEB) оптимизирует шаблонную «полосу» траектории, минимизируя время движения и учитывая физические ограничения робота; он эффективен в узких, извилистых коридорах. Dynamic Window Approach (DWA) дискретизирует пространство допустимых линейных и угловых скоростей, оценивая каждую пару по критериям безопасности и эффективности [21, с. 23–30]. Model Predictive Control (MPC) формулирует оптимизацию на скользящем горизонте, решая задачу в непрерывном пространстве с линейными и нелинейными ограничениями; MPC удобно интегрирует жёсткие ограничения (коллизии, пределы кривизны) и мягкие штрафы (энергия, расстояние до препятствий) [22, с. 1–8]. В контексте леса MPC особенно ценен: он позволяет управлять поперечным уклоном и энергетическими затратами, а также легко расширяется для учёта динамики сцепления.

Когда локализация и карта имеют существенную неопределённость, планирование в пространстве физических конфигураций может вести к опасным ситуациям. POMDP-формулировки учитывают распределение состояния и планируют набор действий, минимизируя ожидаемую стоимость и ценность информации; однако решения POMDP для реальных роботов в лесу вычислительно трудны. SARSOP и похожие алгоритмы аппроксимируют оптимально достижимые области, позволяя решать задачи среднего размера [15, с. 1–8]. На практике часто используют упрощённые модели,

например, рассматривая только неопределённость локализации. Альтернативой являются CC-RRT, CC-RRT*, CC-MPC. Они ограничивают вероятность столкновения на горизонте и позволяют использовать выборочные структуры при наличии шума и ошибки локализации

[16, с. 1–3; 17, с. 233–239]. Эти методы применимы в лесу, когда нет необходимости точно учитывать весь спектр неопределённостей, но нужно гарантировать ограниченный риск.

Принцип Global-to-Local (G2L) предполагает, что глобальный планировщик строит грубый «коридор» или траекторию по крупномасштабной карте, а локальный — следит за ближайшей окружающей средой, отрабатывает кинематику/динамику и реагирует на изменяющиеся препятствия и неопределённость. На практике G2L реализуют слоистую архитектуру: глобальный планировщик может быть A*/Theta* или BIT* по 2.5D/3D-слою; мезоуровень сегментирует коридор в подцели и присваивает им характеристики; локальный слой (MPC/TEB) трекинга обеспечивает выполнение. Менеджер неопределённости регулирует параметры планировщиков: при росте неопределённости сужает коридоры, уменьшает скорость, увеличивает горизонты; при улучшении GNSS возвращает более агрессивные настройки [4, с. 60–100].

При обслуживании крупных лесных массивов возможно использовать несколько роботов. Кооперативная G2L-система распределяет задачи: один робот может проводить разведку и обновлять карту, другой — выполнять логистические задачи. Коммуникация и распределённое планирование требуют согласования карт и позиций, а также конфликтоустойчивого планирования траекторий. Эффективной считается схема, в которой каждый робот поддерживает свою локальную карту и обменивается только ключевыми обновлениями (фронтами, крупными препятствиями), чтобы снизить нагрузку на связь.

Оценка эффективности и валидация построенного пути

Надёжная оценка навигационной системы требует многоступенчатого протокола. На первом этапе проводят симуляции на

высокодетальных цифровых моделях рельефа и облаках точек (например, LiDAR-съёмка в лесу). При этом моделируют деградацию GNSS, шумы лидаров и камер, случайные препятствия (поваленные деревья, камни). Метрики включают длину и время маршрута, интегральную стоимость, средние и максимальные уклоны, число перепланирований, частоту нарушений шанс-ограничений и ошибки локализации (ATE/RPE). На втором этапе — полунатурные испытания: платформа движется в контролируемой среде (полигон с имитацией уклонов, валежника, укрытиями), что позволяет валидировать модели проходимости и риск-модули. На третьем этапе проводят полевые заезды по реальным лесным трассам с использованием тотальной станции или RTK в просветах для получения эталонной траектории [3, с. 1376–1380; 14, с. 1205–1215].

Для полноты анализа следует комбинировать разные метрики: (a) геометрические (длина, отклонение от опорного коридора), (b) временные (время прохождения, время остановок), (c) энергетические (удельные затраты, количество пробуксовок), (d) риск-ориентированные (количество и глубина нарушений ограничений, минимальный запас расстояния до препятствий), (e) эксплуатационные (количество разворотов, манёвров задним ходом), (f) экологические (площадь нарушений, количество повреждений молодняка). Комбинация этих метрик позволяет получить Парето-оптимальный набор весов в функции стоимости и лучше понять компромиссные решения [3, с. 1379–1382].

В полевых условиях проводят эталонные проезды на участках с известными уклонами и покрытиями, одновременно записывая усилия двигателя, скорость, пробуксовку, расход топлива. На основе этих данных строят регрессионные модели, связывающие уклон, шероховатость, несущую способность и энергетическую цену. Далее подбирают весовые коэффициенты для функции стоимости $J(\pi)$. Важно проводить калибровку в разные сезоны (лето, осень, зима) и на разных типах почв, чтобы обеспечить стабильность модели [26, с. 25–108; 27, с. 315–420].

Современные исследования предлагают использовать глубокие нейронные сети для прямого планирования. Сеть на вход получает карты и сенсорные данные, на выходе выдаёт управление. Такой подход требует большого датасета, но даёт высокую скорость исполнения. Комбинированные методы (обучение с подкреплением + классический планировщик) позволяют обучить сеть выдавать начальные решения, которые затем уточняются MPC. Для леса такие методы находятся в зачатке, но показывают потенциал: в симуляциях сети учатся обходить валежник и выбирать зоны с лучшим покрытием GNSS.

Дополнительные факторы влияющие на планирование пути в лесной местности

В реальном лесу помимо статичных объектов есть движущиеся: люди, животные, техника. Планировщик должен обнаруживать и предсказывать их траектории, учитывая неопределённость. Методики включают моделирование динамических препятствий как движущихся эллипсоидов с вероятностными полями, использование фильтров Калмана для предсказания, а также интеграцию предсказаний в ограниченные MPC.

Иногда планировщик сталкивается с препятствием, которое может быть преодолено при определённых условиях (например, маленькая канава, которую можно перепрыгнуть). В таких случаях глобальный планировщик отмечает этот путь как недопустимый, но в реальности локальный контроллер способен реализовать прыжок или короткий разгон. Решение — вводить понятие «проходимых» препятствий с энергетическим порогом: если на участке робот может развить достаточно кинетической энергии, чтобы безопасно преодолеть барьер, то глобальный планировщик разрешает этот путь, а локальный контроллер планирует соответствующий манёвр. В лесу это может касаться мелких ручьёв, небольших канав, поваленных бревен. Математически это приводит к гибридным системам с дискретными событиями: при входе в зону препятствия система переключается в режим «преодоления».

Лес меняется по сезонам: зимой снег скрывает микрорельеф и уменьшает трение; весной почвы размокают; осенью много листьев. Планирование должно учитывать временные окна. Например, данные DEM, собранные летом, не отражают снежного покрова; октябрьские OctoMap-проекции не актуальны весной. В системе позиционирования должен быть реализован модуль «адаптивного доверия к картам»: чем дальше дата карты от текущего времени, тем выше штраф за использование её слоя. Это заставляет робота чаще обследовать местность в начале сезона.

Роботы в лесу работают вместе с людьми. Планировщик должен учитывать команды оператора, давать возможность вмешательства. Используются понятия «human-in-the-loop»: оператор может назначать контрольные точки, ограничивать зоны движения. Система должна уметь переключаться между автономным и ручным режимом плавно, сохраняя консистентность карты и планов. В исследованиях предлагается использовать жестовый ввод или голосовые команды для корректировки траектории; пока это на уровне прототипов.

В лесу неизбежны сбои: может отказать датчик, GPS потерять связь, двигатель перегреться. Планировщик должен иметь механизмы graceful degradation: при отказе лидарной одометрии он переключается на визуальную; при потере GNSS использует относительную локализацию и снижает скорость. При серьёзной ошибке система должна безопасно остановиться и уведомить оператора. Стандарты безопасности для мобильных роботов (ISO 13482) рекомендуют уровни резервирования и тестирование всех модулей.

Нюансы реализации модуля планирования в автономных мобильных роботах

Практические реализации планирования часто строят на ROS (Robot Operating System) и ROS2. Для 3D-карт используют OctoMap [7, с. 189–206]; для local planning — пакеты teb_local_planner, navigation2, move_base; для SLAM — RTAB-Map, LIO-SAM, Cartographer. Важна корректная интеграция: размеры буферов, частоты обновления, синхронизация сенсоров. Для больших роботов рекомендуется разделять

вычисления между CPU (для планирования) и GPU (для карт). Параллельность достигается с помощью многопоточности и асинхронного обмена сообщениями.

Ошибки локализации приводят к смещению карты и, как следствие, к неверным оценкам уклонов, расстояний до препятствий. Планировщик должен учитывать это, например, расширяя границы препятствий пропорционально ковариации позы. В алгоритмах MPC вводят «робастные» ограничения: предполагается, что положение может отклониться на δ , и безопасная зона вокруг препятствия увеличивается на δ .

Случайные и систематические ошибки сенсоров также оказывают влияние на работу планировщика. Лидары страдают от отражения на мокрой листве, камеры — от засветки и теней. IMU имеют дрейф. При построении карт используют фильтрацию выбросов, объединяют несколько ракурсов для уменьшения шумов. Для GNSS применяют детекторы мультипути. Эти модули не относятся напрямую к планированию, но влияют на корректность входных данных. Во многих тестах было показано, что без предварительной фильтрации и слияния данных планирование становится хаотичным: траектория «дрожит», робот часто перепланирует.

Некоторые алгоритмы, особенно POMDP и точные методы, требовательны к ресурсам. В индустрии лесных роботов необходимо выполнение в режиме реального времени, поэтому предпочтение отдаётся методу, который за 50–100 мс способен выдать обновлённую траекторию. Часто создаётся гибрид: в обычных условиях используется более тяжёлый, но качественный планировщик, а при возникновении критической ситуации включается быстрый fallback (например, простой рефлексивный алгоритм избегания препятствий).

Необходимо особо выделить алгоритмы планирования для машин с прицепом и составных систем. Трактора с прицепом имеют сложную кинематику: прицеп может заносить, а траектория тягача не совпадает с траекторией прицепа. Планировщик должен учитывать конфигурацию всей системы. Разработаны специальные модификации RRT* и MPC

(например, СНОМР), которые планируют траектории в расширенном пространстве состояний (позиция и ориентация прицепа). В лесу такие системы пока редки, но в перспективе могут применяться для перевозки длинных бревен.

Будущие направления исследований и выводы по оценке

Развитие автономных роботов оказывает влияние на лесную отрасль не только технологически, но и социально-экономически. Важным направлением являются исследования, моделирующие влияние роботизации на занятость, производительность и сохранение экосистем. Эти модели должны учитывать параметры планирования маршрутов, показатели безопасности и энергоэффективность систем, поскольку именно эти параметры определяют конечную экономическую выгоду. Исследования показывают, что внедрение автономных роботов снижает потребность в тяжёлых ручных работах на 30–40%, одновременно увеличивая объём заготавливаемой древесины без ущерба для экологических нормативов. Модели, включающие алгоритмы планирования пути и оценки проходимости, демонстрируют оптимистичные сценарии, где автономизация ведёт к повышению устойчивости лесопользования [1, с. 1–3; 2, с. 1–5].

В условиях большой площади делянки несколько роботов и бригад могут действовать одновременно, обмениваясь данными. В практических испытаниях было проведено моделирование ситуаций, когда один робот отказывается из-за поломки, и соседние берут на себя его задачи. Планировщик перераспределяет маршруты и корректирует последовательность задач, чтобы минимизировать простой оборудования. Результаты показали, что использование распределённых планировщиков с обменом фронтами позволяет существенно снизить время простоя и увеличить эффективный рабочий день. Операторы отмечали улучшение координации и снижение нагрузки на персонал.

Автономные роботы работают не в вакууме: данные их навигации и картографирования нужно интегрировать в корпоративные ГИС, используемые для планирования лесных работ, инвентаризации, охраны. Алгоритмы планирования должны учитывать объекты из ГИС:

квартальные просеки, особые охранные зоны, инфраструктуру. В ходе валидационных проектов было разработано средство преобразования OctoMap и elevation-карт в форматы, поддерживаемые ArcGIS и QGIS. Это позволит лесхозам быстрее обновлять геоданные и принимать решения на основе актуальной информации.

Осадки, температура, влажность воздуха влияют на физические свойства почвы и сцепление. Алгоритмы планирования могут учитывать прогноз погоды для выбора времени и маршрута. Например, в дни после дождя алгоритм увеличивает вес сырой поверхности, избегает склонов с высоким риском проскальзывания. В регионах с частыми снегопадами в планирование добавляется слой «толщина снежного покрова», оценённый по спутниковым данным. Эта интеграция помогает уменьшить аварии и простоя техники.

Долгосрочная перспектива включает создание стандартов по безопасной эксплуатации автономных машин в лесу: определение допустимых скоростей, расстояния до людей, минимальных уровней контроля, требований к точности GNSS в разных классах леса. Текущие стандарты для промышленных роботов (например, ISO 13482) не учитывают специфику лесных операций. Исследовательское сообщество совместно с лесной отраслью разрабатывает предложения по нормативам, где планирование пути, оценка риска и механизм аварийного останова занимают центральное место.

Несмотря на высокий уровень автоматизации, специалист по лесному хозяйству остаётся важным звеном. Он определяет цели, контролирует корректность карт, принимает решения о начале работ. Алгоритмы планирования включают возможность мягкого вмешательства: оператор может задать дополнительный перерыв для роботов, указать нежелательные зоны, изменить порядок выполнения задач. Дизайн интерфейсов должен обеспечивать простой ввод таких правок, при этом система сама пересчитывает маршруты без остановки рабочего процесса. В ходе пилотных проектов операторы оценили прозрачность планов и удобство корректировки; многие отметили, что

доверие к роботу растёт, когда система объясняет свои решения и показывает карту с планируемыми траекториями.

Заключение

В главе показано, что планирование пути автономных мобильных роботов в лесу требует не только математических алгоритмов, но и системного подхода: учёта экономики, экологии, социологии, информатики и механики. Перспективы улучшения лежат в области комбинирования классических алгоритмов с машинным обучением, разработки нормативов и тесной интеграции с лесным хозяйством. По мере продвижения технологий становится очевидно, что автономные системы будут играть ключевую роль в устойчивом управлении лесами.

Дополнительная ремарка: для достижения оптимального баланса безопасности, эффективности и экологичности необходимо непрерывно совершенствовать методы планирования и интегрировать новые источники данных, такие как спутниковые снимки, метеоданные и краудсорсинговые наблюдения, в навигационные системы лесных роботов.

Примечания

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-128).

Список литературы

1. FAO. The State of the World's Forests 2024: Forest-sector innovations towards a more sustainable future. Rome : FAO, 2024. 122 p.
2. Visser R., Obi O. Automation and Robotics in Forest Harvesting Operations: Identifying Near-Term Opportunities // Croatian Journal of Forest Engineering. 2021. Vol. 42, No. 1. P. 13–24.
3. Papadakis P. Terrain traversability analysis methods for unmanned ground vehicles: A survey // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2013. Vol. 26, No. 4. P. 1373–1385.
4. Dellaert F., Kaess M. Factor Graphs for Robot Perception // Foundations and Trends in Robotics. 2017. Vol. 6, No. 1–2. P. 1–139.

5. Zhang J., Singh S. LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time // Proc. Robotics: Science and Systems (RSS). 2014.
6. Fankhauser P., Bloesch M., Gehring C., Hutter M., Siegwart R. Robot-centric elevation mapping with uncertainty estimates // Mobile Service Robotics (CLAWAR 2014). Singapore : World Scientific, 2014. P. 433–440.
7. Hornung A., Wurm K. M., Bennewitz M., Stachniss C., Burgard W. OctoMap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees // Autonomous Robots. 2013. Vol. 34. P. 189–206.
8. Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B.A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. Vol. 4, No. 2. P. 100–107.
9. Stentz A. Optimal and Efficient Path Planning for Partially-Known Environments // Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 1994. P. 3310–3317.
10. Koenig S., Likhachev M.D* Lite // Proc. AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2002. P. 476–483.
11. Kavraki L.E., Švestka P., Latombe J.-C., Overmars M.H. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1996. Vol. 12, No. 4. P. 566–580.
12. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based Algorithms for Optimal Motion Planning // The International Journal of Robotics Research. 2011. Vol. 30, No. 7. P. 846–894.
13. Gammell J.D., Srinivasa S.S., Barfoot T.D. Batch Informed Trees (BIT*): Informed Asymptotically Optimal Anytime Search // The International Journal of Robotics Research. 2020. Vol. 39, No. 5. P. 543–567.
14. Kaelbling L.P., Lozano-Pérez T. Integrated task and motion planning in belief space // The International Journal of Robotics Research. 2013. Vol. 32, No. 9–10. P. 1194–1227.
15. Kurniawati H., Hsu D., Lee W.S. SARSOP: Efficient Point-Based POMDP Planning by Approximating Optimally Reachable Belief Spaces // Proc. Robotics: Science and Systems (RSS). 2008.
16. Lüders B.D., Kothari M., How J.P. Chance Constrained RRT for Probabilistic Robustness to Environmental Uncertainty // AIAA Guidance,

Navigation, and Control Conference (GNC). 2010. (электронное изд., без стабильной пагинации).

17. Kothari M., Postlethwaite I.A Probabilistically Robust Path Planning Algorithm for Nonlinear Systems // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2013. Vol. 71. P. 231–253.

18. Yamauchi B.A Frontier-Based Approach for Autonomous Exploration // Proc. IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA). 1997. P. 146–151.

19. Cho H.-M., Park J.-W., Lee J.-S., Han S.-K. Assessment of the GNSS-RTK for Application in Precision Forest Operations // Remote Sensing. 2024. Vol. 16, No. 1. Article 148.

20. Daniel K., Nash A., Koenig S., Felner A. Theta*: Any-Angle Path Planning on Grids // Journal of Artificial Intelligence Research. 2010. Vol. 39. P. 533–579.

21. Fox D., Burgard W., Thrun S. The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance // IEEE Robotics & Automation Magazine. 1997. Vol. 4, No. 1. P. 23–33.

22. Kulathunga G., Yilmaz A., Huang Z., Hroob I., Arunachalam H., Guevara L., Klimchik A., Cielniak G., Hanheide M. Resilient Timed Elastic Band Planner for Collision-Free Navigation in Unknown Environments // Journal of Field Robotics. 2025. Early View. DOI: 10.1002/rob.22602.

23. Kaess M., Johannsson H., Roberts R., Ila V., Leonard J. J., Dellaert F. iSAM2: Incremental Smoothing and Mapping Using the Bayes Tree // The International Journal of Robotics Research. 2012. Vol. 31, No. 2. P. 216–235.

24. Elfes A. Occupancy Grids: A Stochastic Spatial Representation for Active Robot Perception // Proc. Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI). 1989. P. 136–146.

25. Moravec H., Elfes A. High Resolution Maps from Wide Angle Sonar // Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 1985. P. 116–121.

26. Iagnemma K., Dubowsky S. Mobile Robots in Rough Terrain: Estimation, Motion Planning, and Control with Application to Planetary Rovers. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2004. 111 p.

27. Wong J.Y. Theory of Ground Vehicles. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2008. 560 p.
28. Ishigami G., Miwa A., Nagatani K., Yoshida K. Terramechanics-based model for steering maneuver of planetary exploration rovers on loose soil // Journal of Field Robotics. 2007. Vol. 24, No. 3. P. 233–250.
29. Purfürst T. Evaluation of Static Autonomous GNSS Positioning Accuracy Using Single-, Dual-, and Tri-Frequency Smartphones in Forest Canopy Environments // Sensors. 2022. Vol. 22. Article 1289.
30. Căţeanu M., et al. Performance Evaluation of Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System with Survey-Grade Receivers and Short Observation Times in Forested Areas // Sensors. 2024. Vol. 24, No. 19. Article 6404.
31. Abdi O., et al. Evaluation of Forest Features Determining GNSS Positioning Accuracy of a Novel Low-Cost, Mobile RTK System Using LiDAR and TreeNet // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, No. 12. Article 2879.
32. Miki T., Wellhausen L., Grandia R., Jenelten F., Homberger T., Hutter M. Elevation Mapping for Locomotion and Navigation using GPU // Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2022. P. 2273–2280.

© Pero Г.Э., 2025

Глава 9.
**ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
И КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

Калиниченко Владислав Александрович

к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет

Калиниченко Мария Львовна

м.т.н., старший научный сотрудник

Белорусский национальный технический университет

Аннотация: В работе рассмотрены перспективы применения пористых материалов и актуальные подходы, применяемые при создании, как самих вспененных материалов, так и изделий на их основе. Представлены структуры получаемых материалов и ряд технологических параметров получения композиционных материалов разных типов. Отражены способы применения данных материалов для различных отраслей промышленности. Осуществлена разработка рекомендаций по закрытию пор высокопористых материалов.

Ключевые слова: высокопористые материалы, плавка алюминия, полимерные покрытия, композиционные материалы, облегченные конструкционные элементы.

**PRODUCTION OF POROUS MATERIALS AND COMPOSITE
PRODUCTS BASED ON THEM**

Kalinichenko Uladislau Aleksandrovich

Kalinichenko Maria Lvovna

Abstract: The paper considers the prospects for the use of porous materials and current approaches used in the creation of both the foamed materials themselves and products based on them. The structures of the obtained materials and a number of technological parameters for obtaining

composite materials of different types are presented. The methods of using these materials for various industries are reflected. Recommendations for closing the pores of highly porous materials have been developed.

Key words: highly porous materials, aluminum melting, polymer coatings, composite materials, lightweight structural elements.

1. Перспективы применения пористых материалов

Расширение областей применения пористых изделий из металлических материалов настоятельно требуют обратить внимание на разработку эффективных технологий их изготовления, в частности, методами литья. Литейно - металлургические технологии по сравнению с другими технологиями формообразования изделий отличаются наибольшей эффективностью из-за возможности получения изделий непосредственно из расплава при сравнительно низких материальных и энергетических затратах [1, с. 168]. Физическую основу литейных технологий составляет процесс затвердевания расплава, от характера протекания которого, зависит структура и, следовательно, механические свойства литых изделий.

Совершенствование традиционных и разработка новых технологий литья на основе использования достижений научно-технического прогресса с практическим освоением определяет современный уровень создания и применения пористых материалов различных типов, в т.ч. вспененных металлических материалов [21, с. 22; 3 с. 12].

В последние годы во всём мире развивается концепция облегчения металлоконструкций и изделий. В этом направлении всё большее применение начинают находить вспененные металлические материалы, характеризующиеся необычным сочетанием физико-механических свойств в основном, на основе алюминия и его сплавов [2-4]. Несмотря на то, что эти материалы открыты более 50 лет назад, до сих пор их внедрение в промышленности ограничено. Это может быть объяснено консервативностью технологий, применяемых на предприятиях, проблемами с контролем качества при производстве вспененных материалов, трудностями качественной механической обработки вспененных материалов.

Главной особенностью вспененных материалов является их высокая пористость при хорошей демпфирующей способности. Металлические пены, несмотря на низкую плотность ($0,1-0,8 \text{ г/см}^3$), характеризуются достаточно высокими прочностными свойствами и жесткостью [5, с. 23]. До настоящего времени их широкое использование ограничено и отсутствием изделий, специально разработанных с применением вспененных металлических материалов.

Металлические пены обладают также рядом специфических свойств, например, низкой теплопроводностью, хорошей звукоизоляцией, экологической и санитарной чистотой, и могут занимать своё место в современном машиностроении благодаря хорошему сочетанию эксплуатационных свойств и малого удельного веса [6, с. 398].

Кроме того данный тип материала может быть применен в качестве армированных заготовок при производстве как модельных комплектов, так и различного типа изоляционных панелей в случае создания из них упрочненных композиционных материалов.

Ранее проведенные исследования [1, с. 5], показали, что применительно к условиям Республики Беларусь наиболее перспективными являются литейно-металлургическая технология производство вспененных материалов, обладающая большей гибкостью в размерах получаемых изделий и используемых сплавов.

2. Разработка технологических процессов промышленного производства вспененных материалов на базе отечественного сырья

Исходя из доступности технологии и возможного применения металлических вспененных материалов, в качестве основных материалов используют алюминиевые пены, производимые литейно-металлургическими и порошково-металлургическими способами, которые позволяют получать из них различные крупные заготовки [2, с. 21; 4, с. 189; 8, с. 1]. Наиболее полный обзор способов получения вспененных сплавов на основе алюминия и других металлов, например, магния, приведен в подборке статей ряда исследователей [3, с. 4].

В настоящее время принято различать по способу изготовления три основные группы вспененных металлических материалов: литейно-металлургические, порошково-металлургические пены и прочие (включая напыленные и синтаксические). Эти группы делятся на подгруппы по дополнительным признакам, например, характеру сформированных пор (открытые и закрытые) [3, с. 4; 7, с. 5258].

Металлический расплав может быть вспенен путем образования пузырьков в жидкости при условии, что расплав будет иметь достаточную вязкость, чтобы обеспечить стабилизацию образованной пены. Достичь этого можно с помощью добавления керамических порошков малой фракции или легирующих элементов в расплав, что стабилизирует пенообразное строение расплава. На данное время известно три пути вспенивания металлических расплавов [8, с. 3]:

- вдуванием газа в жидкий металл;
- замешиванием порообразователя, который выделяет газ в расплавленный металл;
- при выделении газа, который был предварительно растворен в расплаве.

Все вспененные материалы, полученные приведенными способами, практически являются металлическими пенами с закрытым типом пор (рис. 1а). Такой пеноматериал характеризуется тем, что отдельные поры не образуют с соседними каналов (рис. 1б).

Получение пористых изделий путем замешивания порообразователя в расплавленный металл является наиболее перспективным за счет возможности изготовления достаточно сложных по форме отливок, уменьшения стоимости производства и упрощения процесса вспенивания. Основными компонентами для получения данного типа вспененных материалов, являются расплавленная алюминиевая основа, а также (в зависимости от типа процесса) добавки, увеличивающие вязкость расплава, такие как натрий, кальций, оксид алюминия, карбид кальция и др. [9, с. 165].



**Рис. 1. Примеры вспененного алюминия
а) закрытые, б) открытые поры;**

Благодаря своей пористой структуре первые вспененные металлические материалы использовались как фильтры грубой очистки. Алюминиевые пены нашли также применение при изготовлении температуро- и вибропоглощающих панелей для строительных конструкций. Следующим шагом в расширении номенклатуры изделий с применением металлических пен стало создание бамперов, а также других деталей для автостроения и машиностроения [10, с. 4].

Применительно к автомобилестроению основные возможности для использования пеноматериалов можно обозначить как защита человека в салоне автомобиля, защита узлов и агрегатов, защита окружающей среды (снижение шумов, а также в результате снижения веса автомобиля – экономия горючего). В результате наиболее концептуально развиваемыми направлениями в автомобилестроении являются поглощение разрушающих энергетических воздействий, облегчение несущих конструкций и улучшение изоляционных показателей [10, с. 4].

Облегчение веса конструкций автомобилей, возможно осуществлять путём использования пластин из вспененного материала для моторного отсека и пространства багажника, разделительные перегородки, а также при производстве термофургонов. В перспективе, возможно применение вспененных металлов вплоть до создания цельных кузовов (в особенности требующих повышенной жёсткости, как на

кабриолетах) [5, с. 2]. Представляет интерес использование сэндвичей (к примеру, алюминиевый листовой металл – вспененный алюминий – металл).

Строительная промышленность тоже может использовать передовые технологии облегчённого строительства на базе вспененного алюминия. Это обеспечивается такими свойствами пеноалюминия, как механическая прочность, негорючесть, гигиеничность и экологичность, защита от различных типов излучений. Примерами применения вспененных металлических материалов являются пластины временных понтонных мостов, защитные подушки лифтов, облицовочные плиты павильонов, звукоизоляционные стены сооружений, находящихся возле шумных зон (аэропорты, вокзалы, дискотеки и т.п.). Вспененные материалы, полученные из отходов цветных сплавов или металлов, могут использоваться в изделиях ответственного и неответственного назначения: в качестве несущих поверхностей крыш производственных помещений, шумопоглощающих экранов, звукоизолирующей облицовки, в качестве защиты помещений от электромагнитных волн [11, с. 194].

Для облицовочных плит, звуко- и пожароизолирующих стен вполне возможно применение пеноалюминия, полученного из вторичных алюминиевых сплавов и отходов алюминия с повышенным содержанием железа [12, с. 79]. Исследования показывают, что в случае пожара помещение из пеноалюминиевых плит (сплав AlCu4) выдерживает сильный пожар в течение 30 минут, хотя более высокую несущую способность имеют плиты из сплавов системы Al-Mg-Si [13, с. 14].

В качестве потенциальных потребителей вспененных материалов можно назвать и другие отрасли машиностроения. Например, ведутся разработки по созданию лёгких валцов из вспененного алюминия для печатной и бумажной промышленности. К тому же возможно потенциальное использование в теплообменниках, фильтрах и катализаторах, а также в некоторых случаях в качестве дизайнерской мебели и т.п.

В настоящее время опытно-промышленное производство изделий из вспененного алюминия для различных отраслей промышленности и

строительства освоено в России (ВИЛС, г. Москва, КУМЗ, г. Каменск-Уральский), Южной Кореи (Foamtech Co., LTD, г. Сеул), Канаде (Сумат Aluminium, г. Кингстон) и рядом других фирм в разных странах мира.

Рассматривая свойства пен, необходимо отметить, что они зависят как от способа получения, так и от химического состава материала матрицы. Основные физико-механические свойства пен для разных способов получения приведены в таблице 1.

При порошково-металлургическом процессе производства вспененного алюминия основные этапы изготовления пены включают: смешение алюминиевого порошка с реагентом → компактирование → прессование (к примеру, экструзия) → вспенивание при нагреве заготовки выше 1000⁰С [2, 3].

Согласно наиболее распространенной в мировой практике технологии (АЛКАН – НОРСК процесс) для формирования пеноматериалов используют чистый алюминий или его первичные сплавы, которые после расплавления дополнительно армируются карбидом кремния или оксидом алюминия, добавляя их в расплав в количестве от 5 до 20% от массы расплава. После гомогенизации расплава путём его перемешивания вольфрамовой мешалкой, проводится продувка инертным газом с одновременной вытяжкой вспененной субстанции на алюминиевой фольге или охлаждаемом транспортёре. В результате получается вспененный алюминий с варьируемой пористостью от 80 до 97%. После полного затвердевания литая заготовка режется ленточной пилой на мерные плиты.

Для промышленных нужд требуются изделия определенной геометрии. Как результат, необходима обработка полуфабриката для придания требуемой формы, учитывая следующие условия:

- процесс механической обработки обязан быть дешевым;
- процесс должен быть рассчитан для массового производства с высоким качеством готовых изделий, не требовать значительной реконструкции станочного парка.

Таблица 1

Основные свойства алюминиевых пен

Тип пены	Alcan N. Hydro (АЛКАН – НОРСК)	Schinko Wire (ALPORAS)	Fraunhoffer Mepura
Процесс производства	Расплав Al + газ	Расплав Al + TiH ₂	Кусковой Al + TiH ₂
ρ^* (г/см ³)	0,08 – 0,38	0,21	0,35 – 0,7
$\rho^*/\rho_s(-)$	0,03 – 0,14	0,08	0,13 – 0,26
Вид пор	Закрытые	Закрытые	Закрытые
Размер пор, мм	4 – 18	6	3
Стоимость, у.е./кг	5 – 10	Неизвестна	300

В работе [14, с. 32] предложена технология получения вспененных материалов из вторичных алюминиевых сплавов (в качестве базового был принят АЛКАН – НОРСК процесс). Основным компонентом шихты по предлагаемой технологии являлся алюминиевый сплав системы Al-Si или Al-Cu, с содержанием железа до 1,5%. После расплавления шихты и перегрева расплава до 750°C проводили очистку зеркала металла от шлака и замешивали в расплав вольфрамовой мешалкой армирующий компонент – оксид алюминия в количестве 7,0%. Обеспечив его равномерное распределение по объёму расплава, за счёт интенсивного перемешивания в течение 5 минут, продували аргоном 3-5 минут, что обеспечивало вспенивание расплава по всему объёму тигля. Для вытягивания вспененной заготовки с поверхности расплава использовали охлаждаемый вытяжной транспортёр. После окончательного затвердевания вспененной заготовки производили её разделение на мерные блоки с последующей электрохимической размерной обработкой отдельных поверхностей.

Таким образом, для разработки процесса получения вспененного металлического материала следует установить влияние температуры, равномерности распределения порообразующих добавок на качество получаемых заготовок.

Необходимо отметить, что важное влияние на процесс вспенивания расплава оказывает технология его приготовления. Только при гомогенном распределении реагента (например, водорода) в металлической матрице получается равномерная по свойствам и структуре пенообразная масса. В случае неравномерного распределения реагента по объему формируется неравномерная структура пор по сечению образца (рис. 2).

Из рис. 2. видно, что основная масса реагента была в центральной зоне, где образовались крупные поры размером около 10 мм. В нижней части поры значительно меньше и их объемная доля также ниже. Недостатком такого строения пеноматериала является неравномерность физико-механических свойств по толщине, что затрудняет расчеты, например, жесткости при возможном применении в автостроении.



**Рис. 2. Формирование различной пористости по толщине
при неравномерном распределении реагента**

Принимая во внимание сложность приобретения некоторых реагентов, применяемых в других странах, было принято решение использовать шарики из пластика, которые после заливки расплавом плавятся и при очень высоких температурах даже закипают с образованием значительного количества газов (рис. 3). Однако не всегда

происходит расплавление шариков, что требует их последующего удаления, а в случае закрытых пор может быть затруднительно.

Из рис. 3. видны сохранившиеся в объеме образцов шарики, что может вызывать непредсказуемое распределение свойств в разных объемах образцов (например, теплопроводности и прочностных характеристик).

В литературе упоминается, что исходный состав алюминиевых сплавов (особенно при порошково-металлургическом процессе) практически не влияет на процесс пенообразования и размер пор в полученном материале. Однако в процессе вспенивания возможно нежелательное изменение структуры металлической основы, что может, например, привести к охрупчиванию материала.



**Рис. 3. Образцы пеноалюминия, полученные
с применением шариков из полиэтилена**

Проведенные исследования показали, что при использовании вторичных алюминиевых сплавов и отходов для получения пеноалюминия наблюдается различие в микроструктуре стенок пор. Повышение общего содержания других элементов приводит к формированию многочисленных вторичных фаз (рис. 4).

повышенными физико-механическими свойствами при сравнительно невысоких материальных и энергетических затратах.

В ходе проведенных поисковых разработок было выявлено, что такой парофор как гидрид титана, является весьма дорогостоящим и редким материалом в наших условиях. Было принято решение о поиске дешевого местного заменителя данного материала. Как известно вспенивание материала происходит за счет образования в металле избыточного количества газов. Как результат была опробована технология ввода в расплав древесных опилок, которые обладают высокой газообразующей способностью при выгорании. Как показали экспериментальные исследования ввод в расплав 20% (по объему) древесных опилок, стабилизированных оксидом кальция, приводит к вспениванию расплавленного металла и образованию закрытых пор как представлено на рис. 5. Как видно из рисунка, верхняя область представляет собой вспененный материал, в то время как нижняя зона, находящаяся в форме, имеет более плотные слои. Что не является недостатком по причине упрощения крепления вспененного материала к любым основам.

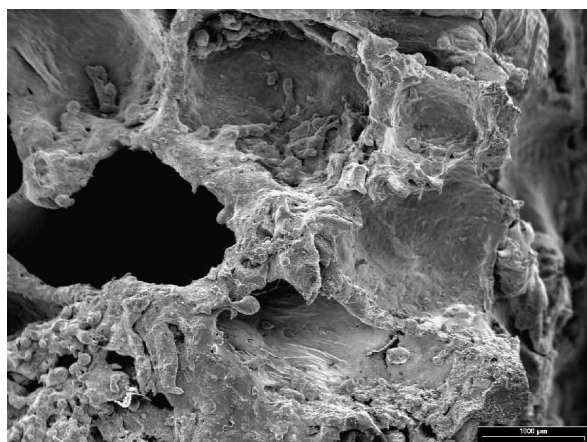


**Рис. 5. Вспененный алюминий, полученный
с помощью древесных опилок**

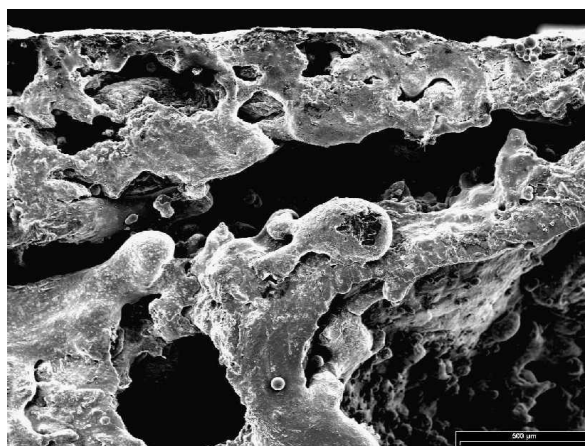
Экспериментально установлено, что температура расплава влияет на строение материала. Повышение температуры синтеза способствует более интенсивному влиянию растворенных газов на стенки пор, наблюдается их разрывы и формирование каналов, что влияет на

жесткость конечного изделия (рис. 6). Повышенная температура способствует, с одной стороны, повышению скорости протекания процесса (повышается производительность), а с другой стороны – может вызвать нарушение целостности строения.

На основании проведенных лабораторных исследований были разработаны потенциальные основы двух технологических процессов промышленного изготовления экологически чистого и долговечного алюминиевого пеноалюминия, в том числе на основе нового типа материала получаемого с помощью исключительно отечественного сырья – отходов предприятий деревообрабатывающей отрасли. При этом необходимо отметить, что предлагаемые технологические процессы весьма просты для реализации и не требуют дорогого технологического оборудования, к тому же отвечают актуальным экологическим задачам, внимание которым год от года приобретает все большее значение, как в мировой практике, так и на территории Республики Беларусь.



а



б

Рис. 6. Строение пеноалюминия
а) полученный при температуре 750°C,
б) при температуре 900°C

Для параметров вспенивания весьма важным является контроль температуры. При этом следует учитывать, что этот параметр напрямую связан с геометрией и материалами формы и её конструкцией, печной атмосферой и свойствами сплава (в первую очередь, его вязкостью и

жидкотекучестью). Вид печного оборудования для производства вспененных материалов не имеет решающего значения. Могут применяться как лабораторные печи сопротивления, так и промышленные агрегаты. Для промышленного производства рекомендуются печи непрерывного действия.

В первом варианте предлагаемого процесса, представленном на рис. 7., предложено изготовление объемных заготовок из вспененного материала для последующего производства утеплительных изделий сложной конфигурации.

На первом этапе параллельно проводятся две технологические операции: плавка на стандартных режимах принятых для плавления лома алюминия, и технологическая подготовка формы с используемым наполнителем-парофором (в качестве формы используется металлический короб размером 500x1000x10).

Для плавки в плавильную печь загружаются отходы алюминиевого производства (лом и возврат собственного производства, в виде полученного брака и отходов от резки) и печь выводится на режим плавления с последующей выдержкой.

Параллельно в стальные формы, предварительно прошедшие очистку, ровным слоем засыпаются древесные опилки, смешанные со парофором и 1-5% стабилизатора, в качестве которого предложено использовать карбид кальция. После выполнения данных операций формы загружаются в сушильный шкаф. Для процесса сушки и прогрева форм был использован сушильный шкаф типа ШС-80-01, предназначенный для получения и поддержания внутри рабочей камеры температуры с достаточно высокой точностью, необходимой для проведения сушильных операций с древесными опилками, а так же параллельному разогреву формы для заливки. Данный сушильный шкаф представляет собой, по сути, камерную печь сопротивления состоящей из металлического каркаса и футерованной высокоэффективными многослойными материалами. Дно шкафа было перекрыто плитами из жаропрочного бетона и закрыто подовой плитой из жаропрочной нержавеющей стали. Дверцы печи были оснащены системой блокировки

питания нагревателей при открывании.

Система управления шкафа предусматривала одну зону контроля температуры. Рабочая температура поддерживалась в интервале от 200С до 300С в зависимости от применяемых исходных добавок. Затем разогретая форма подавалась на участок заливки, где она заполнялась расплавленным алюминием. На последнем этапе готовые пластины из вспененного металла проходят процесс охлаждения и резки (распиловки, с помощью ленточной пилы или иных технических средств).

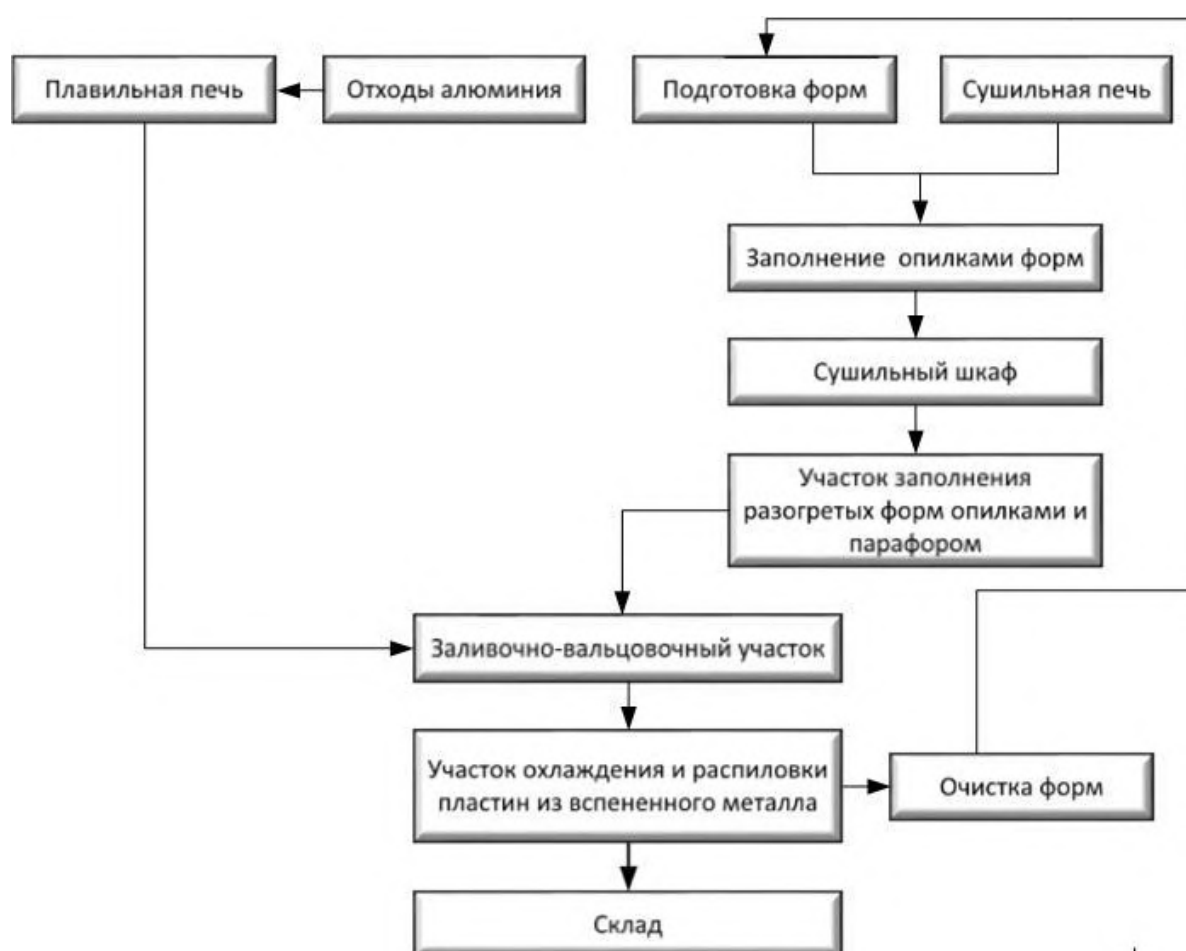


Рис. 7. Схема технологического процесса, для получения крупногабаритных изделий из пеноалюминия

В качестве второго технологического процесса для изготовления тонких пластин вспененного материала был разработан безформовой процесс изготовления заготовок (рис. 8).

На первом этапе отходы алюминия в виде лома и опилок проходят первичную обработку и сортировку. Кусковой алюминиевый лом необходимо отсортировать, отделяя инородные металлические примеси. Опилки рекомендуется пропускать через магнитный сепаратор во избежание попадания тугоплавких металлов и сплавов или иных инородных тел, способных повредить вальцы либо вызвать нарушение процесса вальцевания. После чего, алюминий поступает в плавильную печь, а опилки в сушильный шкаф. Расплавленный алюминиевый сплав и подогретые опилки, необходимые для осуществления запланированного процесса, направляются на технологический участок для последующего производства вспененного материала. На данном участке непосредственно в разливочном ковше происходит смешивание расплавленного алюминия, высушенных опилок, порофора и вещества стабилизатора. После вспенивания материал поступает на вальцы, где происходит охлаждение и формообразование. Скорость вращения вальцов подбирается в зависимости от толщины получаемой полосы в величины процентного содержания опилок. Полоса направляется на участок резки, и в готовом виде поступает на склад.



**Рис. 8. Схема технологического процесса получения
листового вспененного материала**

3. Анализ используемых материалов и применение пеноалюминия

Основная задача при теплоизоляции труб – это снижение уровня потери тепла при передаче теплоносителя на расстояние. Во избежание теплопотерь от транспортируемых по трубопроводам разогретых жидкостей либо потерь через фасады зданий и сооружений на практике применяются различные типы утеплительных материалов. Для обеспечения параметров надёжности утеплительного слоя, материалы должны удовлетворять требованиям экологической чистоты, способностью выдерживать циклические термические нагрузки, быть непригодными для развития в них микрофлоры, обладать доступностью и низкой себестоимостью. Для обеспечения теплоизоляционных свойств применяются, как правило, материалы с высокой пористостью. Эти материалы бывают как органического, так и неорганического происхождения.

В настоящее время наиболее широко применяются: минеральная или каменная вата (Белтеп, Isover, Комат изол и др.), синтетический каучук (K-Flex, NMC, Armacell), вспененный полиэтилен (Петрофол, Изоком, Изодом, Ютафол, Энергофлекс, Велотерм, Стенофон, Порилекс, Теплофол и др.), пенополистирол, которые необходимо укрывать защитным материалом, предохраняющим от проникновения влаги, УФ-лучей солнца, ветра. Наиболее распространенным, эффективным, доступным и дешевым средством является стеклоткань любых производителей (РБ, РФ).

Наиболее эффективным материалом, в настоящее время, является пенополиуретан, единственный утеплитель способный надежно и надолго свести к минимуму потери тепла в трубопроводах. Фактические тепловые потери в 2–3 раза ниже нормативных.

В Белорусском национальном техническом университете в рамках выполнения государственной программы «Механика, техническая диагностика, металлургия» ведутся работы по созданию материала отвечающего всем вышеперечисленным свойствам на базе отечественного вторичного сырья, а именно отходов

деревообрабатывающего производства и лома алюминия. Основным конкурентом данного типа материала является утеплитель на основе вспененного стекла, производимый на ОАО «Гомельстекло». Оба материала имеют сходную ячеистую структуру типичную для всех пеноматериалов (рис. 9), однако вспененное стекло имеет меньший диаметр пор, что сказывается на ряде теплофизических свойств. При этом оба типа материала имеют длительный срок службы, например 100 лет гарантии для пеностекла [15, с. 252].

Однако другим немаловажным фактором всех типов утеплительных материалов является их физико-механические и стоимостные показатели. Кроме вышеперечисленных свойств большое значение имеют эксплуатационные свойства. При выборе того или иного материала, следует учитывать, что в мировой практике алюминиевые пены успешно используются для защиты от удара, повышения жесткости полых профилей, изготовления негорючих фасадных элементов зданий и легких и огнестойких кабин лифтов, а также в производстве теплостойких демпфирующих материалов и для упрочнения анкеров в бетонных стенах.



Рис. 9. Типы вспененных материалов
а - вспененное стекло, б - вспененный алюминий

В то же время вспененное стекло, известное с 1954 года, не обладает рядом свойств, присущих металлическим материалам, а именно пластичностью, стойкостью к ударным нагрузкам и в ценовом сегменте уступает другим типам изоляционных материалов, хотя хорошо

зарекомендовало себя для статических конструкций. При этом монтаж блоков из вспененного стекла требует специальных средств защиты, что не требуется для вспененных металлов. Также в качестве преимущества вспененных металлических изделий является возможность производства заготовок любой конфигурации, в то время как вспененное стекло поступает на рынок исключительно в виде плит, что сужает область его применения.

Можно отметить, что оба типа материала применяются в различных областях промышленности и заняли свою определённую нишу. Оба материала можно охарактеризовать как инновационные, экологически чистые, легко перерабатываемые и имеющие высокий потенциал применения в современных условиях. К сожалению, до настоящего времени их широкое использование ограничено как вследствие консервативности применяемых технологий, так и отсутствием изделий, специально разработанных с применением вспененных металлических материалов.

В настоящее время проводятся работы по изготовлению образцов трубопровода, утепленных пеноалюминием, для определения их изолирующих свойств.

В различных отраслях промышленности актуальным стоит вопрос создания прочных и легких элементов оборудования или технологических сооружений. В главе рассмотрены современные подходы при создании облегченных конструкционных композиционных материалов пригодных для создания, как прочных панельных элементов, так и ряда конструкционных изделий. Была изучена возможность применения как отходов литейного производства алюминиевых сплавов, так и высокопористых материалов для сокращения стоимости изготовления конструкционных элементов, а также осуществлена разработка рекомендаций по закрытию пор высокопористых материалов.

Облегчение производства зачастую связано с уменьшением массы изделий, используемых в технологическом процессе. К тому же более легкие изделия снижают расходы на их транспортировку. Актуальным становится вопрос облегчения различных типов конструкционным

элементов при сохранении их прочностных характеристик. Направления исследований были направлены на облегчения различного типа монтажных панелей с приданием им высоких эксплуатационных свойств.

Была предложена концепция использования в качестве наполнителя алюминиевых шлаков и вспененных материалов. Это обосновано тем, что утилизация отходов литейного производства, так же как любых других отходов, является актуальной задачей как для экономической безопасности страны так и для максимального увеличения прибыли от рециклинга имеющихся материалов и снижения затрат на утилизацию и экологический сбор для конкретного предприятия [16, с. 49].

Ранее проведенные исследования [17, с. 20], показали возможность использования термоусадочных материалов для сглаживания поверхности шлаков и высокопористых материалов. Была показана [17, с. 19] возможность создания гладких, износостойких модельных комплектов на основе различных типов алюминиевых шлаков и пористых материалов. Срок службы данных изделий будет зависеть как от качества применяемого клеевого состава, так и от износостойкости термопластика. Однако, учитывая даже минимальную стойкость к механическим разрушениям полученной композиции из термоусадочной трубы и пористого металла, она должна в несколько раз превышать стойкость штучных гипсовых изделий [18, с. 105]. Исходя из этого, представляет интерес использование максимально быстрого и дешевого способа поверхностного упрочнения высокопористого материала.

Для решения поставленной задачи применен наполнитель (компаунд) на основе быстроотверждающейся полиуретановой смолы, используемая для изготовления плит и любых деталей или инструментов, требующие устойчивости к истиранию. Для изучения глубины проникновения компаунда в поры была проведена прямая заливка образца высокопористого алюминия в изложнице (рис. 10а). После затвердевания материала (рис. 10б) полученный образец был распилен (рис. 10в).

При таком использовании пористого материала происходит полное заполнение пор, что не влияет на уменьшение массы, полученной заготовки, а также на снижении ее стоимости. При этом возможно некоторое увеличение прочностных характеристик в результате армирования полученного материала металлическими включениями. Следовательно, чтобы добиться успеха в снижении массы, которая влечёт за собой снижение расхода пластической массы и, как следствие, снижает себестоимость получаемого изделия, актуальным является создание изолирующего слоя, который может исключить процесс пропитки вспененного материала компаундом.

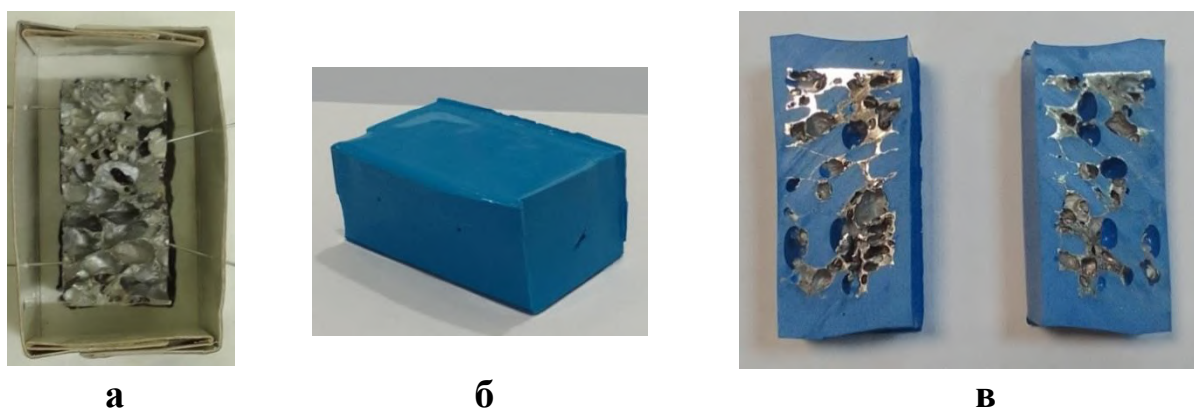


**Рис. 10. Процесс заливки компаундом высокопористого алюминия
(без изоляции пор)**

а – вид образца в изложнице до испытаний;

б – вид образца после заливки компаундом;

в – вид разрезанного образца

Для решения поставленной задачи была проверена изоляция пор перед заливкой с помощью промышленной стрейч-пленки (РЕ) толщиной 23 мкм и промышленного скотча. Были изготовлены высокопористые образцы алюминия, покрытые в первом случае, были обмотаны промышленной стрейч-пленкой, во втором – промышленным скотчем. В процессе изоляции пор отмечено слабое крепление промышленной пленки к телу металлической пены в отличие от липкого скотча, что привело к необходимости многослойного нанесения пленки.

Далее образцы были размещены в изложницы, заполнены наполнителем и после высыхания разрезаны (рис. 11 а, б).

Интерес представляет изучение зоны раздела компаунд/изолирующий материал/высокопористый материал. Для этого были проведены исследования с помощью микроскопа Planar MICROvert. Анализ образцов показал, что наиболее плотное примыкание к компаунду разделительного покрытия происходит в образцах, изготовленных с применением промышленной стрейч-пленки. При использовании промышленного скотча наблюдается зазор между ним и компаундом, до 2 раз превышающий зазор на образце с промышленной стрейч-пленкой. При применении промышленной стрейч-пленки, наложенной в несколько слоев, наблюдаются зазоры не только между пленкой и компаундом, но и между отдельными слоями пленки. Толщина зазоров варьируется на уровне 10 мкм в обоих случаях, что не отражается на укрытии пористого тела от заполнения компаундом. Однако с точки зрения технологичности, применение промышленного скотча является наиболее приемлемым.

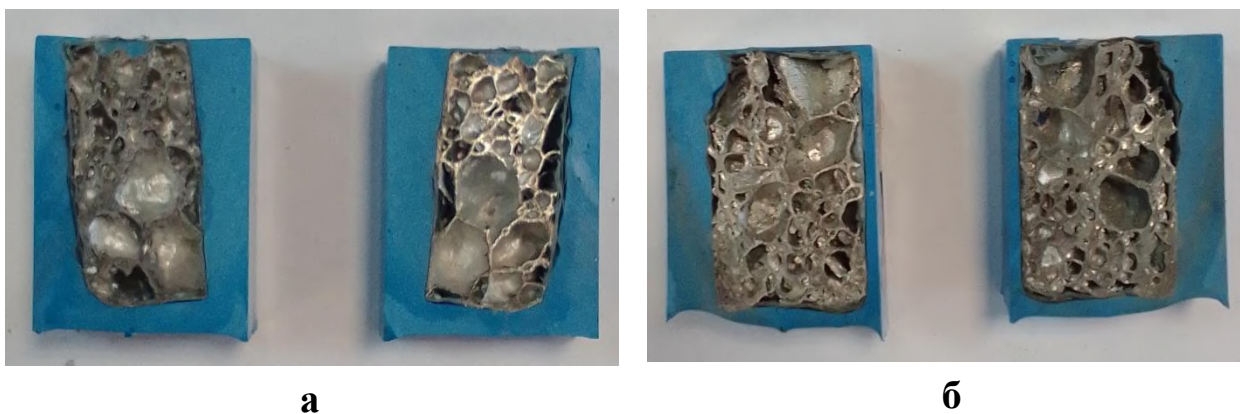


**Рис. 11. Общий вид образцов (с изоляцией пор) в разрезе
после заливки компаундом**

**а – с изоляцией пор с помощью промышленной стрейч-пленкой;
б – с изоляцией пор с помощью промышленного скотча**

Для апробации технологичности рассматриваемого метода были подготовлены образцы из вспененного металла (рис. 12) и на их основе изготовлены разнотолщинные пробы – имитаторы композиционных

панелей, для последующих испытаний на противостояние сжимающим нагрузкам.

Произведенные прочностные испытания показали достаточную технологичность получения вспененных материалов с различной толщиной укрытия пор, позволяющей варьировать, в первую очередь, прочностными характеристиками получаемого композиционного элемента, а также механическими характеристиками, что позволит заранее прогнозировать свойства за счет изменения толщины покрытия пор компаундом.

Разделительные и покровные материалы, показали эффективность укрытия пор, поэтому можно сделать вывод о возможности создания конструкционных элементов, покрытых полимерным составом. Окончательный выбор материала осуществляется исходя из технологичности процесса герметизации пор.

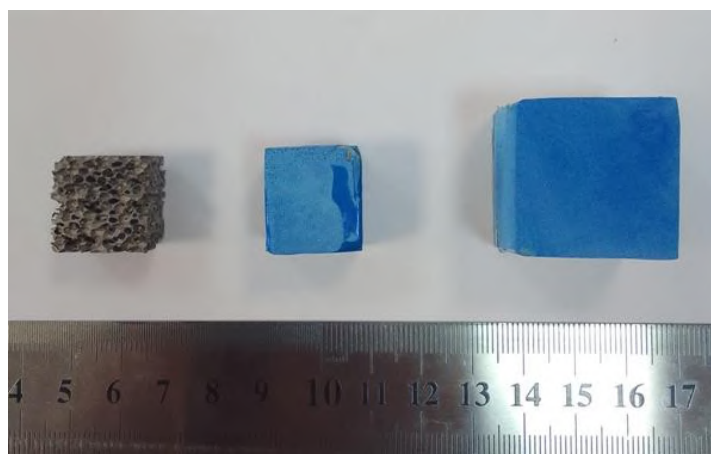


**Рис. 12. Подготовленные образцы из вспененного металла
и технологические пробы**

Использование высокопористого материала приводит к значительному снижению массы конструкционного элемента. Так, при заготовке объемом 1000 см^3 , масса стального изделия составляет 7 850 г, а комбинированная модель на основе вспененного материала с покрытием такого же объема - 534 г. Снижение массы составило 93%. При заготовке объемом 8000 см^3 вес стального изделия составляет 62 800 г, а комбинированной – 2549 г, что снижает массу элемента на 96%.

Список литературы

1. Современные литейные технологии / Н.К. Толочко [и др.]; под ред. Н.К. Толочко и А.С. Калиниченко. – Минск, БГАТУ, 2009. – 359с.
2. Батышев, А.И. Литье вспененных алюминиевых сплавов //Литейное производство. 2012.- № 12. – С. 20-22.
3. Advanced Engineering Materials. – 2000. V.2/ - № 4.
4. Трубкина, Е.М. Перспективы развития разработок по получению пеноблоков / Е.М. Трубкина, В.С. Романова, А.М. Пономаренко // Технология легких сплавов. – 2006. – № 4. – С. 189–192.
5. Friedrich, H. Einsatz innovativer Werkstoffe – Sicherheit fur das Auto der Zukunft // VW – Presskonferenz Hannovermesse, April 1998.
6. Определение теплопроводности пенообразного алюминия / А.Н. Абраменко, А.С. Калиниченко, В.А. Калиниченко, Й. Бурцер, С.А. Танаева, И.П. Василенко / Инженерно - физический журнал. – 1999. – Т. 72. – № 3. – С. 397–399.
7. Sugimura, Y. On the mechanical performance of closed cell Al alloys foams / Y. Sugimura, J. Meyer, H. Bart-Smith, J. Grenested // Acta Materialica. – 45. – 1997. – p. 5245–5259.
8. J. Banhart, N.A. Fleck, A. Mortensen, eds., Cellular Metals and Metal Foaming Technology 2003 (MIT-Verlag, Berlin, 2003).
9. Калиниченко, А.С. Способы получения вспененного алюминия, области его применения и ряд особенностей механической обработки / А.С. Калиниченко, В.А. Калиниченко // Литьё и металлургия. – 2005. – № 2 (ч.1) – С. 164–169.
10. Energieabsorbierende Materialien / Firmenprospekt. – Volkswagen AG. – Wolfsburg, 1998. – 30 p.
11. Андреев, Д.А. Пеноалюминий: настоящее и будущее // Технология легких сплавов. – 2006. – № 4. – С. 192–195.
12. Золоторевский, В.С. Вторичные алюминиевые сплавы: состояние и перспективы / В.С. Золоторевский // Цветные металлы. – 2004. – № 7. – С. 76–80.

13. Aluminiumschaum / Aluminium – Zentrale e.V., Merkblatt W 17 – 1. Aufgabe. – Dusseldorf, 02. 1999. – 58 p.

14. Калиниченко, В.А. Вспененные пористые теплоизоляционные материалы на металлической основе /В.А. Калиниченко, А.А. Андрушевич // Литьё и металлургия. – 2012. - № 3, С.31 – 34.

15. Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л. Оценка теплонесущей способности перспективных изоляционных материалов. 2012. - Материалы МНТК. Информационная безопасность: философские, правовые, этические, психологические, институциональные, технологические аспекты деятельности. Минск: БНТУ, администрация парка высоких технологий. 12.04.2012 - С. 251-253.

16. М.Л. Калиниченко, В.А. Калиниченко, А.А. Андрушевич. Исследования применения пористых материалов, в том числе отходов литейного производства, для создания элементов модельных комплектов. Литье и металлургия. № 1. 2025. С. 47-53.

17. Калиниченко, М.Л. Создание литейных модельных комплектов на основе пористых пенообразных алюминиевых шлаков / М.Л. Калиниченко // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : материалы 7 международной науч.-практ. конф., Гомель, 17 ноября 2023 г. / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»; Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», / в 2 частях, ч. 2 / 2023. – С. 16–20.

18. Калиниченко, М.Л. Оценка механических свойств склеенных элементов для модельных комплектов / М.Л. Калиниченко, Б.М. Немененок // «Литье и металлургия», 2023. – № 2. – С. 100-106.

© Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л.

Глава 10.
**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Рудыка Елена Александровна

к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»

Батурина Елена Вячеславовна

к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»

Аннотация: Модернизация технологических процессов является эффективным способом повышения безопасности на углеобогачительных предприятиях. Она включает в себя внедрение новых технологий, автоматизацию процессов и оптимизацию рабочих параметров, а также повышение квалификации персонала, совершенствование системы управления производством и усиление контроля за соблюдением требований промышленной безопасности.

Ключевые слова: угледобыча, безопасность, оптимизация, контроль, технологии.

**INCREASING EFFICIENCY AND SAFETY
IN COAL PROCESSING ENTERPRISES**

Rudyka Elena Alexandrovna

Baturina Elena Vyacheslavovna

Abstract: Modernization of technological processes is an effective way to improve safety at coal processing plants. It includes the introduction of new technologies, automation of processes and optimization of operating

parameters, as well as advanced training of personnel, improvement of the production management system and strengthening control over compliance with industrial safety requirements.

Key words: coal enrichment, safety, optimization, technology.

Угольные шахты на протяжении столетий обеспечивали промышленность и население энергией и благодаря этому, играли ключевую роль в мировой экономике. Однако в XXI веке их востребованность ставится под сомнение из-за развития альтернативной энергетики и ряда появившихся экологических проблем. Тем не менее уголь по-прежнему остается одним из самых доступных и надежных источников энергии и полный отказ от угля в ближайшие десятилетия является маловероятным.

При этом горнодобывающую промышленность можно заслуженно отнести к одной из наиболее опасных отраслей промышленности. По сравнению с другими энергоресурсами, угольные шахты сталкиваются с более сложным набором опасностей, как по типу, так и по степени тяжести, включая утечки газа, опасность попадания воды, пожары и взрывы горных пород. По мере интенсификации и углубления добычи угроза и тяжесть этих бедствий возрастают, что приводит к повышению риска аварий с многочисленными смертельными исходами и травмами.

Работники предприятий ежедневно сталкиваются с множеством производственных угроз, поэтому основным направлением техносферной безопасности в отрасли является обеспечение безопасности персонала предприятий [1]. Согласно отчетам Международной организации труда (МОТ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), горнодобывающая отрасль составляет около 1% мировой рабочей силы, но на нее приходится 8% смертельных случаев на производстве. К сожалению, ежегодно в мире фиксируется 15000–20000 смертей среди горняков, включая аварии и профессиональные заболевания. В качестве печального примера, можно привести катастрофу при взрыве метана на шахте «Распадская», в

результате которой гибели 91 человека, пострадали 130 человек, а ещё 14 горняков пропали без вести. Это один из самых смертоносных инцидентов в истории российской угольной промышленности.

Традиционные методы добычи и обогащения угля имеют целый ряд недостатков с точки зрения безопасности [2].

К факторам, влияющим на обеспечение безопасности на предприятии можно отнести: износ оборудования; наличие ручных операций, особенно на старых фабриках; ошибки в работе персонала, приводящие к несчастным случаям и авариям; накопление в рабочей зоне пыли и вредных газов из-за неэффективной работы вентиляции; отсутствие современной системы автоматического контроля, позволяющей своевременно выявлять отклонения от нормальных режимов работы оборудования и предотвращать аварии. Все это повышает риск травматизма и аварийности в отрасли [2].

Работа на угледобывающих и углеобогащающих предприятиях сопряжена с рядом специфических профессиональных заболеваний, вызванных воздействием на организм человека вредных производственных факторов. Перечислим наиболее распространенные из них.

Операции, связанные с дроблением, измельчением и транспортировкой угля приводят к образованию большого количества пыли. Это создает взрывоопасную среду и повышает вероятность возникновения профессиональных заболеваний сотрудников. Наибольшую опасность при длительном вдыхании работниками угольной пыли, представляют антракоз и силикоз. К заболеваниям органов дыхания можно отнести также раздражение слизистой оболочки пылью и развитие астмы.

Тяжелый физический труд, связанный с подъемом тяжестей, длительным пребыванием в неудобных позах, способствует развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата. Возможно также развитие у работников таких заболеваний, как вибрационная болезнь, благодаря использованию виброинструментов, потери слуха из-за длительного

воздействием шума от горной техники и заболевания суставов в результате тяжелого физического труда и неудобных рабочих поз.

Работники предприятий нередко жалуются на нарушения функций вегетативной нервной системы, проявляющиеся в повышенной утомляемости, раздражительности и бессонницы, а также на воспаление периферических нервов, вызванное воздействием токсических веществ. При контакте с химическими веществами, используемыми в процессе добычи и обогащения угля, имеют место и воспалительные заболевания кожи.

Профессиональная заболеваемость сотрудников напрямую зависит от состояния условий труда на производстве и указывает на необходимость эффективной работы по их оздоровлению.

Обеспечение работников качественными средствами индивидуальной защиты и обучение правилам их использования оказывают влияние на здоровье и безопасность работников. Регулярные медицинские осмотры позволяют выявить заболевания на ранних стадиях и провести необходимое лечение. Для снижения запыленности на углеобогащательных предприятиях проводят различные технические и организационные мероприятия.

Уровень риска возникновения профессиональных заболеваний на углеобогащательных предприятиях определяется множеством взаимосвязанных факторов. Охарактеризуем основные из них.

При добыче угля происходят разные технологические процессы, которые являются источниками определенного количества образующейся пыли и сопутствующего производственного шума. Производительность труда на предприятиях постоянно увеличивается, а это приводит к повышению интенсивности пылевыведения и, как следствие, росту запыленности. Работники предприятий подвергаются рискам для здоровья из-за вдыхания угольной пыли, что может приводить к заболеваниям дыхательной системы и другим хроническим заболеваниям.

Пыль, образующаяся в процессе бурения, выемки, дробления, перемещение угля по конвейерам, элеваторам и другим транспортным

устройствам, просеивания, грохочения и других операций сортировки содержит в себе множество вредных примесей и представляет серьезную угрозу здоровью работников [3].

Большое значение имеют и параметры рабочей среды на предприятии.

Наибольший вклад вносят: концентрация угольной пыли в рабочей зоне и наличие других вредных веществ (например, окиси углерода); превышающий допустимые нормативы уровень шума на рабочих местах, который приводит к заболеваниям слухового аппарата человека; длительное воздействие вибрации способствует опасности возникновения вибрационной болезни; высокая температура, влажность и недостаточная освещенность на рабочих местах могут ухудшать самочувствие работников и снижать их работоспособность; использование химических реагентов (например, флотационных реагентов) повышает риск развития аллергических реакций, дерматитов и других заболеваний.

Состояние оборудования, его износ, наличие систем пылеудаления также существенно влияют на уровень загрязнения воздуха. Виды угля различаются составом, содержат различное количество вредных примесей (кремний, алюминий и др.) и имеют свои особенности влияния на организм человека.

С точки зрения воздействия на человека, большое значение имеет концентрация образовавшейся пыли, ее химический состав, растворимость, дисперсность, плотность, форма и электростатическая заряженность частиц.

Непредсказуемость и разрушительность катастроф на угольных шахтах требуют от специалистов горной промышленности не только глубоких теоретических и практических знаний, но и умения быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. Снижение количества профзаболеваний, производственной травматичности и предотвращение катастроф на угольных шахтах, является одной из первоочередных задач развития отрасли.

Совершенствование системы управления охраной труда на

горнодобывающих предприятиях является важнейшим фактором для обеспечения безопасности работников, снижения производственного травматизма, повышения эффективности производства, условие безаварийной работы предприятия.

Система управления охраной труда эффективна только в результате проведения комплекса мероприятий стратегического, оперативного и предупредительного характера. Для получения необходимого результата, важна правильная постановка конкретных целей и задач руководством предприятия, определение приоритетов финансирования, мониторинга и контроля за соблюдением требований безопасности труда.

Составляющими эффективного управления при этом является анализ фактического состояния безопасности объектов и динамики производственного травматизма, своевременное прогнозирование возможных аварий и инцидентов, а также постоянное совершенствование технической базы и внедрение прогрессивных технологий для предупреждения негативных случаев [3].

Например, с целью снижения риска профессиональных заболеваний и аварийности, связанной со взрывами метана и угольной пыли, предлагается усовершенствование приборной базы автоматизированного контроля за пылевой обстановкой на угольных шахтах, создание систем, не только измеряющих концентрацию пыли в воздухе рабочей зоны, но и определяющих дисперсный состав, а также контроль пылеотложение в выработках.

Использование современных технологий и строгое соблюдение норм охраны труда позволяют значительно улучшить сложившуюся ситуацию. Сокращение количества несчастных случаев и травм потребует дополнительных усилий по разработке новых и творческих подходов к обучению шахтеров, а также по определению и внедрению мероприятий, направленных на устранение оставшихся источников риска.

Оптимизация технологических процессов углеобогащения позволяет повысить эффективность производства, снизить аварийность

производства и негативное воздействие на окружающую среду, а также улучшить условия труда персонала.

Выбор оптимальной технологии обогащения угля с точки зрения безопасности зависит от конкретных условий производства, свойств исходного сырья и требований к качеству конечного продукта. Необходимо проводить комплексный анализ всех факторов, влияющих на безопасность, и выбирать технологию, которая обеспечивает наименьший риск для работников и окружающей среды [4].

Углеобогащательная промышленность стоит перед необходимостью существенно снизить свое негативное воздействие на окружающую среду, чтобы соответствовать современным экологическим стандартам. Поэтому необходимо рассматривать все направления развития отрасли с обязательным учетом экологических аспектов. Внедрение передовых технологий, повышение экологической ответственности предприятий и поддержка научных исследований позволяют создать более устойчивую и экологически чистую угледобывающую отрасль.

Современные методы оптимизации, основанные на использовании математического моделирования, планирования эксперимента, статистического анализа, а также использование знаний и опыта узких специалистов для принятия необходимых решений, позволяют достичь значительных результатов в повышении эффективности и безопасности производства [5].

К основным процессам производства, требующим оптимизации, можно отнести проведение следующих мероприятий: максимально возможное извлечение угля из исходной руды при минимальных потерях; получение концентрата с заданными характеристиками по содержанию золы, серы и влажности; минимизация затрат на электроэнергию и другие виды энергии; рациональное использование водных ресурсов и минимизация сброса сточных вод; минимизация выбросов пыли, вредных веществ и сточных вод; создание безопасных условий труда, снижение риска возникновения аварий и травм.

Для достижения необходимого результата при этом рекомендуется обратить внимание на решение следующих задач: определение

оптимального размера частиц для эффективного разделения угля и пустой породы; выбор оптимальных реагентов, их дозировка и время флотации; определение оптимальных условий для удаления влаги из концентрата; оптимизация скорости движения пульпы в аппаратах для обеспечения эффективного разделения и снижения энергопотребления; подбор оптимальной плотности пульпы для повышения эффективности разделения.

Поэтапное проектирование обеспечения безопасности в этой отрасли включает в себя несколько важных шагов, каждый из которых должен быть тщательно проработан и адаптирован под конкретные условия труда. При этом нельзя не учитывать специфических условий труда на горнодобывающих предприятиях, такие как экстремальные погодные условия, удаленность месторождений и сложные производственные факторы. Все это позволяет снизить уровень профессиональных заболеваний и несчастных случаев, обеспечить защиту здоровья работников и устойчивость проведения производственных процессов.

Первым шагом в проектировании системы безопасности является оценка имеющихся потенциальных рисков и оценку условий труда. В горнодобывающей отрасли выделяют несколько основных видов рисков, которые существенно влияют на основные производственные процессы. Сюда можно отнести геологический, технологический, экономический риск, а также риски безопасности труда, связанные с тяжелыми физическими условиями и вредными факторами производства. В условиях подземной работы добавляются еще и факторы ограничения пространства, отсутствие естественного освещения, а также повышенный риск распространения инфекционных заболеваний среди персонала.

Оценка рисков включает детальный анализ производственной деятельности, выявление опасных факторов, определение вероятности их возникновения и разработку эффективные меры защиты персонала. Для этого также можно использовать карты рисков, статистику аварий, данные о климате, геологии и технологических процессах. Важно учитывать не только природные и технические, но и человеческие

факторы, в том числе недостаток обучения персонала и устаревшие методы добычи угля. Некоторые из этих факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пример идентификации и оценки рисков

Вид риска	Описание риска	Вероятность реализации
Геологический	Ошибочная оценка запасов полезных ископаемых, недостаточная обеспеченность месторождениями.	Средняя — риск потери доли рынка и остановки проектов достаточно вероятен
Опасность взрывов метана и угольной пыли	Высокий риск взрывов в подземных выработках из-за скопления метана и пыли.	Высокая — вероятность большая, риск большой
Затопление выработок водой	Затопление карьеров или подземных шахт вследствие паводков или прорыва водных потоков.	Низкая, но возможная — форс-мажорный риск
Аварии машин и оборудования	Поломки техники, приводящие к авариям и травмам.	Средняя — вероятность средняя, риск средний
Возникновение профессиональных заболеваний	Воздействие пыли, шума, вибрации и других вредных факторов на здоровье работников.	Высокая — вероятность большая, риск большой
Несоблюдение правил техники безопасности	Нарушения в организации труда и эксплуатации оборудования, приводящие к авариям и травмам.	Средняя — вероятность средняя
Риск возникновения пожара	Возникновение пожаров на производственных объектах.	Средняя — вероятность средняя, риск большой
Риск взрыва горных пород	Взрывные работы и непредвиденные взрывы в горных выработках.	Высокая — вероятность большая, риск большой

Из анализа таблицы видно, что горнодобывающая промышленность сопряжена с множеством рисков, среди которых наиболее опасными и вероятными являются взрывы метана и угольной пыли, возможность возникновения профессиональных заболеваний и выхода из строя оборудования. Геологические риски оказывают влияние на экономическую устойчивость предприятий, а природные угрозы, несмотря на низкую вероятность, могут привести к катастрофическим последствиям.

Определив основные риски, необходимо разработать меры по снижению их воздействия. Сюда могут входить как технические, так и организационные решения. Пример рекомендуемых защитных мер представлен в табл. 2. Разработка и внедрение эффективных мер по снижению уровня промышленной безопасности, а также внедрение систем управления рисками для снижения уровня возможных профессиональных заболеваний и несчастных случаев приводит к ощутимым результатам.

Таблица 2

Примеры мероприятий по снижению рисков

Вид риска	Защитные мероприятия	Воздействие
Опасность взрыва метана и угольной пыли	- Постоянный мониторинг концентрации метана и пыли с использованием автоматических датчиков. - Обеспечение эффективной вентиляции шахт для снижения концентрации взрывоопасных газов. - Регулярное обучение персонала правилам безопасности и действиям при аварийных ситуациях. - Использование взрывобезопасного оборудования и искробезопасных инструментов.	Метан и угольная пыль в подземных выработках могут привести к взрывам с тяжелыми последствиями для жизни и здоровья работников.

*СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ*

Продолжение таблицы 2

Риск затопления выработок водой	-Проведение гидрогеологических исследований и мониторинг уровня подземных вод. - Создание систем дренажа и откачки воды. - Разработка планов эвакуации и аварийного реагирования. - Регулярное техническое обслуживание дамб и гидросооружений.	Затопление карьерных или подземных выработок может произойти из-за паводков, прорыва водных потоков или аварий на гидротехнических сооружениях.
Технологический риск и аварии оборудования	- Внедрение систем планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания. - Использование современных систем диагностики и контроля состояния техники. - Обучение операторов безопасной эксплуатации оборудования. - Организация контроля за соблюдением технологических процессов.	Поломки горного оборудования и транспортных средств могут привести к авариям, травмам и простою производства.
Профессиональные заболевания и вредные факторы производства	- Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ). - Организация регулярных медицинских осмотров и мониторинга здоровья. - Внедрение систем вентиляции и пылеулавливания на рабочих местах. - Сокращение времени пребывания на вредных участках и ротация персонала.	Воздействие пыли (в том числе кремнеземной), шума, вибрации, токсичных веществ, а также тяжелые физические условия труда вызывают развитие профессиональных заболеваний у работников.

Продолжение таблицы 2

Несоблюдение правил техники безопасности	-Проведение регулярных инструктажей и тренингов по охране труда. - Внедрение системы мотивации и ответственности за соблюдение правил. - Организация внутреннего контроля и аудитов безопасности. - Использование систем мониторинга поведения работников.	Небрежность, недостаточное обучение и контроль могут привести к несчастным случаям и авариям.
Экологические риски	- Внедрение технологий минимизации выбросов и очистки отходов. - Контроль за соблюдением экологических норм и стандартов. - Реализация программ рекультивации земель после добычи. - Взаимодействие с местным сообществом и экологическими организациями.	Взрывные работы, транспортировка и сбросы отходов загрязняют воздух, воду и почву, что негативно влияет на окружающую среду и социальную среду региона

После разработки мер необходимо реализовать их на практике и организовать мониторинг их эффективности. При этом следует уделить внимание широкому спектру параметров. Сюда необходимо отнести контроль концентрации газов в шахте, параметров воздушной среды рабочей зоны, наличие вибрации и деформации горного массива, напряжению в крепи, наблюдению за уровнем воды. Эффективно использование лазерного сканирования, радарной интерферометрии для выявления смещений породы на карьерах и отвалах, микросейсмической системы для прогноза горных ударов, а также датчиков вибрации, температуры и давления на критичных узлах машин для прогнозирования возможных отказов. Все это позволит вовремя

предупредить наличие опасных природных и производственных изменений и предпринять необходимые меры до аварии, избежав незапланированных остановок оборудования и травмирования людей.

Кроме того, с целью управления различными чрезвычайными ситуациями, которые могут возникнуть во время работы угольных шахт, на предприятиях должен быть разработан план аварийно-спасательных работ при авариях. Он включает в себя упреждающие меры по предотвращению аварий, оперативные стратегии реагирования на аварии в случае их возникновения, а также хорошо организованный план восстановления после аварии.

Для обеспечения производственной безопасности важно использовать современные технологии. Они позволяют существенно снизить риски производственного травматизма и аварийности на предприятиях, автоматизировать наиболее опасные процессы и обеспечить непрерывный мониторинг за состоянием производственной среды. Примеры возможного использования современных технологий для обеспечения безопасности на производстве приведены в табл. 3.

Таблица 3

Примеры современных технологий для обеспечения безопасности

Используемая технология	Описание	Эффективность применения
Автономные самосвалы	Беспилотные транспортные средства для перевозки руды	Снижение затрат на топливо.
VR/AR тренажеры	Виртуальная реальность для обучения персонала (тренажеры для машинистов, проходчиков, стропальщиков).	Сокращение учебного курса и повышение эффективности обучения
БПЛА (дроны)	Беспилотники для контроля, мониторинга, съемки	Сокращение сроков сбора информации в разы, исключение человеческого фактора

Продолжение таблицы 3

Мониторинг наличия газов	Непрерывный контроль состава атмосферы для системы раннего предупреждения развития ЧС	Предотвращение катастроф, оповещения о превышении нормативных значений
Системы аварийного оповещения	Комплексы оповещения и селективного вызова	Доставка сообщений о наличии аварийной ситуации до всех работников
Видеонаблюдение	Интеллектуальные системы контроля	Камеры круглосуточного мониторинга, для снижения риска возникновения нештатных ситуаций
Искусственный интеллект (ИИ)	Использование ИИ для анализа полученных данных и прогнозирования ситуации	Обработка геологических данных, прогнозная аналитика, заблаговременное обнаружение сбоев для предотвращения аварий и несчастных случаев
Современные СИЗ	Инновационные средства индивидуальной защиты (умные шлемы с датчиками, защитная одежда с сенсорами)	Повышение защитных свойств, интеграция с системами мониторинга
Роботизированные ПДМ	Автономные погрузочно-доставочные машины	Сокращение аварийности, снижение воздействия на здоровье работников

Традиционные средства индивидуальной защиты, такие как каски, респираторы и спецодежда, широко используются на горнодобывающих предприятиях и обеспечивают базовую защиту от воздействия негативных факторов. Однако, есть возможность значительно повысить их эффективность, за счет внедрения инновационных решений.

Производственные опасности горнодобывающей отрасли характерны не только для нашей страны. Например, компания Rio Tinto столкнулась с проблемами травматизма на своих шахтах, в том числе с гибелью и пропажей без вести сотрудников, а также с обвинениями в нарушении прав человека и экологических проблемах. Поэтому было

принято решение об интеграции на шахтах компании новых прогрессивных технологий. Это поможет предотвратить возможные аварии, улучшить общую ситуацию и эффективно защитить персонал.

Современные разработки в области обеспечения безопасности направлены на внедрение цифровых технологий, использование новых материалов и адаптацию разработанных и традиционных средств защиты под индивидуальные параметры работника.

В настоящее время получила заслуженное внимание концепция «умных» средств защиты. При этом предполагается оснащение используемых в отрасли средств защиты датчиками и системами мониторинга. Примерами могут служить каски с датчиками удара, самоспасатели нового поколения с большим временем защиты и улучшенной эргономикой, спецодежда с биометрическими сенсорами, респираторы с мониторингом запыленности, системы освещения с длительным сроком работы и другие разработки. Их использование способствует снижению аварийности, травматизма и профессиональных заболеваний на производстве.

Внедрение новых технологий уже имеет место на ряде предприятий нашей страны и за рубежом, демонстрируя при этом положительные результаты. В том числе, на шахтах британской компании Anglo American и австралийской Rio Tinto уже приступили к использованию умных касок, которые будут способствовать снижению количества несчастных случаев.

В Кузбассе началось тестирование респираторов с углеродными нанофильтрами, которые сочетают в себе механическую фильтрацию и химическую адсорбцию, что повышает защиту работников от угольной пыли. Их применение особенно актуально на угольных шахтах, где концентрация пыли может превышать 200 мг/м^3 , а стандартные защитные средства требуют частой замены.

Такие респираторы способны значительно снизить концентрацию вдыхаемой угольной пыли, а также эффективно адсорбируют токсичные газы, что очень важно при проведении подземных работ. Положительным качеством является и их способность сохранять

работоспособность при высокой влажности, тогда как обычные фильтры теряют свою эффективность из-за намокания.

Несмотря на более высокую стоимость, нанофильтры увеличивают срок службы респиратора и снижают затраты на лечение профессиональных заболеваний работников отрасли. Массовое внедрение таких средств требует дальнейших исследований их долговечности и эффективности, но уже сейчас они показывают превосходство над традиционными решениями.

Внедрение новых технологий меняет подходы к предотвращению аварий и защите сотрудников предприятия. Современные технологии безопасности в горнодобывающей промышленности меняют подходы к системе предотвращения аварий и защите сотрудников предприятия. Они показывают высокую эффективность использования, обеспечивают значительное снижение производственных рисков, а также способствуют повышению производительности и экономической выгоды в отрасли.

Комплексный подход к внедрению цифровых решений, включающий автоматизацию, системы мониторинга, искусственный интеллект и современные средства связи, позволяет создать безопасную и эффективную производственную среду. Использование современных технологий и эффективных средства защиты, является инвестицией в безопасность людей и устойчивую работу предприятия.

Список литературы

1. Сидоров В.И. Задачи в области безопасности промышленности /В.И. Сидоров //Безопасность труда в промышленности. - 1992. - № 8. - С. 41.
2. Радионов С.Н. и др. Организация безопасного труда на производственном участке / С.Н. Радионов, Д.В. Вавилов, Р.А. Гирев, А.В. Галкин //Уголь 2016. № 5. С 83-85.
3. Чемезов Е.Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 649–653.

4. Харитонов И.Л. Производственное планирование на шахте с учетом недопущения (устранения) опасных производственных ситуаций /Открытые горные работы в XXI веке. Т.1 //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 10 (специальный выпуск № 45-1). -С. 208-213

5. Перятинский А.Ю. и др. Моделирование системы обеспечения безопасности труда /А.Ю. Перятинский, Т.В. Свиридова, О.Б. Боброва //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. - 2018. - Т. 7. - № 2 (42).

© Рудыка Е.А., Батурина Е.В.

Глава 11.
**ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ
СУДОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ**

Новоселов Кирилл Андреевич
старший преподаватель
кафедры электрооборудования и автоматики судов
Морской институт,
Балтийская государственная
академия рыбопромыслового флота,
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»,
советник Российской академии естествознания,
академический советник Международной академии холода

Аннотация: Целью настоящего исследования является оценка целесообразности и эффективности внедрения современных устройств хранения энергии на рыболовных судах проекта Атлантик-333. Рассматриваются технические особенности судна, различные виды аккумуляторов энергии и их влияние на эксплуатационные показатели корабля. Исследование включает сравнительный анализ характеристик литий-ионных батарей, суперконденсаторов, топливных элементов, а также обоснование выбора наиболее эффективных решений для оптимизации энергопотребления и повышения надежности судовых энергетических систем. Основные выводы исследования указывают на необходимость интеграции интеллектуальных систем управления энергией, мониторинга состояния аккумуляторных установок и автоматизированных методов анализа потребления электроэнергии.

Ключевые слова: современные накопители энергии, судостроение, литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, рыбопромысловые суда, энергетическая эффективность.

THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING INNOVATIVE MARINE ENERGY STORAGE SYSTEMS

Novoselov Kirill Andreevich

Abstract: The purpose of this study is to assess the feasibility and effectiveness of the introduction of modern energy storage devices on fishing vessels of the Atlantic-333 project. The technical features of the vessel, various types of energy accumulators and their impact on the ship's performance are considered. The study includes a comparative analysis of the characteristics of lithium-ion batteries, supercapacitors, and fuel cells, as well as justification for choosing the most effective solutions to optimize energy consumption and improve the reliability of marine energy systems. The main conclusions of the study indicate the need to integrate intelligent energy management systems, monitoring the condition of battery installations and automated methods for analyzing electricity consumption.

Key words: modern energy storage, shipbuilding, lithium-ion batteries, supercapacitors, fishing vessels, energy efficiency.

Introduction

Modern trends in the field of shipbuilding and marine transport operation require the introduction of innovative technologies that can improve the efficiency and sustainability of ships. One of these technologies is the use of energy storage devices that provide reliable and economical energy supply, especially in conditions of limited resources and increasing environmental requirements. Currently, there is a tightening of regulations in the environmental industry, new regulations are being introduced related to climate change in the world, which forces shipowners and shipbuilding companies to develop new and modernize existing systems aimed at reducing greenhouse gas emissions, as well as optimizing energy consumption.

In this article, we will consider the advantages and disadvantages of using a new type of energy storage device, which will allow us to conclude that it is appropriate and effective to use them on ships of the Atlantic-333 project.

The purpose of the study is to assess the feasibility and efficiency of using modern energy storage devices on ships of the Atlantic-333 project to optimize power supply and improve the operational characteristics of ships. The object of research is vessels of the Atlantic-333 project; the subject is modern energy storage devices in the ship's energy system.

The objectives of the study included: analysis of the technical characteristics of the vessel, study of various types of energy storage devices, assessment of their efficiency and feasibility, development of recommendations for optimizing power supply, improving the reliability of operation of vessels of this project.

The article discusses the technical characteristics of vessels of the Atlantic-333 project, modern energy storage devices, their efficiency assessment, offers recommendations for optimizing the power supply on the ship, reveals the potential of modern energy storage devices to improve the ship's energy performance and increase its operational reliability.

Characteristics of the Atlantic-333 project vessel

The Atlantic 333 project is a series of freezing Orlyonok-type seiners (84 vessels in total), which were built in 1981-1984 at the Volkswerft VEB shipyard (Stralsund, GDR).

The purpose of the vessels of this project is fishing using bottom and multi-depth trawls or purse seines in marine and oceanic fishing zones; processing fish into frozen products with the possibility of storing or transferring it to transport refrigerators and coastal reception points; production of semi-finished medical fat from fish liver, feed fishmeal and technical fat. The main characteristics are presented in Table 1.

Table 1

Main characteristics of the Atlantic-333 project vessel

Displacement	2,467 tons
Length	62.22 m
Width	13.82 m
Height	9.2 m
Precipitation	5.21 m
Engines	2 diesel engines 2 auxiliary diesel generators 1 emergency diesel generator set

Continuation Table 1

Power	2 x 1200 hp main engines 2 x 900 hp auxiliary diesel generators 1 x 105 hp emergency diesel generator set
Mover	1 propeller
Travel speed	13 nodes
Autonomous navigation	34 days
Crew	40 people

Analysis of modern energy storage devices

Lithium-ion batteries

The principle of operation of lithium-ion batteries consists in the process of electrochemical transfer of lithium ions between the anode and cathode electrodes during cyclic charge and discharge operations. In the discharge phase, lithium ions pass from the anode (usually made of graphite) to the cathode (often a cast metal oxide), through a liquid electrolyte and a porous polymer separator. Simultaneously with this process, free electrons are released on the surface of the anode and an electron flow is formed, which is sent along an external circuit to supply electricity to consuming devices. At the cathode, lithium ions attach electrons, the chemical-electrical cycle closes and useful electricity is generated.

The battery-charging phase is a mirror-image process characterized by the migration of lithium ions back to the anode. These reversible electrochemical transformations serve as the basis for the ability of lithium-ion batteries to efficiently store and transfer stored electrical energy to external consumers.

Materials used in the construction of anodes and cathodes demonstrate a high degree of electrochemical activity and stability, guaranteeing reliable energy storage. This factor is critical for applications on board marine vessels, where space and mass constraints impose strict requirements on the energy infrastructure.

The most important advantage of lithium-ion batteries is a high efficiency of up to 90 % or more, which significantly reduces heat losses in the processes of energy storage and transmission.

Characterized by a high degree of thermal stability, lithium-ion batteries are capable of operating in a wide range of operating temperatures, making them the preferred choice for use on ships, especially those operating in extreme climatic conditions. However, there are significant risks associated with sensitivity to increased heat, which can cause thermal acceleration and potentially catastrophic consequences. To minimize the risk of overheating, specialized active temperature control systems are used to control the temperature of the battery cells.

Lithium-ion batteries can withstand a large number of charge-discharge cycles, while maintaining their efficiency, which allows them to be operated for several years without the need for replacement, reducing operating costs and increasing the overall efficiency of the vessel.

It should be noted that this type of battery also has a high resistance to various external influences, such as vibration and temperature changes, which makes them ideal for use in marine environments. This is an important factor, as the marine environment can be very aggressive and unpredictable.

In addition, unlike traditional lead-acid batteries, which can pose a risk to the environment if damaged or improperly disposed of, lithium-ion batteries are less harmful. They do not contain toxic substances, which makes them safer for use on ships, especially in conditions where there is a risk of leakage of batteries into the open sea.

Scientific articles [3-7] reveal the principle of operation, prospects and possibilities of using lithium-ion batteries on ships.

The increasing popularity of lithium-ion batteries makes it necessary to address the issues of efficient recycling of used products. Modern technological approaches provide extraction of more than 95% of the initial lithium and other valuable components from obsolete batteries, reducing the consumption of primary raw materials and reducing the negative impact on the environment. Further improvements in recycling methods can reduce the production cost of new batteries, facilitating their introduction into mass production and stimulating the economy of sustainable development.

The use of lithium-ion batteries on ships of the Atlantic-333 project involves integrated management of the energy consumption system.

A rationally designed control system can increase the efficiency of energy resources use, significantly reducing fuel consumption and greenhouse gas emissions, meeting the current requirements of international environmental standards and the concept of sustainable development. In addition, the presence of batteries allows you to create backup power sources in case of failure of the main generator, increasing the reliability and safety of navigation in difficult ocean conditions. The integration of backup sources further reduces the load on the ship's main engines, extending their service life.

The widespread use of lithium-ion batteries in marine transport is accompanied by the need for a thorough approach to the design of control systems, the development of effective temperature control measures and the improvement of battery regeneration technologies.

Battery Management Systems (BMS) they monitor the main characteristics of batteries, including the degree of charge, temperature and voltage indicators, preventing critical conditions such as overheating and overcharging [2]. In addition to monitoring parameters, these systems optimize charging and discharging procedures, significantly increasing the battery life and improving its performance. It is important to note that modern solutions allow the integration of BMS with other vehicle energy systems, forming a comprehensive structure of intelligent energy infrastructure, which is of paramount importance for achieving high performance of ship platforms.

The active development of lithium-ion batteries continues thanks to intensive research of innovative materials and technological solutions. A promising direction is the development of solid-electrolyte storage devices characterized by the replacement of traditional liquid electrolytes with solid analogues. This technology reduces the risk of thermal decomposition and contributes to an increase in the specific energy intensity, creating prerequisites for a significant improvement in the safety and reliability of marine equipment. Such technological changes open up opportunities for the development of high-performance and environmentally sustainable power sources that meet the specific requirements of the marine environment, and lithium-ion batteries are a key component of modern vehicle energy

infrastructure, contributing to increased energy efficiency and environmental friendliness of ships.

Supercapacitors

Supercapacitors are a promising technology for energy storage and distribution. They are characterized by the unique ability to quickly accumulate and instantly release large amounts of energy, which determines their special value in systems that need fast power supply. High reliability, durability and the ability to function in a wide range of operating conditions determine the growing popularity of supercapacitors in shipbuilding and related industries. The prospects of their application in the modernization or construction of ships are considered in [8-10].

By their physical nature, supercapacitors are radically different from classical electrochemical batteries. Instead of the chemical reaction typical of batteries, supercapacitors rely on an electrostatic mechanism based on the formation of an electric double layer. This principle allows you to achieve fast charge-discharge cycles, although it imposes restrictions on the amount of energy stored compared to traditional batteries.

Despite the relatively low density of stored energy, supercapacitors offer outstanding performance and a long life cycle, which makes them the preferred components in cases where high power delivery rates or peak operation are required. Therefore, they are widely used as part of the electric power systems of ships, serving the tasks of operational energy supply to important nodes, such as control, navigation and communication complexes, as well as various auxiliary mechanisms.

Among the most important advantages of supercapacitors is their ability to function effectively in extreme temperature conditions, which is extremely important for use in navigation, characterized by a variety of climatic zones. The low internal impedance of the devices minimizes energy losses during charge and discharge, helping to increase the overall productivity and lifetime of electrical components.

However, one of the significant limitations of supercapacitors remains a relatively low specific energy index, which prevents their use in situations where the main requirement is for the duration of the autonomous mode of

operation of the equipment. Nevertheless, the devices under consideration remain ideal candidates where rapid response to changing external factors is required, improving the quality of energy supply regulation and reducing the impact of adverse environmental influences.

Integration of hybrid power plants combining the advantages of supercapacitors and lithium-ion batteries seems to be an effective option for vessels of the Atlantic-333 project. This arrangement will not only provide increased stability of the power system, but also optimize resource consumption, reducing the wear and tear of expensive equipment and reducing maintenance costs. Combining the unique qualities of supercapacitors with the advantages of batteries creates the conditions for further progress in improving the energy efficiency and reliability of modern marine vessels that meet the requirements of ecology and economic feasibility.

Over the past few years, a significant breakthrough has been made in the field of scientific research of materials for supercapacitors, which has opened up new horizons of opportunities for the practical application of these devices. The most important areas were the introduction and study of innovative nanomaterial's, among which carbon nanotubes and graphene play a special role [11-13]. The use of such structures has made it possible to achieve significant progress in improving the quality characteristics of supercapacitors, in particular, increasing the electrical capacity and specific power.

The developed materials exhibit unique physical and chemical properties, among which they highlight high electrical conductivity and a significant specific surface area, which has a positive effect on the process of energy storage and subsequent transfer, ensuring more efficient functioning of the supercapacitor. The relevance and expediency of using these materials in the field of shipbuilding, as well as in the operation of ships, are justified by the need for reliable power sources that are characterized by high energy efficiency, environmental friendliness and a long service life.

Fuel cells

Fuel cells are deservedly considered a promising and environmentally friendly technology that meets the needs of shipping [1; 14-16]. The principle

of their operation is based on electrochemical reactions of hydrogen and oxygen interaction, which result in the production of electricity, heat and water. The absence of toxic emissions is due to the high preference for using fuel cells on board marine vessels, as they meet current international standards for environmental protection and support the principles of sustainable development.

The use of fuel cells is possible both as the main power generator and in combination with batteries, forming hybrid power plants. This integration scheme provides an optimal balance of energy consumption, adaptable to different operating conditions. Thus, fuel cells are able to consistently supply the ship with electricity over long routes, while batteries serve to cover short-term load spikes, thereby increasing the overall efficiency and reliability of the entire ship's energy infrastructure.

Criteria for evaluating the efficiency of energy storage devices include efficiency factors, time intervals of the charging/discharging process, service life, and a number of other parameters. Improving these criteria plays an important role in determining the practical suitability of a particular type of storage device for specific applications.

In modern shipbuilding, there is a growing trend towards integrating energy storage devices with automated information and analytical systems. The use of the software allows you to optimize work processes, quickly analyze incoming information and respond in a timely manner to changes in battery and fuel cell operating modes, ensuring rational energy distribution and increasing the overall resource of equipment.

Intelligent software algorithms collect and process operational data on current energy consumption parameters, build forecasts of future energy requests, and automatically regulate the interaction of different types of energy sources. Programs distribute the workload between different devices, such as fuel cells and batteries, achieving an optimal balance between available power and the capacity of stored energy reserves, while preventing premature wear of system components.

This approach significantly improves the overall efficiency of energy systems, minimizes power losses, and reduces the risk of accidents caused by

excessive loads or other operational problems. Integration of smart software with external data sources such as navigation information and meteorological observations allows you to more precisely adjust energy consumption based on the actual operating conditions of the vessel, further strengthening the stability and cost-effectiveness of its operation.

Ensuring reliable operation of energy storage devices requires systematic monitoring of the current technical condition of the equipment and timely implementation of routine maintenance measures. For example, the operation of lithium-ion batteries must be accompanied by constant monitoring of the parameters of each cell, such as the level of residual charge, operating temperature and the degree of degradation of individual cells. Detection of defective or worn components requires immediate replacement to prevent system failures and maintain system stability.

As for fuel cells, they require regular measures to clean and check the operability of reagent supply systems (hydrogen and oxygen). It is necessary to carefully monitor potential leaks and other malfunctions that can negatively affect the efficiency of fuel cells or cause serious problems in operation.

An integrated approach to managing technical parameters and service support, which involves the use of specialized automated monitoring systems and planning preventive repairs, ensures the extension of the service life of energy storage devices, maintains a high level of their functionality and reliability. This method is aimed at minimizing the risks of failures, maintaining the necessary level of environmental, and energy sustainability of the vessel.

Comparing the efficiency of different types of storage devices

As part of the study of the efficiency of using modern energy storage devices on ships of the Atlantic-333 project, a comprehensive assessment of various types of storage devices, their characteristics, and their impact on the ship's operational performance was carried out. In recent decades, energy storage devices have become an integral part of modern ships, providing flexibility in energy management, reducing emissions and optimizing the operation of energy systems. In this section, we will look at the results of a comparative analysis of different types of storage devices (lead-acid batteries,

lithium-ion batteries, sodium-sulfur batteries and supercapacitors), as well as their impact on the efficiency of the ship.

Lead-acid batteries, which are among the most common because they have a low cost and high availability, but their disadvantages, such as low energy density, limited service life and the need for regular maintenance, significantly reduce their competitiveness compared to more modern technologies. During the study, it was found that the use of lead-acid batteries leads to significant energy losses, especially at high loads, which in turn negatively affects the overall efficiency of the vessel.

Studies show that lithium-ion batteries are characterized by significantly higher efficiency compared to lead-acid batteries. A high energy density value provides a significant reduction in the mass and volume of electricity storage devices. Additionally, it is worth noting that lithium-ion batteries have an extended service life and a reduced level of self-discharge. However, it is necessary to take into account the higher cost of lithium-ion batteries, which may limit the scale of their implementation, including on ships, where cost-effectiveness and payback are important.

Special attention should be paid to sodium-sulfur batteries, which have a high energy storage density and are resistant to operation under elevated temperature conditions, which makes them promising for the shipbuilding industry. Despite a number of positive characteristics (high energy efficiency), the operation of these elements requires the development of complex thermoregulation systems and places high demands on the stability of the structure before mechanical influences, which in turn requires special operating conditions and significant capital investments. The above factors have a deterrent effect on the practical use of sodium-sulfur batteries.

The supercapacitors discussed earlier are characterized by the ability to provide fast, almost instantaneous, transmission of large amounts of power and a long and almost unlimited service life. The distinctive features of supercapacitors, such as their fast charging capability and high power, make them indispensable components for ship power supply system's where high-level short-term loads are required.

The analysis confirmed the feasibility of integrating supercapacitors into combined circuits together with other power sources, since such a solution contributes to improving the overall performance of the energy infrastructure of fishing vessels. An example is the problem of smoothing out peak fluctuations in energy consumption, allowing you to reduce the impact of intensive operating modes on the main battery pack, extending its life cycle. However, it should be noted that the disadvantage is the low specific energy intensity of supercapacitors, which makes it difficult to fully use them as the main means of energy storage.

An important aspect of the study was also the study of the impact of different types of storage devices on the overall efficiency of the vessel. The analysis showed that the combination of different technologies could lead to a significant improvement in operational characteristics. For example, the use of lithium-ion batteries in combination with supercapacitors can optimize fuel consumption and reduce emissions, while lead-acid batteries can be used as backup energy sources. Thus, the choice of storage type should be based not only on its individual characteristics, but also on the specifics of the vessel's operation, its energy needs and economic factors.

The results of the study show that modern energy storage devices have a significant potential for improving the efficiency of vessels of the Atlantic-333 project. Each type of storage device has its own unique characteristics that can be used to optimize the ship's power system. It is important to take into account not only technical parameters, but also economic aspects, such as cost, service life, and maintenance needs. Further research in this area is needed to determine the most effective storage combinations that can ensure reliable and cost-effective operation of the vessel in today's market conditions.

Conclusion

Improving the efficiency of power supply on ships of the Atlantic-333 project is a priority task that requires the integration of modern technologies and a systematic approach. In the context of rapidly rising fuel prices and tougher environmental requirements, the introduction of advanced energy storage devices and innovative solutions is becoming not only relevant, but also critical. These measures can not only reduce the impact on the

environment, but also ensure the competitiveness and stability of the vessel's operation in modern market conditions.

One of the important areas of improving the efficiency of energy supply is the introduction of energy management systems that provide operational control and detailed analysis of energy consumption in real time. This is made possible by the installation of innovative sensors and automated systems that collect data on the current state of the power grid, the level of electricity consumption of various equipment and systems of the ship. Such technologies allow us not only to detect weak links in the energy system, but also to predict future needs based on the analysis of accumulated data. This, in turn, opens up opportunities for more efficient energy distribution and competent planning of storage load, which significantly increases the overall efficiency of their use.

The introduction of modern systems for monitoring and analyzing energy consumption data is becoming an important step in the process of optimizing energy supply. Such software solutions can not only collect and analyze data in real time, but also predict future needs based on the analysis of historical information. This makes it possible to more accurately distribute the load between generators and batteries, as well as to detect potential failures or inefficiencies in the power supply system in a timely manner. Moreover, the use of such systems opens up opportunities for conducting regular energy audits, identifying areas where energy consumption can be reduced and operating costs can be reduced.

Modern energy storage devices such as lithium-ion batteries, supercapacitors, and other innovative technologies offer a wide range of opportunities for upgrading marine power systems. These devices can significantly improve energy efficiency, reduce emissions of harmful substances and meet strict environmental requirements. In the course of the study, various types of energy storage devices, their strengths and weaknesses, as well as their potential integration into the power system of ships of the Atlantic-333 project were analyzed in detail. The use of energy storage devices makes it possible not only to reduce fuel consumption, but also to improve the maneuverability and dynamic characteristics of the vessel, which becomes an important factor for ensuring competitiveness in the face of modern market and environmental challenges.

It should also be noted that the introduction of modern energy storage devices on ships of the Atlantic-333 project could help improve its competitiveness in the market. In the face of increasing demands for environmental safety and resource efficiency, a vessel equipped with modern energy storage systems will have clear advantages over similar vessels that do not have such capabilities. This can be an important factor in attracting customers and expanding the sales market.

A study of the efficiency of using modern energy storage devices on ships of the Atlantic-333 project confirmed the feasibility of introducing such technologies to improve the overall efficiency and reliability of the vessel's operation. The use of energy storage devices not only helps to optimize energy supply, but also helps to reduce the negative impact on the environment. Further research in this area, taking into account the rapid development of technologies and changes in legislation related to environmental safety, will not only improve the operational and energy characteristics of the vessel, but also contribute to the development of the marine and fishing industry.

References

1. Bauen, A. Fuel cells for distributed generation in developing countries - An analysis / A. Bauen, D. Hart, A. Chase // International Journal of Hydrogen Energy. – 2003. – Vol. 28, No. 7. – P. 695-701. – DOI 10.1016/S0360-3199(02)00248-3. – EDN KKEEJR.
2. Mandrile, F., Martino, M., Musumeci, S., Pastorelli, M. (2023). Hybrid battery systems: An investigation for maritime transport. International Journal of Energy Production and Management, Vol. 8, No. 3, pp. 141-147. <https://doi.org/10.18280/ijepm.080302>.
3. Корытова А.О. Применение литий-ионных аккумуляторных батарей на морских судах /А.О. Корытова // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2022. – № 3-2. – EDN SSBUKN.

4. Кори́това, А.О. Использование литий-ионных аккумуляторных батарей в электроэнергетической системе на морских судах / А.О. Кори́това, А.И. Чернов // Актуальные проблемы морской энергетики : Материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 17–18 февраля 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», 2022. – С. 224-227. – DOI 10.52899/9785883036322_224_227. – EDN MOXUVO.

5. Виноградов, А.А. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторных батарей на морских судах / А.А. Виноградов, Ю.В. Кудрявцев // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (transport 2021) : Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Пермь, 12 февраля 2021 года / Под редакцией Е.В. Чабановой. – Пермь: Пермский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта», 2021. – С. 139-146. – EDN PEQWGM.

6. Алексеев, Н.А. Перспективные судовые статические источники электроэнергии / Н.А. Алексеев, С.Н. Коржук, Ю.В. Кудрявцев // Актуальные решения проблем водного транспорта : сборник материалов III Международной научно-практической конференции., Астрахань, 29–31 мая 2024 года. – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 96-100. – EDN IMRENM.

7. Хорошенький, А.В. Перспективы использования аккумуляторных систем для электродвижения судов / А.В. Хорошенький, А.В. Прусаков, В.В. Романовский // Актуальные проблемы и перспективы развития системы отраслевого транспортного образования : Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 21 июня 2023 года. – Казань: Казанский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2023. – С. 161-177. – EDN WRUNLT.

8. Григорьев, А.В. Современные и перспективные статические источники электроэнергии на морских судах / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2020. – № 60-61. – С. 95-101. – EDN SXIJZK.

9. Григорьев, А.В. Перспективы применения статических источников электроэнергии на судах с системами электродвижения / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 202-213. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-202-213. – EDN IASALT.

10. Григорьев, А.В. Схемотехнические решения судовых единых электроэнергетических систем на базе вентильных генераторов и статических источников электроэнергии / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 801-811. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-4-801-811. – EDN FAFFPT.

11. Polyaniline and its composites with carbon nanomaterials: preparation, properties, application / I.V. Gutnik, T.P. Dyachkova, E.A. Burakova [et al.] // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2024. – Vol. 9, No. 2. – P. 132-151. – DOI 10.17277/jamt.2024.02. pp.132-151. – EDN FVFENU.

12. Перспективные электродные материалы для суперконденсаторов / А.Ю. Рычагов, Ю.М. Вольфович, М.А. Воротынцев [и др.] // Электрохимическая энергетика. – 2012. – Т. 12, № 4. – С. 167-180. – EDN RDNCXL.

13. Суперконденсатор на основе синтезированных в струе плазмы углеродных наноматериалов / М.Б. Шавелкина, Е.И. Школьников, С.А. Кочанова, Р.Х. Амиров // V Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз-2019 : сборник научных трудов, Москва, 12–15 февраля 2019 года. Том Часть 1. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019. – С. 190-191. – EDN SGGSPТ.

14. Живлюк, Г.Е. Применение топливных элементов в энергообеспечении водного транспорта / Г.Е. Живлюк, А.П. Петров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 104-119. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-1-104-119. – EDN PFKAGE.

15. Шишкин, В.А. Перспективы применения топливных элементов при перевозках СПГ / В.А. Шишкин, И.Ю. Кручинина, В.К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2014. – № 37. – С. 45-50. – EDN SZIUXZ.

16. Сычев, Д.В. Применение топливных элементов на морских судах / Д.В. Сычев, В.В. Ениватов // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений : сборник статей по материалам XIII студенческой межвузовской научно-технической конференции, Севастополь, 12–14 апреля 2018 года / Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2018. – С. 297-305. – EDN NAUGDH.

© Novoselov K.A.

Глава 12.
**ILLUMINATION AND CIRCADIAN
RHYTHM OF FISH (REVIEW)**

Chemagin Andrey Aleksandrovich

Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences (TCSS UrB RAS)

Abstract: The research works describing the mechanisms of maintaining the circadian rhythm of fish and other aquatic organisms are considered, analyzed and summarized. It is shown that on the basis of diel rhythms for aquatic organisms and in particular for fish, a change in biotopic confinement is characteristic – diel horizontal (DHM) and vertical migration (DVM). These migrations are an adaptive behavioral response that is widespread among aquatic invertebrates and fish. The ultimate causes of the behavioral response are the bioenergetic efficiency of finding food items and avoiding predators.

Key words: circadian rhythm of fish, diel vertical migration, diel horizontal migration, fish migration.

**ОСВЕЩЕННОСТЬ И ЦИРКАДНЫЙ РИТМ РЫБ
(ОБЗОР ДАННЫХ)**

Чемагин Андрей Александрович

Аннотация: Рассмотрены, проанализированы и обобщены научно-исследовательские работы, описывающие механизмы поддержания суточной ритмики и циркадного ритма рыб и других гидробионтов. Показано, что на основе суточной ритмики для гидробионтов и, в частности, для рыб, характерна смена биотопической приуроченности – суточная горизонтальная (СГМ) и вертикальная миграция (СВМ). СВМ и СГМ являются адаптационным поведенческим откликом, широко распространённым среди водных беспозвоночных и рыб. Конечными

причинами поведенческого ответа является биоэнергетическая эффективность поиска кормовых объектов и избегания хищников.

Ключевые слова: циркадный ритм рыб, суточная вертикальная миграция, суточная горизонтальная миграция, миграция рыб.

Solar radiation in the form of ultraviolet radiation and visible light, falling on the earth's surface, has a huge impact on the biota of aquatic ecosystems [1, pp. 39–50], including inland freshwater ecosystems: lakes, ponds, rivers, streams, wetlands and swamps, as well as marine ecosystems: oceans, seas, tidal zones, lagoons, reefs, etc. Bacterioplankton and picoplankton, cyanobacteria, phytoplankton, macrophytes and macroalgae, zooplankton, benthos, fish and mammals are exposed to the effects of solar radiation, which penetrates to different depths of the water column depending on the physical and chemical characteristics of the environment [1, pp. 39–50]. Solar radiation, depending on its intensity, can cause various effects, including mutagenesis, chronic dysregulation of basic physiological processes, and acute physiological stress, which can lead to death [2, pp. 1–12]. The amount of solar ultraviolet and visible radiation determines the species composition of phytoplankton, zooplankton [3, pp. 109–115; 4, pp. 565–580], benthos and can affect changes in behavior and a decrease in the survival rate of aquatic organisms [5, 108–126]. Illumination, its intensity and periodicity affect the diel and seasonal rhythms of aquatic organisms [6], their behavior and metabolism [7, pp. 197–238]. The diel rhythm of behavior and physiological functions of animals, including aquatic organisms, is based on endogenous self-sustaining oscillations that formed as an adaptive response to the diel dynamics of illumination [7, pp. 197–238; 8, pp. 657–662; 9, pp. 1057–1089]. Such a rhythm allows the organism to adjust all its metabolic processes in advance [7, pp. 197–238]. Melatonin is produced in the fish body in the photoreceptors of the retina and photosensitive cells of the pineal gland based on signals from an external stimulus – illumination [7, pp. 197–238; 9, pp. 1057–1089; 10]. The rhythmic release of melatonin reflects the prevailing photoperiod and is an effective signal for synchronizing a large number of processes in the body that occur at diel or seasonal levels

[10]. In fish, the diel rhythm is recorded by many factors of the endocrine system, including at all levels of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis; however, in addition to the diel rhythm, a seasonal rhythm is also observed, caused by photoperiod and temperature [10].

Thus, the diel rhythm of fish activity is maintained by centralized - internal, or endogenous molecular clocks and peripheral "circadian clocks" [7, pp. 197-238; 9, pp. 1057-1089; 10]. At the same time [10], the first of them are preserved under constant illumination or darkness. In the liver [11, pp. 104–113; 12, pp. 1380–1400; 13, pp. 24–33], heart and brain [13, pp. 24–33; 14, pp. 701–707], intestines [11, pp. 104–113; 15, pp. 665–673] of fish, diel rhythms of expression of “clock genes” have been recorded – a complex of proteins that initiate and maintain the circadian rhythm of activity of the fish organism.

Even the composition of the microbiome in daphnia has diel fluctuations corresponding to their feeding behavior [16]. At night, during the active feeding phase of crustaceans, the diversity of their microbiome is higher. Studies of the carp microbiome have established [17] that "winter daylight" at summer temperatures, similar to winter conditions, leads to a decrease in the diversity and abundance of intestinal flora, changes in lipid metabolism, and ultimately affects fish growth. The circadian system of fish corresponds to the general pattern of other vertebrates and invertebrates, with circadian rhythms of food consumption activity and other physiological processes due to the strictly periodic secretion of melatonin [7, pp. 197–238]. It is assumed [7, pp. 197–238] that the genetic regulation of circadian rhythm generation in fish is similar to the general scheme. Thus, the genetic regulation of circadian rhythm generation in fish is similar to that in fruit flies and mice. At the same time, differences in melatonin production rhythms are noted between fish species, which reflects the general plasticity of the circadian system of fish, expressed in the circadian features of their behavior [7, pp. 197–238]. Circadian rhythms of freshwater fish "predict" the onset of day and night [9, pp. 1057–1089; 18, pp. 349–371;], which in turn determines [9, pp. 1057–1089] the success of finding prey and avoiding predators [19, pp. 146–153; 20, pp. 308–319], as well as reproduction

[20, pp. 308–319]. Circadian clocks in vertebrates evolved from primitive life forms. Currently, they allow them to anticipate periodic natural events in order to be prepared for them [10]. Depending on the lifestyle of fish - diurnal or nocturnal, in the opposite phase of the corresponding period of the day, they experience a decrease in the threshold of excitation, during which long periods of their low mobility or complete immobility are observed, which corresponds to the period of rest, sleep [7, pp. 197-238; 18, pp. 349-371; 21, pp. 37-50; 22, pp. 476-488, 2020]. At the same time [8, pp. 657–662], the circadian rhythm has two peaks of activity in one period. In natural conditions, peaks of activity, as a rule, have a close connection with environmental stimuli [19, pp. 146–153], they are recorded at sundown and sun up [20, pp. 308–319; 23, pp. 438–445; 24, pp. 291–296]. The alternation of day and night maintains the circadian rhythm, while constant illumination or darkness in some fish can cause the circadian rhythm to fade [23, pp. 438–445; 25, pp. 473–482]. Thus, peaks of activity in juvenile herring (*Clupea harengus* Linnaeus) were observed after sun up and before sundown, with a decrease in activity occurring at night and at midday [23, pp. 438–445]. Without the constant influence of the external light-dark cycle, this rhythm disappeared within a short time [23, pp. 438–445; 25, pp. 473–482]. However, the internal period of the circadian clock can be somewhat shorter or longer than a day, but it “stabilizes” when natural external stimuli – “synchronizers” – appear [7, pp. 197–238].

Illumination plays a major role in the nutrition of fish, especially “visually oriented” [19, pp. 146–153; 26, pp. 49–61] or, as they are also called [27, pp. 1–164], “visual”. In typical planktophages, such as capelin (*Mallotus villosus* Müller), the light sensitivity of the retina can be 1000 times greater than the indicator for a typical benthophage, the wolf fish (*Anarhichas orientalis* Pallas) [27, pp. 1–164]. Moreover, the larger the size of the food object, the lower the illumination level at which the fish can detect the prey and feed on it. However, detection of prey also depends on the light sensitivity of the predator's vision. [28, c. 1342–1359].

As a result of the diel rhythm of biotopic confinement, *diel horizontal migration* (DHM) and *vertical migration* (DVM) are distinguished. DHM and

DVM are widespread behavioral models in populations of aquatic animals in reservoirs [19, pp. 146-153; 29, pp. 410-424;] and are primarily explained by a compromise between protection from visually oriented predators and nutrition [30, pp. 685-702; 19, pp. 146-153; 20, pp. 308-319; 31, pp. 17-28; 32, pp. 783-794]. For DVM, the presence of hydrobionts in the dark hypolimnion during the daytime, in the epilimnion at night, and for DHM, during the day in the shelters of complex coastal structures, and at night in the open pelagic part of the reservoir is noted.

In lakes, juvenile roach (*Rutilus rutilus* Linnaeus) and perch (*Perca fluviatilis* Linnaeus) show a distinct diel rhythm in their use of the habitat [29, pp. 410–424; 33, pp. 798–812]: during the day in complex environments (macrophytes, woody remains), at night in the open pelagic part. Opposite horizontal migrations are noted for the large fish-eating form of perch [33, pp. 798–812]. Large-scale diel horizontal movements of juvenile cyprinids and percids fish species are widespread in natural lakes with developed areas of aquatic macrophytes, submerged semi-terrestrial vegetation and woody remains in the coastal zone [32, pp. 783–794]. DHM for fish can also be partial, i.e. some individuals do not migrate from their original biotopes [31, pp. 17–28]. The specified feature is registered for bream (*Abramis brama* Linnaeus) and roach, while perch and bleak (*Alburnus alburnus* Linnaeus) perform horizontal migration on the scale of the entire population. Partial DHM for perch in watercourse conditions is explained for it, as for a visually oriented predator, by the low efficiency of searching for food objects at night, is an energy-saving strategy [31, pp. 17-28]. At the same time, it has been established that in polar day conditions, diel vertical movements of fish are less pronounced [34, pp. 62-69]. The DVM has been recorded for the European vendace (*Coregonus albula* Linnaeus) in Lake Stechlin (Germany) [19, pp. 146–153]. The transition to epilimnion is noted at twilight, and maximum foraging occurs at twilight and sun up; similar behavior is noted for sprat (*Sprattus spp* Girgensohn), wintering in Norwegian fjords [26, pp. 49–61]. A similar redistribution of juvenile perch was recorded [30, pp. 685–702] in the Slapy reservoir (Czech Republic); during the day, juveniles located in the bathypelagic zone; migrate to the coastal zone and

epipelagic zone at twilight; a high dependence of the DVM on light intensity is noted.

Using coregonids as an example, it has been shown [35, pp. 706–717] that the speed of vertical migration is higher in small-sized individuals compared to larger ones; early migration allows them to gain a competitive food advantage, and the number of food items obtained increases. Another feature has been established for the European vendace: some individuals do not migrate, but lead a sedentary lifestyle, i.e., partial DVM occurs. A similar phenomenon is observed with an increase in population density, which in turn may be an additional mechanism for reducing competition in nutrition [36, pp. 116–124].

During an experiment to create an artificially prolonged dark period of the day using a light-tight film in a section of a reservoir, it was established [25, pp. 473–482] that the vertical distribution of perch larvae and juveniles is controlled by water illumination ($p < 0.001$), and is not a genetically fixed behavioral response, since during the daytime, under the cover of the film, the juveniles were in the hypolimnion, but when it was removed, the juveniles immediately migrated to the epilimnion. A similar pattern is noted in the smelt (*Osmerus eperlanus* Linnaeus) in the eutrophic lake. Ijssel in the Netherlands [37, pp. 61–69]: with low water transparency and daylight, it concentrates at the surface, with high water transparency – at the bottom, that is, turbidity levels and smoothes the photosensitivity of fish of this species. However, other authors [7, pp. 197–238] have shown that the internal period of the circadian clock of fish is quite flexible and may differ from the period of the day, while it "synchronizes" with the appearance of natural external light stimuli. Additional evidence for this statement can be the established fact of adjusting the vertical distribution of coregonids (*Coregonus lavaretus* Linnaeus and *Coregonus albula* Linnaeus) depending on the illumination, rather than on the time of day, under conditions of changing daylight hours during the subarctic summer [38, pp. 525–539].

At the same time, in the conditions of the lake's ice cover in the winter and spring period, a pronounced diel vertical migration of fish was observed [39, pp. 2287–2294] in response to changes in the level of illumination in the

absence of light access to the water surface. The maximum number of fish in the entire water column was noted [39, pp. 2287-2294] at night, at dusk and dawn, during the daytime, most fish registrations were at depths exceeding 10 m. Studies confirm the assumption that SVM is, after all, a genetically fixed behavioral feature that induces a response to changes in light levels. Fish of the same species that migrate grow faster than fish that do not migrate during the diurnal cycle [35, pp. 706-717].

For zooplankters of shallow lakes in a temperate climate zone, DHM is noted to avoid predator pressure [40, pp. 339-346]. The Sulejow reservoir in Poland shows [40, pp. 339-346] the predominant daytime occurrence of large zooplankter daphnia and copepods to macrophyte thickets of the littoral zone used as shelters, as well as their movement to the open part of the reservoir at night, migration intensifies at dawn and dusk, respectively.

DVM is also noted in zooplankton representatives [41, pp. 257-281; 40, pp. 339-346; 42, pp. 191-225; 20, pp. 308-319; 43, pp. 281-291]. For example, copepods (*Eudiaptomus drieschi* Poppe & Mrázek) approach the lake surface at dawn and dusk, avoiding the surface during the day and rising at night, changing their vertical distribution by more than 5.9 m, with females descending to a greater depth [20, pp. 308-319]. Vertical migration of copepods is explained by avoiding the risk of predation by the *Atherina boyeri* Risso fish-planktophagous, with females sinking to a greater depth than males, a feature the authors explain by the "large visual signal" of the female with eggs and, accordingly, the probability of its detection by fish. DVM of zooplankters is additionally induced by cyromones secreted by fish [44, pp. 307-315].

A similar effect of the "larger visual signal" is explained [45, pp. 3010-3019] in marine aquatic organisms (krill, fish, and squid), namely, the earlier vertical migration of small individuals due to their lower ability to be visually detected by a predator at dusk. DVM of zooplankton organisms is a behavioral defense against predators due to a compromise between an increased risk of predator attacks in surface waters and slower growth in deeper waters [41, pp. 257-281; 46, pp. 2255-2263; 47, pp. 611-621; 48, pp. 981-995]. Under the conditions of experimentally created lighting over

the lake area at night, it was shown [49, p. 7995] that chaoborids, avoiding planktophagous fish during the day, descended into the safest, oxygen-free hypolimnion to reduce the risk of predation. DVM of aquatic organisms can cause a cascading effect [47, pp. 611-621]: copepods (*Tropocyclops extensus* Kiefer), avoiding the water bug (*Buenoa macrotibialis* Hungerford) and migrating to the bottom during daylight hours, induce the rise of their prey, rotifers (*Polyarthra remata* Skorikov) into the surface horizons of the reservoir water column. Using satellite tags, the effect of illumination on the daily rhythm of activity has also been described in situ for sturgeon, using the example of the lake sturgeon (*Acipenser fulvescens* Rafinesque) native to North America [50, pp. 157-165]. It was found that individuals of this species are most active at night, and the maximum activity was recorded at 22 hours 32 minutes, and the time of day is the most important predictor of changes in daily activity. Thus, illumination significantly affects the diurnal rhythm of the vertical and horizontal distribution of aquatic organisms [35, pp. 706-717; 31, pp. 17-28; 51, pp. 3-20; 33, pp. 798-812], the dynamics of this phenomenon is due to migrations, which are an adaptive behavioral response widespread among aquatic invertebrates and fish in response to light conditions. As a rule, aquatic organisms are in the water column or at the bottom during the day, as well as in coastal shelters. At dusk they move to the surface and open part of the reservoir, and at dawn they return to their original habitats. In addition, diurnal migrations may be partial [36, pp. 116-124; 31, pp. 17-28], some individuals may not migrate, apparently, the main factors in making such a decision are an assessment of the risk of predation [52, pp. 1195-1200; 31, pp. 17-28] and the state of the fish's own body [52, pp. 1195-1200]. It is assumed that visually oriented predator fish have a higher light threshold, which ensures high nutritional efficiency compared to planktophagous fish [27, pp. 1-164; 53, pp. 41-51; 54, pp. 397-405; 55, pp. 532-544]. In this regard, the latter prefer to feed in the horizons of the water column with sufficient illumination for searching and detecting zooplankton, but insufficient for predatory fish [56, pp. 467-479]. This phenomenon is called the "window of anti-predation" [57, pp. 271-290; 55, pp. 532-544]. At the same time, the plasticity of diurnal migrations is manifested in aquatic

organisms. Depending on changes in the level of illumination and photoperiodism, they are modulated, adjusted, and synchronized, due not to the time of day, but to illumination [39, pp. 2287-2294; 38, pp. 525-539] and the detection of food objects and predators [41, pp. 257-281], for example, depending on the turbidity of the medium [37, p. 61-69]. The illumination and turbidity of the environment can interact in initiating the movement of aquatic organisms and in choosing a habitat [28, pp. 1342-1359]. For both DHM and DVM, the ultimate reasons are bioenergetic efficiency in searching for food objects [58, pp. 916-925] and avoiding predators [31, pp. 17-28; 28, pp. 1342-1359].

References

1. Häder D.-P., Kumar H.D., Smith R.C., Worrest R.C. Aquatic ecosystems: effects of solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors // Photochemical & Photobiological Sciences. – 2003. – 2(1). – P. 39–50. <https://doi.org/10.1039/b211160h>
2. Vincent W.F., Roy S. Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: damage, protection, and recovery // Environmental Reviews. – 1993. – 1(1). – P. 1–12. <https://doi.org/10.1139/a93-001>
3. Nevalainen L., Rautio M. Spectral absorbance of benthic cladoceran carapaces as a new method for inferring past UV exposure of aquatic biota // Quaternary Science Reviews. – 2014. – 84. – P. 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.11.020>
4. Cremona F., Agasild H., Haberman J., Zingel P., Nöges P., Nöges T., Laas A. How warming and other stressors affect zooplankton abundance, biomass and community composition in shallow eutrophic lakes // Climatic Change. – 2020. – 159(4). – P. 565–580. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02698-2>
5. Häder D.-P., Williamson C.E., Wängberg S.-Å., Rautio M., Rose K.C., Gao K., Helbling E. W., Sinha R. P., Worrest R. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors // Photochemical & Photobiological Sciences. – 2014. – 14(1). – P. 108–126. <https://doi.org/10.1039/c4pp90035a>

6. Zapata-Hernández G., Hinojosa I.A., Sellanes J., Rios R.S., Letourneur Y. Diel changes in structure and trophic functions of motile benthic invertebrates on coral reefs at Rapa Nui (Easter Island) // *Marine Biology*. – 2021. – 168(10). <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03957-1>
7. Zhdanova I.V., Reeb S.G. Circadian Rhythms in Fish // *Behaviour and Physiology of Fish*. – 2005. – P. 197–238. [https://doi.org/10.1016/s1546-5098\(05\)24006-2](https://doi.org/10.1016/s1546-5098(05)24006-2)
8. Aschoff J. Circadian Activity Pattern with Two Peaks // *Ecology*. – 1966. – 47(4). – P. 657–662. <https://doi.org/10.2307/1933949>
9. Cowan M., Azpeleta C., López-Olmeda J. F. Rhythms in the endocrine system of fish: a review // *Journal of Comparative Physiology B*. – 2017. – 187(8). – P. 1057–1089. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1094-5>
10. Sánchez-Vázquez F.J., López-Olmeda J.F., Vera L.M., Migaud H., López-Patiño M.A., Míguez J.M. Environmental Cycles, Melatonin, and Circadian Control of Stress Response in Fish // *Frontiers in Endocrinology*. – 2019. – 10. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00279>
11. Velarde E., Haque R., Iuvone P.M., Azpeleta C., Alonso-Gómez A.L., Delgado M.J. (2009). Circadian Clock Genes of Goldfish, *Carassius auratus*: cDNA Cloning and Rhythmic Expression of Period and Cryptochrome Transcripts in Retina, Liver, and Gut // *Journal of Biological Rhythms*. – 2009. – 24(2). – P. 104–113. <https://doi.org/10.1177/0748730408329901>
12. López-Olmeda J.F., Tartaglione E.V., de la Iglesia H.O., Sánchez-Vázquez F.J. Feeding entrainment of food-anticipatory activity and *per1* expression in the brain and liver of zebrafish under different lighting and feeding conditions // *Chronobiology International*. – 2010. – 27(7). – P. 1380–1400. <https://doi.org/10.3109/07420528.2010.501926>
13. Feliciano, A., Vivas, Y., de Pedro, N., Delgado, M.J., Velarde, E., Isorna, E. Feeding Time Synchronizes Clock Gene Rhythmic Expression in Brain and Liver of Goldfish (*Carassius auratus*) // *Journal of Biological Rhythms*. – 2011. – 26(1). – P. 24–33. <https://doi.org/10.1177/0748730410388600>
14. Whitmore D., Foulkes N. S., Strähle U., Sassone-Corsi P. Zebrafish Clock rhythmic expression reveals independent peripheral circadian

oscillators // Nature Neuroscience. – 1998. – 1(8). – P. 701–707.
<https://doi.org/10.1038/3703>

15. Nisembaum L.G., Velarde E., Tinoco A.B., Azpeleta C., de Pedro N., Alonso-Gómez A. L., Delgado M.J., Isorna E. Light-dark cycle and feeding time differentially entrains the gut molecular clock of the goldfish (*Carassius auratus*) // Chronobiology International. – 2012. – 29(6). – P. 665–673. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.686947>

16. Pfenning-Butterworth A., Cooper R.O., Cressler C.E. Daily feeding rhythm linked to microbiome composition in two zooplankton species // PLOS ONE. – 2022. – 17(2). – e0263538. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263538>

17. Wang W., Su S., Dong P., Feng W., Li J., Zhang C., Tang Y. Effects of simulated winter short photoperiods on the microbiome and in Testinal metabolism in Huanghe carp (*Cyprinus carpio haematopterus*) // Frontiers in Endocrinology. – 2024. – 14. – 1293749. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1293749>

18. Reeb S.G. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes // Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2002. – 12(4). P. 349–371. <https://doi.org/10.1023/a:1025371804611>

19. Mehner T. Individual variability of diel vertical migrations in European vendace (*Coregonus albula*) explored by stationary vertical hydroacoustic // Ecology of Freshwater Fish. – 2006. – 15. – P. 146-153. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00137.x>

20. Doulka, E., Kehayias, G. Seasonal vertical distribution and diel migration of zooplankton in a temperate stratified lake // Biologia. – 2011. – 66(2). – P. 308–319. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0023-4>

21. Kelly, M.L., Collin, S.P., Hemmi, J.M., Lesku, J.A. Evidence for Sleep in Sharks and Rays: Behavioural, Physiological, and Evolutionary Considerations. Brain // Behavior and Evolution. – 2019. – 94(1–4). – P. 37–50. <https://doi.org/10.1159/000504123>

22. Kelly M.L., Murray E.R.P., Kerr C.C., Radford C.A., Collin S.P., Lesku J.A., Hemmi J.M. Diverse Activity Rhythms in Sharks

(Elasmobranchii) // Journal of Biological Rhythms. – 2020. – 35(5). – P. 476–488. <https://doi.org/10.1177/0748730420932066>

23. Stickney A.P. The Locomotor Activity of Juvenile Herring (*Clupea Harengus Harengus* L.) in Response to Changes in Illumination // Ecology. – 1972. – 53(3). – P. 438–445. <https://doi.org/10.2307/1934230>

24. Prchalová, M., Mrkvička, T., Kubečka, J., Peterka, J., Čech, M., Muška, M., Kratochvíl, M., Vašek, M. Fish activity as determined by gillnet catch: A comparison of two reservoirs of different turbidity // Fisheries Research. – 2010. – 102(3). – P. 291–296. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.12.011>

25. Sajdlová Z., Frouzová J., Draštík V., Jůza T., Peterka J., Prchalová M., Říha M., Vašek M., Kubečka J., Čech, M. Are diel vertical migrations of European perch (*Perca fluviatilis* L.) early juveniles under direct control of light intensity? Evidence from a large field experiment // Freshwater Biology – 2018. – 63 (5). – P. 473–482. <https://doi.org/10.1111/fwb.13085>

26. Solberg I., Kaartvedt S. The diel vertical migration patterns and individual swimming behavior of overwintering sprat *Sprattus sprattus* // Progress in Oceanography. – 2017. – 151. – P. 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.11.003>

27. Гирса И.И. Освещенность и поведение рыб М.: Наука. 1981 – 164 с.

28. Mehner T. Diel vertical migration of freshwater fishes - proximate triggers, ultimate causes and research perspectives // Freshwater Biology – 2012. – №57 (7). – P. 1342–1359. [doi:10.1111/j.1365-2427.2012.02811.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02811.x)

29. Lewin W., Okun N., Mehner T. Determinants of the distribution of juvenile fish in the littoral area of a shallow lake // Freshwater Biology. – 2004. – 49(4). – P. 410–424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01193.x>

30. Čech M., Kratochvíl M., Kubečka J., Draštík V., Matěna J. Diel vertical migrations of bathypelagic perch fry // Journal of Fish Biology. – 2005. – 66(3). – P. 685–702. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00630.x>

31. Muška, M., Tušer, M., Frouzová, J., Draštík, V., Čech, M., Jůza, T., Kratochvíl, M., Mrkvička, T., Peterka, J., Prchalová, M., Říha, M., Vašek, M., Kubečka, J. To migrate, or not to migrate: partial diel horizontal migration of fish in a temperate freshwater reservoir // *Hydrobiologia*. – 2012. – 707(1). – P. 17–28. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1401-9>

32. Sajdlová, Z., Jůza, T., Draštík, V., Sed'a, J., Čech, M. The effect of littoral complexity on the diel distribution of early juvenile fish communities in temperate freshwater reservoirs // *Ecology of Freshwater Fish*. – 2023. – 32(4). – P. 783–794. <https://doi.org/10.1111/eff.12740>

33. Nakayama S., Doering-Arjes P., Linzmaier S., Brieger J., Klefoth T., Pieterek T., Arlinghaus R. Fine-scale movement ecology of a freshwater top predator, Eurasian perch (*Perca fluviatilis*), in response to the abiotic environment over the course of a year // *Ecology of freshwater fish*. – 2018. – 27. – P. 798–812. <https://doi.org/10.1111/eff.12393>

34. Базаров, М.И. Распределение и вертикальные суточные миграции рыб озера Таймыр // *Биология внутренних вод*. – 2007. – № 4. – С. 62-69.

35. Busch S., Johnson B.M., Mehner T. Energetic costs and benefits of cyclic habitat switching: a bioenergetics model analysis of diel vertical migration in coregonids // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2011. – 68(4). – P. 706–717. <https://doi.org/10.1139/f2011-012>

36. Mehner T. Partial diel vertical migration of sympatric vendace (*Coregonus albula*) and Fontaine cisco (*Coregonus fontanae*) is driven by density dependence // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2015. – 72(1). – P. 116–124. doi:10.1139/cjfas-2014-0009

37. Mous P.J., Van Densen W.L.T., Machiels M.A.M. Vertical distribution patterns of zooplanktivorous fish in a shallow, eutrophic lake, mediated by water transparency // *Ecology of Freshwater Fish*. – 2004. – 13(1). – P. 61–69. <https://doi.org/10.1111/j.0906-6691.2004.00042.x>

38. Gjelland K.Ø., Bøhn T., Horne J.K., Jensvoll I., Knudsen F.R., Amundsen P.-A. Planktivore vertical migration and shoaling under a subarctic light regime // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2009. – 66(4). – P. 525–539. <https://doi.org/10.1139/f09-014>

39. Jurvelius J., Marjomki T.J. Night, day, sunrise, sunset: do fish under snow and ice recognize the difference? // *Freshwater Biology*. – 2008. – № 53. – P. 2287-2294 doi:10.1111/j.1365-2427.2008.02055.x
40. Wojtal A., Frankiewicz P., Izydorczyk K., Zalewski M. Horizontal migration of zooplankton in a littoral zone of the lowland Sulejow Reservoir (Central Poland) // *Hydrobiologia*. – 2003. – 506–509(1–3). – P. 339–346. <https://doi.org/10.1023/b:hydr.0000008627.55462.e1>
41. Ohman M.D. The Demographic Benefits of Diel Vertical Migration by Zooplankton // *Ecological Monographs*. – 1990. – 60(3). – P. 257–281. <https://doi.org/10.2307/1943058>
42. Семенченко В.П., Разлущкий В.И. (2009). Факторы, определяющие суточное распределение и перемещения зоопланктона в литоральной зоне пресноводных озер (обзор) // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. – 2009. – 2 (2). – С. 191-225.
43. De Meester L., Mehner T., Scofield A. Diel Vertical Migration / *Encyclopedia of Inland Waters*. – 2022. – 2. – P. 281–291. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819166-8.00166-3>
44. Ahlers J., Hahn, M., Stockenreiter M., Stibor H., von Elert E. Mesocosm experiments validate induction of *Daphnia* vertical migration by the fish-derived kairomone 5 α -cyprinol sulfate // *Limnology and Oceanography Letters*. – 2024. – 9(3). – P. 307–315. <https://doi.org/10.1002/lol2.10375>
45. Benoit-Bird K.J., Moline M.A. Vertical migration timing illuminates the importance of visual and nonvisual predation pressure in the mesopelagic zone // *Limnology and Oceanography*. – 2021. – 66(8). – P. 3010–3019. <https://doi.org/10.1002/lno.11855>
46. Loose C.J., Dawidowicz P. Trade-Offs in Diel Vertical Migration by Zooplankton: The Costs of Predator Avoidance // *Ecology*. – 1994. – 75(8). – P. 2255–2263. <https://doi.org/10.2307/1940881>
47. Gilbert, J.J. Hampton, S.E. Diel vertical migrations of zooplankton in a shallow, fishless pond: a possible avoidance-response cascade induced by notonectids // *Freshwater Biology*. – 2001. – 46. – P. 611-621. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00697.x>

48. Young J.D., Yan N.D. Modification of the diel vertical migration of *Bythotrephes longimanus* by the cold-water planktivore, *Coregonus artedii* // *Freshwater Biology*. – 2008. – 53(5). – P. 981–995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.01954.x>
49. Ślusarczyk M., Bednarska A., Zebrowski M.L., Tałanda J. Artificial light at night bans Chaoborus from vital epilimnetic waters // *Scientific Reports*. – 2024. – 14(1). – P. 7995. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58406-y>
50. Kough A.S., Jacobs G.R., Gorsky D., Willink P.W. Diel timing of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) activity revealed by satellite tags in the Laurentian Great Lake Basin // *Journal of Great Lakes Research* – 2018. – 44 (1). – P. 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.10.008>.
51. Cott P.A., Guzzo M.M., Chapelsky A.J., Milne S.W., Blanchfield P.J. Diel bank migration of Burbot (*Lota lota*) // *Hydrobiologia* – 2015. – №757 (1). – P. 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2257-6>
52. Brodersen J., Nilsson P.A., Hansson L.-A., Skov C., Brönmark C. Condition-dependent individual decision-making determines cyprinid partial migration // *Ecology*. – 2008. – 89(5). – P. 1195–1200. <https://doi.org/10.1890/07-1318.1>
53. Ryer C., Olla B. Light-induced changes in the prey consumption and behavior of two juvenile planktivorous fish // *Marine Ecology Progress Series*. – 1999. – 181. – P. 41–51. <https://doi.org/10.3354/meps181041>
54. Mazur M.M., Beauchamp D.A. A comparison of Visual Prey Detection Among Species of Piscivorous Salmonids: Effects of Light and Low Turbidities // *Environmental Biology of Fishes*. – 2003. – 67(4). – P. 397–405. <https://doi.org/10.1023/a:1025807711512>
55. Hansen, A.G., Beauchamp, D.A. Latitudinal and photic effects on diel foraging and predation risk in freshwater pelagic ecosystems // *Journal of Animal Ecology*. – 2024. – 84 (2). – P. 532–544. doi:10.1111/1365-2656.12295
56. Brönmark C., Hulthén K., Nilsson P.A., Skov C., Hansson L.-A., Brodersen J., Chapman B.B. There and back again: migration in freshwater fishes // *Canadian Journal of Zoology*. – 2014. – 92(6). – P. 467–479. <https://doi.org/10.1139/cjz-2012-0277>

57. Clark C.W., Levy D.A. Diel Vertical Migrations by Juvenile Sockeye Salmon and the Antipredation Window // The American Naturalist. – 1988. – 131(2). – P. 271–290. <https://doi.org/10.1086/284789>

58. Donner M.T., Eckmann R. Diel vertical migration of larval and early-juvenile burbot optimises survival and growth in a deep, pre-alpine lake // Freshwater Biology. – 2010. – 56(5). – P. 916–925. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02536.x>

© Chemagin A.A.

Глава 13.
**РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕСНЕНИЯ
ВОДЫ В УЛУЧШЕНИИ СОСТОЯНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
НАСЕЛЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДОЙ В СТРАНАХ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Алиев Хасан

самостоятельный исследователь

Андижанский государственный университет

Алиев Райимжон

доктор технических наук, профессор

Андижанский государственный университет

Аннотация: В работе проанализировано состояние обеспечения пресной водой стран Центральной Азии и выделены актуальные задачи, для решения которых целесообразно принимать первостепенные меры. Приведен обзор традиционных и инновационных способов получения пресной воды, обсуждены их сущности, показаны преимущества и имеющиеся ограничения. Сопоставлены физические, технические, экономические и экологические характеристики различных инновационных способов получения пресной воды. Предложен и разработан новый способ и устройство для получения пресной воды, использующий концентрированное солнечное излучение. Показаны преимущества, высокая производительность и перспективы применения нового солнечного опреснителя воды.

Ключевые слова: Солнечное опреснение, Морская или соленая вода, Концентрированная солнечная энергия, Быстрый нагрев, Концентратор Френеля, конденсация.

**THE ROLE OF INNOVATIVE WATER DESALINATION METHODS
IN IMPROVING THE STATUS OF PROVIDING THE POPULATION
WITH FRESH WATER IN CENTRAL ASIAN COUNTRIES**

**Aliyev Khasan
Aliev Rayimjon**

Abstract: The monograph analyzes the state of fresh water supply in Central Asian countries and identifies urgent tasks for the solution of which it is advisable to take priority measures. An overview of traditional and innovative methods of obtaining fresh water is given, their essence is discussed, and advantages and existing limitations are shown. The physical, technical, economic and ecological characteristics of various innovative methods of obtaining fresh water are compared. A new method and device for obtaining fresh water using concentrated solar radiation are proposed and developed. The advantages, high productivity and application prospects of the new solar water desalinator are shown.

Key words: Solar desalination, Sea or salt waters, Concentrated solar energy, Rapid heating, Fresnel concentrator, condensation.

Введение

По данным космических исследований, страны Центральной Азии входят в зоны с высокой скоростью истощения пресной воды. Питьевое водообеспечение составляет небольшую долю в структуре общего расхода воды. На хозяйственно-питьевые цели расходуется 7% в странах ЦА и 13% всего водопользования в мире. Чистая (пресная) вода является основой здоровья населения и по информации всемирной организации здравоохранения, 90% болезней в развивающихся странах вызваны употреблением некачественной воды и несоблюдением санитарно-гигиенических требований. Согласно данным ООН, 2 млрд. человек не имеют доступа к безопасной питьевой воде, а 3,6 млрд человек не имеют доступа к безопасной санитарии. Более 40% мирового населения проживает в регионах с критическим дефицитом воды. Более 80% сточных бытовых вод в развивающихся странах имеют сбросы в реки и моря.

К 2050 г. в 33% речных суббассейнов мира прогнозируется нехватка воды, вызванная в первую очередь загрязнением вод. В ЦА вопрос с обеспечением доступа к питьевой воде и ее очисткой далеко от его решения.

Прогрессивным человечеством определены первостепенные задачи по решению водоснабжения населения по различным регионам мира. Такие задачи имеют организационный, инвестиционный и технический характер. На техническом уровне в странах ЦА целесообразна реализация первоочередных мер в сельской местности и в городах. С учетом остроты вопроса необходимо в первую очередь содействовать обеспечению сельского населения питьевой водой. Во многих случаях для решения проблемы первичного доступа к чистой воде и санитарии могут использоваться простые и хорошо зарекомендовавшие себя решения и шаги по организации водоснабжения и водоотведения. В частности, предстоит острая задача: «перейти на локальные системы водоочистки, обеззараживания и кондиционирования питьевой воды у водопотребителей. В районах с дефицитом пресной подземной воды необходимо внедрить опреснительные установки различных типов и конструкций».

Данная работа посвящена исследованию и разработке инновационного способа опреснения воды за счет использования энергии солнечного излучения и достижений наноматериаловедения. В ходе исследования проанализировано состояние обеспечения пресной водой стран Центральной Азии и выделены актуальные задачи. Приведен обзор традиционных и инновационных способов получения пресной воды, обсуждены их сущности, показаны преимущества и имеющиеся ограничения. Показаны и обоснованы преимущества использования солнечного излучения для процессов получения пресной воды. Предложен и разработан новый способ и устройство для получения пресной воды, использующий концентрированное солнечное излучение. Показаны преимущества, высокая производительность и перспективы применения нового солнечного опреснителя воды.

Работа состоит из введения, 6 разделов, заключения и списка использованной литературы. В первом разделе приведен обзор о состоянии обеспечения населения питьевой водой в странах Центральной Азии. Во втором и третьем разделах раскрыта сущность традиционных и инновационных методов опреснения воды. В четвертом разделе рассмотрены промышленные и бытовые способы и методы опреснения воды. В пятом разделе описаны цель и задачи проведенного авторами исследования. Основной 6 раздел монографии посвящен разработке нового «Солнечного опреснителя воды». Данный раздел состоит из 3 составляющих, которые посвящены: - литературному анализу способов солнечного опреснения воды и устройств «Солнечного опреснителя воды»; - описанию физической сущности предложенного «Солнечного опреснителя воды»; - результатам исследования и их обсуждению. В заключении изложены основные результаты проведенного исследования. Список использованной литературы состоит из 23 наименований. Монография изложена на 32 страницах машинописного текста, содержит 6 рисунков и 3 таблиц.

1. О состоянии обеспечения населения питьевой водой в странах Центральной Азии

Глобальные экологические и климатические изменения, наблюдаемые за последние годы, привели существенному истощению пресной воды в мире. По данным анализа спутниковых данных [1], все больше континентов Земли столкнутся с такой потерей пресной воды с 2002 года, вызванной изменением климата, нерациональным использованием грунтовых вод и экстремальными засухами. Согласно данным исследования [1], ежегодная территория распространения засушливых зон увеличивается вдвое быстрее, чем размеры штата Калифорния. При этом скорость, с которой засушливые районы становятся суше, опережает скорость, с которой влажные районы становятся влажнее, что меняет долгие гидрологические закономерности. По данным [1], Страны Центральной Азии (ЦА) входят в зоны с высокой скоростью истощения пресной воды.

Доступ к качественной питьевой воде и санитарии относится к категории международно-признанных и фундаментальных прав человека. Питьевое водоснабжение занимает относительно небольшую долю в структуре забора воды. На хозяйственно-питьевые цели приходится 7% в странах ЦА и 13% всего водопользования в мире [2]. Питьевая вода является основой здоровья населения и по информации всемирной организации здравоохранения, 90% болезней в развивающихся странах вызваны употреблением некачественной питьевой воды и несоблюдением санитарно-гигиенических требований при эксплуатации систем коммунального водоснабжения. Однако нынешний уровень водной безопасности во многих регионах мира находится под угрозой. Согласно данным ООН, 2 млрд. человек не имеют доступа к безопасной питьевой воде, а 3,6 млрд. человек не имеют доступа к безопасной санитарии. Более 40% мирового населения проживает в регионах с критическим дефицитом воды. Более 80% сточных бытовых вод в развивающихся странах сбрасывается в реки и моря без предварительной очистки. Загрязнение вод нарушает безопасность водоснабжения населения мира.

К 2050 г. в 33% речных суббассейнов мира прогнозируется нехватка воды, вызванная в первую очередь загрязнением вод, а также гидрологическими и климатическими факторами. В этих регионах, занимающих 32% мировой площади суши, проживает около 80% численности мирового населения, и хозяйственная деятельность сопровождается интенсивным загрязнением водных ресурсов, как поверхностных, так и подземных [2]. Остро стоит проблема совместного управления водными ресурсами в бассейнах трансграничных рек.

Ожидается более высокое обострение в долгосрочной перспективе. К 2050 г. потребление питьевой воды увеличится на 50–63%. Основным фактор — рост населения, преимущественно городского: к 2050 г. в городах будет проживать 70% населения мира. Предложение воды в свою очередь столкнется с воздействием климатических изменений, стареющей инфраструктуры и ухудшающегося качества воды.

В ЦА вопрос с обеспечением доступа к питьевой воде и ее очисткой стоит еще более остро. Регион находится в зоне усиливающегося водного стресса. С 2028 г. он войдет в фазу хронического дефицита водных ресурсов [2, стр. 5]. Его последствия затронут все сегменты экономики: сельское хозяйство, промышленность, коммунально-бытовой сектор и питьевое водоснабжение населения. Определяющее значение для сектора имеют:

- климатические изменения;
- ожидаемый рост населения и стремительная урбанизация;
- устаревающая инфраструктура;
- снижающееся качество воды;
- неадаптированная практика управления водными ресурсами и др.

Известно, что 70% всей воды на планете распределено в соленых океанских и морских водах. В каждом килограмме морской воды содержится в среднем 35 г различных солей. В литре воды больше всего обыкновенной поваренной соли (27.2 г). Хлористый магний (3.8 г) и сернокислый магний (1.7 г) придают морской воде горький вкус. Довольно много в ней содержится сернокислого калия (1.3 г) и сернокислого кальция (несколько менее грамма). В своей совокупности эти соли составляют 99.5 процента растворенных в морской воде веществ. Из 30% пресной воды примерно 70% заморожены в снежных покровах, ледниках и вечной мерзлоте, большая часть остальных запасов находится в водоносных слоях почвы, откуда мы ее выкачиваем гораздо быстрее, чем природа может восполнить потери [3].

В настоящее время в ЦА 9,9 млн. человек, или 13% населения, не имеют доступа к чистой питьевой воде. За 1994–2020 гг. объем забора воды на коммунально-бытовые нужды вырос в два раза, до 8,6 км³. Износ сетей водоснабжения и водоотведения в ЦА оценивается до 80%. Технологические и другие потери воды в распределительных сетях составляют до 55%. В странах ЦА техническое состояние инфраструктуры водоснабжения и очистного оборудования осложняет

соблюдение технологического режима работы систем и обеспечение требуемого качества питьевой воды.

Определены первостепенные задачи по решению водоснабжения населения по различным регионам мира. Такие задачи имеют организационный, инвестиционный и технический характер.

На техническом уровне в странах ЦА целесообразна реализация первоочередных мер в сельской местности и в городах. С учетом остроты вопроса необходимо в первую очередь содействовать обеспечению сельского населения питьевой водой. Его доля в перспективе будет оставаться значительной по всему региону. Во многих случаях для решения проблемы первичного доступа к чистой воде и санитарии могут использоваться простые и хорошо зарекомендовавшие себя решения и шаги по организации водоснабжения и водоотведения. В частности, предстоит острая задача: «перейти на локальные системы водоочистки, обеззараживания и кондиционирования питьевой воды у водопотребителей. Это обеспечит доступ к безопасной воде без необходимости длительного транспортирования и хранения. В районах с дефицитом пресной подземной воды необходимо внедрить опреснительные установки различных типов и конструкций».

Попытка решения такой острой задачи путем разработки инновационного способа опреснения воды является основным объектом данного исследования.

2. Традиционные методы опреснения воды

К традиционным методам опреснения воды относятся метод дистилляции, метод ионного обмена, метод обратного осмоса, метод электродиализа, метод замораживания и другие. Сущность таких методов можно изложить вкратце следующим образом. При дистилляции и замораживании агрегатное состояние воды изменяется, а в других методах агрегатное состояние воды не изменяется.

Метод дистилляции. В основе метода дистилляции воды или перегонки лежит разница в составе воды и образующегося пара [3, 4]. Этот процесс происходит в дистилляционных установках –

опреснителях. В процессе перегонки низкокипящий (более летучий) компонент переходит в паровую фазу в гораздо большем объеме, нежели высококипящий (менее летучий). Дистилляция - традиционный и самый распространенный способ опреснения воды, до 2000 годы термическими методами, включая метод дистилляции, получали до 93% всей опресняемой в мире воды. Морьями он применяется еще со времен древней Греции и в настоящее время продолжает оставаться основным источником пресной воды на морских кораблях [4, 5]. Современные методы опреснения воды, в том числе разновидности термической дистилляции более детально описаны в источнике [6].

Метод ионного обмена. Данный способ в своей основе имеет свойство твёрдых полимерных смол разной степени сшивки обратимо обмениваться ионами растворённых в воде солей [7]. Суть процесса ионного обмена заключается в последовательном протекании воды в периодическом процессе через неподвижный слой ионита или в непрерывном процессе противоточным движением воды и ионита. В данном процессе катионы и анионы перерабатываемой воды последовательно соединяются с ионитами, в результате чего происходит её обессоливание. Обработка воды методом ионного обмена экономически выгодна при солесодержании воды, не превышающем 1 г/кг. В противном случае ионообменные смолы быстро истощаются. Замена фильтрующего материала ввиду большой стоимости ионитов обходится дорого, а регенерация приводит к появлению большого количества вод, требующих нейтрализации.

Метод обратного осмоса. Суть метода состоит в пропускании через полупроницаемые мембраны под давления, превышающего осмотических. Мембраны для данного метода обычно изготавливаются из полиамида или ацетата целлюлозы и выпускаются в виде полых волокон или рулонов. Суть метода заключается в том, что через микропоры данных мембран могут легко проникать небольшие молекулы воды, а крупные ионы соли и различные примеси задерживаются.

При методе деминерализации воды обратным осмосом движущей силой этого процесса является разность между приложенным и осмотическим давлениями [4]:

$$\Delta P = P - (\pi_1 - \pi_2) ,$$

где P - избыточное давление над исходным раствором; π - осмотическое давление соответственно исходного раствора и раствора, прошедшего через мембрану.

Эффективность процессов обратного осмоса в значительной степени определяется свойствами применяемых мембран, которые должны отвечать следующим требованиям: высокой разделяющей способностью, высокой удельной проницаемостью, устойчивостью к воздействию среды, неизменностью характеристик в процессе эксплуатации, достаточной механической прочностью, низкой стоимостью. Обратным осмосом в настоящее время получают до 69% всей опресняемой воды в мире, это один из наиболее перспективных и экономичных способов опреснения [5].

Метод электродиализа. Этот процесс мембранного деления базируется на возможности ионов растворённых в воде солей передвигаться через мембрану под воздействием градиента электрического поля [4, 7]. Причем катионы перемещаются по направлению к отрицательному электроду (катоде), а анионы - в обратном, к положительно заряженному электроду (аноду). Вследствии в ограниченном мембранами объёме совершается сокращение концентрации солей. Ионитные мембраны для процессов электродиализа должны обладать высокой селективностью, малой проницаемостью, химической стойкостью, хорошей электрической проводимостью, высокой механической прочностью, определяющей продолжительный срок службы в промышленных условиях.

Внедрение электродиализа началось более 20 лет назад, но широкое использование его тормозится необходимостью предварительной очистки воды от взвешенных и коллоидных частиц, которые могут осаждаться на мембранах и ухудшать их проницаемость [4]. Возможно «отравление» мембран органическими примесями, что

ухудшает их работу и приводит к «образованию кальциевых и магниевых отложений». Сдерживают применение электродиализа также сложность аппаратуры и высокие эксплуатационные расходы по замене мембран. Электродиализ выгодно использовать для опреснения соленых вод, так как удельные затраты на удаление солей снижаются с ростом минерализации исходной воды. В настоящее время этим методом получается около 3% всей опресняемой воды.

Метод замораживания. Этот способ базируется на том, что в природных условиях лед, возникающий из морской воды, является пресным, так как формирование кристаллов льда при температуре, ниже температуры замерзания возникает только из молекул воды (явление криоскопии) [8]. При искусственном продолжительном замораживании соленой морской воды около центров кристаллизации образуется пресный лед гексагональной игольчатой структуры со средней плотностью 930 кг/м³. Метод вымораживания не нашел широкого применения и используется в основном там, где есть естественные источники холода. Этим методом получают всего 0,1% мирового производства опресненной воды.

3. Промышленные способы и методы опреснения воды

В связи с развитием промышленности и бытовых нужд на пресную воду появились бытовые и промышленные опреснительные установки. Во многих местах повышенным спросом пользуются качественные бытовые и промышленные способы и методы опреснения воды [9]. Рассмотрим основные технологии, их отличия, экономическую целесообразность применения на практике и другие, важные для потребителей вопросы.

Общее количество запасов чистой, или нуждающейся в сравнительно простой очистке морской воды, составляет по разным оценкам не более 2÷4% от всего ее количества. Даже в подземных источниках жидкость часто является солоноватой. Если такие примеси даже неотличимы на вкус, то надо помнить, что минимальное наличие соединений кальция и магния способно при небольшом нагреве

образовать накипь, которая представляет существенную угрозу для отопительного и другого оборудования.

Минерализация некоторых подземных вод может достигать уровня 30-35 г на 1 литр, что сопоставимо с содержанием солей в морях и океанах. В таких растворах находятся самые разные химические соединения, поэтому удаление примесей вполне можно совместить с добычей полезных веществ. Но оставим решение таких задач коммерсантам и продолжим обсуждение обозначенной темы.

В настоящее время применяются различные способы и методы опреснения воды. Они основаны на физических и химических принципах, ионном обмене и механической фильтрации, дистилляции и вымораживании, органических технологиях. Такое многообразие является убедительным свидетельством того, что идеальной технологии не существует. Как минимум, приходится учитывать при выборе реагентного способа обработки воды или набора соответствующего оборудования бытовое или промышленное целевое назначение, близость моря и другие факторы.

Если поблизости есть крупная электростанция, то можно будет использовать отводимое технологическое тепло для решения вопросов очистки, например, выпариванием, или дистилляцией. Если количество потребителей в данном месте недостаточно велико, то, вполне возможно, что дешевле будет транспортировка чистой морской воды из других источников.

Подобные расчеты способен произвести и внимательный рядовой пользователь. Ему понадобится учесть, в каком из вариантов будут меньше затраты. Разумеется, следует принимать во внимание не только стоимость оборудования, но и его монтаж, последующее обслуживание, плановые ремонты, общую надежность и предполагаемый срок службы.

4. Инновационные методы опреснения воды

Современные инновационные методы опреснения воды основаны на использовании возобновляемых источников энергии. Опубликованы работы, в которых использованы энергии солнца и ветра, а также имеются системы, в которых использованы одновременно энергии

солнца и ветра. Активно использованы как тепловая энергия, так и фотоэлектрическая энергия солнечного излучения. Наиболее современным методам опреснения воды характерны использование достижений программного управления процессами, нанотехнологии и наноматериалов. Вкратце рассмотрим ряд новых разработок по созданию и внедрению солнечных опреснителей воды.

В работе [10] предложен «Солнечный опреснитель», содержащий камеру испарения воды, связанную с магистралью подачи морской воды, оборудованной насосом, и с магистралью слива рассола, камеру конденсации пара, снабженную насосом, теплообменником и трубопроводом вывода опресненной воды. В отличие от аналогов, камера испарения воды выполнена в виде парогенератора улиточного типа, входной патрубок которого соединен магистралью подачи морской воды с коллектором, установленным выше парогенератора улиточного типа для создания напора воды, а коллектор также соединен с солнечными батареями, соединенными магистралью или магистральями с солнечными насосами для подачи морской воды из приповерхностных слоев через входной патрубок, установленный в теплообменнике. Причем теплообменник имеет связь с выходным патрубком парогенератора улиточного типа, камера конденсации с парогенератором установлены ниже уровня моря на платформе.

В изобретенной конструкции [11] для опреснения морской воды использована солнечная энергия для непрерывной подачи тепла и к области опреснения морской воды (включая опреснение внутренней жесткой воды). Новое устройство содержит систему очистки морской воды и систему опреснения морской воды. Система очистки морской воды состоит из скважины для извлечения морской воды, резервуара для стерилизующей очистки морской воды, многостадийного ультрафильтра и резервуара для очищенной морской воды. Система опреснения морской воды состоит из устройства для концентрирования солнечной энергии и сбора тепла, бака для хранения тепла солнечной энергии, нагревателя очищенной морской воды и многостадийного мгновенного испарителя морской воды.

Устройство для концентрирования солнечной энергии и сбора тепла собирает тепловую энергию солнечного света посредством теплопроводящей рабочей среды в дневное время, сохраняет тепловую энергию солнечного света в баке для хранения тепла солнечной энергии и затем нагревает очищенную морскую воду с помощью теплопроводящей рабочей среды до определенной температуры. Горячая морская вода направляется в многостадийный мгновенный испаритель морской воды, и распыляется и испаряется стадия за стадией, и отделяются пресная вода и рассол. В изобретении раскрывается способ опреснения морской воды, использующий солнечную энергию для непрерывной подачи тепла. Устройство для опреснения морской воды, использующее солнечную энергию для непрерывной подачи тепла, может эффективно собирать сравнительно рассеянную солнечную энергию, чтобы нагревать и испарять морскую воду, качество получаемой пресной воды достигает стандартов питьевой воды, и солнечная энергия сохраняется, позволяя непрерывную операцию получения пресной воды.

В работе [12] предложена опреснительная установка, которая согласно одному из примеров настоящего изобретения включает теплообменник, предназначенный для передачи энергии от теплоносителя к морской воде в контуре морской воды для получения пара из морской воды. Турбина приводится в действие паром, а конденсатор, расположенный после турбины, производит пресную воду из пара. Процесс получения пресной воды включает:

- поглощение тепловой энергии от концентрированной солнечной электростанции;
- передачу энергии морской воде, получение пара из морской воды, приведение турбины в действие паром;
- конденсацию пара после турбины для получения пресной воды из пара.

Предложенная в работе [13] система опреснения морской воды с использованием солнечной энергии для получения опресненной воды из

морской воды с последующим производством электроэнергии включает в себя:

- блок печи, включающий сосуд для приема и испарения морской воды с целью получения опресненного пара и концентратор солнечной энергии, расположенный рядом с сосудом для концентрирования солнечной энергии на сосуде;
- вход для подачи морской воды на сосуд;
- выход рассола для удаления донных отложений рассола из сосуда;
- стояк, соединенный снизу с сосудом и идущий вверх от него, для транспортировки пара с сосуда на более высокую точку выработки электроэнергии;
- опускная труба, имеющая верхнюю и нижнюю части и соединенная своими верхними частями с паротурбогенератором для отвода опресненной воды из паротурбогенератора,
- гидротурбогенератор, соединенный с нижней частью опускной трубы, для выработки электроэнергии с использованием опресненной воды из паротурбогенератора;
- выход для отвода опресненной воды из гидротурбогенератора для последующего использования.

Конструкция опреснителя в работе [14] представляет собой тент или укрытие пирамидальной формы с внутренней тёмной тканевой основой и внешней прозрачной тканевой основой, установленная на опорном основании, закреплённом на грунте или на поплавках на поверхности моря, в вершине которой расположены испарители с микро-распылителями для распыления обрабатываемой воды, устройство для улавливания влажного воздуха через непрерывную или секционную конденсационную колонну, а также для дистилляции и отвода тепла из грунта в водосборный резервуар и рециркуляции обезвоженного воздуха в укрытие. Кроме того, она включает в себя компьютеризированную систему управления процессами, включающую управление расходом воздуха и распыляемой воды, а также режимом работы установки.

В предложенной в работе [15] опреснительная установка и процесс используют солнечное излучение для получения пара из морской воды, который затем используется для получения пресной воды и электроэнергии. Опреснительная установка согласно одному из примеров настоящего изобретения включает в себя систему концентрированной солнечной энергии. Теплообменник находится в гидравлическом сообщении с системой концентрированной солнечной энергии через контур морской воды, который передает энергию морской воде внутри контура морской воды для извлечения пара из морской воды. Турбина приводится в действие паром, а конденсатор, расположенный ниже турбины, производит пресную воду из пара. Процесс получения пресной воды включает в себе последовательные процессы:

- поглощение энергии от системы концентрированной солнечной энергии морской водой, передаваемой через теплообменник;
- извлечение пара из морской воды, приведение в действие турбины этим паром;
- конденсацию пара ниже турбины для получения пресной воды.

Несколько новых конструкций солнечных опреснителей детально описаны в диссертации [16]. В частности, для повышения производительности опреснителя использованы различные металлы в качестве конденсатора для пар, для увеличения интенсивности парообразования использованы ультразвуковые парогенераторы или вращающийся металлический диск.

5. Цель и задачи настоящего исследования

Основная цель настоящего исследования заключается в выявлении актуальных проблем обеспечения населения в странах Центральной Азии питьевой водой и разработке нового «Солнечного опреснителя воды». Для достижения основной цели исследования проанализированы традиционные и инновационные методы опреснения воды. Причем, особое внимание обращено на использование возобновляемых источников, в частности, солнечной и ветреной энергии.

Структура настоящей работы построена так, чтобы после вводной части приведен краткий обзор состояния по обеспечению населения питьевой водой в странах ЦА. На основе литературного анализа описаны традиционные и инновационные методы опреснения воды. Определены основная цель и задачи настоящего исследования, структура монографии. Более детально описаны сущность разработанного нового «Солнечного опреснителя воды». На основе целенаправленного литературного анализа способов и устройств «Солнечного опреснителя воды» показана актуальность прикладного исследования. Приведены результаты экспериментального исследования и их обсуждение по которым сформулированы заключения.

6. Разработка нового «Солнечного опреснителя воды»

6.1. Литературный анализ способов солнечного опреснения воды и устройств «Солнечного опреснителя воды»

Авторами предложена новая конструкция, которая относится к устройствам для дистилляции минерализованных, загрязненных, морских или соленых вод (далее по тексту: соленых вод) посредством использования только солнечной энергии для нагрева воды.

Известны многочисленные дистилляционные установки, использующие дополнительную электрическую энергию для привода различных механизмов в опреснителях, для создания необходимых температур в их испарителях.

Например, известный автономный солнечный опреснитель морской воды, [17] содержит автономный источник электричества и последовательно соединенные концентратор солнечной энергии, испаритель воды, охладитель водяного пара, конденсатный насос для вывода конденсата, емкость для сбора пресной воды, емкость для сбора рассола с выгружным насосом и коллектор с запорной арматурой для раздачи пресной воды. Источник электричества выполнен в виде турбогенератора электрического тока, установленного по потоку водяного пара между испарителем и охладителем паров воды. Недостатком опреснителя [17] является то, что используются энергоёмкие насосы, потребляющие часть преобразованной солнечной

энергии. Кроме этого, такое устройство является сложным в изготовлении, следовательно, дорогостоящим.

Недостатки известной разработки [17] частично преодолены в известном автономном солнечном опреснителе воды [18]. Устройство [18] для дистилляции минерализованных, загрязненных или морских вод посредством использования только солнечной энергии для нагрева воды содержит концентратор солнца на параболоцилиндрических отражателях, оснащенных консолями с отверстиями, в которых размещены испаряющие трубы, расположенные в фокусе отражателей. Система слежения за солнцем состоит из гидроцилиндра, шток которого механически соединен с его поршнем и через рычаги с консолями отражателей, герметичного бака, содержащего минеральное масло с рабочим телом и маслопроводом, соединяющим гидроцилиндр с баком, причем конденсатор со сборником дистиллята выполнен из прозрачного корпуса, частично погруженного в резервуар опресняемой воды, и содержит тепло-аккумулирующий материал с дополнительной испарительной поверхностью, над которой размещен один конец паропровода, другой его конец соединен с выходами испаряющих труб, входы последних посредством трубопровода подключены к резервуару опресняемой воды. Испаряющие трубы заключены в прозрачные внешние оболочки, из которых выкачан воздух, а со стороны солнца на оболочках размещены зеркальные отражатели по всей их длине и в половину диаметров испаряющих труб. В верхней зоне корпуса конденсатора размещена конденсатная собирающая влагу сетка, закрепленная на сторонах корпуса. На дополнительной испарительной поверхности и на внутренней поверхности испаряющих труб размещена съемная термостойкая ткань. Таким образом, обеспечивается упрощение конструкции и повышение надежности опреснителя и его производительности. Однако имеются недостатки опреснителя [18], связанные со сложностями его изготовления и практического использования.

Недостатки известных разработок [17] и [18] частично преодолены в конструкции опреснителя [19]. Принцип действия достаточно простой

конструкции солнечного опреснителя воды [19] основан на испарении солёной воды и её последующей конденсации на стенках конуса, изготовленного из прозрачной пластмассы. Сконденсированная вода будет стекать по стенкам к внутреннему жёлобу, в котором она накапливается. Чтобы увеличить эффективность процесса, под конусное пространство сделано герметичным, так что пары воды не могут выйти наружу, и нагретый воздух так же остаётся внутри, что повышает под конусную температуру как в парнике. Для извлечения пресной воды конус следует аккуратно наклонить, открутить пробку и слить воду в какую-нибудь ёмкость. Конус можно установить на влажной земле, пропитанной солёной водой, или же аккуратно положить на водную поверхность, на которой конус будет плавать, благодаря внутреннему бортику. Водная поверхность должна быть абсолютно спокойной, без волн. Для наибольшей эффективности работы этого опреснителя поверхность под конусом должна быть тёмная, желательно чёрного цвета - это обеспечит максимальный нагрев солёной воды, которая при этом будет быстрее испаряться. Однако в устройстве [19] используется солнечное излучение без концентрации, поэтому его эффективность относительно низкая и не превышает 40%.

Известен солнечный опреснитель воды [20], действие которого основан на принцип - «Чем меньше толщина слоя воды, тем быстрее она нагревается и испаряется». В данной конструкции вращающийся цилиндр внутри резервуара захватывает воду в виде очень тонкой пленки и при падении солнечного луча вода быстро испаряется. Действительно радикально увеличена освещаемая солнцем мокрая площадь, и скорость испарения воды. Однако в конструкции [20] не использована концентрация солнечного излучения, т.е. устройство не снабжено концентратором света, что ограничивает его эффективность и производительность.

Известен инновационный солнечный опреснитель воды [21]. Принцип действия устройства [21] основан на следующем. Солнечное испарение на границе раздела фаз, локализирующее преобразование солнечной энергии в тепловую на границе раздела пар-жидкость, обеспечивает новый подход к опреснению морской воды. Активный верхний слой изготовлен из оксида нитрида титана (TiNO), который эффективно улавливает солнечное тепло. Он наносится на материал, имеющий тончайшие вертикальные поры. Морская вода испаряется на поверхности промежуточного слоя. Опреснитель представляет собой плавучий блок, способный эффективно собирать солнечную энергию и преобразовывать ее в тепловую, необходимую для ускорения парообразования. В основе устройства лежит вспененный полиэтилен, обеспечивающий плавучесть и теплоизоляцию. Массив пенополиэтилена обернут нетканым материалом типа айрлайд, содержащим абсорбент. В солнечной энергетике оксид-нитрид титана - стандартное покрытие для коммерческих продуктов, оно способно поглощать лучи солнца и широко используется в солнечных водонагревателях и в фотоэлектрических установках. У этого вещества коэффициент поглощения солнечной энергии высокий, а коэффициент теплового излучения небольшой, поэтому оно эффективно превращает солнечную энергию в тепловую. Однако в разработке [21] имеются некоторые недостатки. Слой оксида нитрида титана весьма тонкая и поглощенное им тепло передается очень тонкому слою воды, следовательно, нагревается ее незначительная часть. Из-за этого не достигается более высокая скорость испарения. Кроме этого, в устройстве отсутствует концентратор солнечного излучения. Эффективность устройства низкая и не превышает 46%. Кроме этого, из-за тонкости слоя активного поглощения солнечного излучения отсутствует возможность расширения производительности этого устройства.

6.2. Описание сущности предложенного «Солнечного опреснителя воды»

Задача новой разработки заключается в повышении эффективности и производительности опреснителя воды. Задача нового устройства решается тем, что в солнечном опреснителе воды, состоящем из ёмкости для исходной соленой и опресненной вод, пористого плавучего испарителя с поверхностным металл-оксидным слоем, прозрачного корпуса с проточным каналом для конденсированной воды, осуществлены следующие новые технические решения. Во-первых, пористый плавучий испаритель выполнен из металло-керамического материала, содержит металлический слой в качестве теплоносителя под поглотителем света - металл-оксидным слоем из оксида нитрида титана и множество сквозных отверстий, ориентированных перпендикулярно к его поверхности [22]. Во-вторых, использован концентратор солнечного излучения, выполненный в виде линзы Френеля так, чтобы вся фронтальная поверхность плавучего испарителя размещена вблизи фокусной плоскости линзы Френеля. В третьих, ёмкость для исходной соленой воды выполнена двухкамерной, соединенных между собой нижней сообщающей трубой с промежуточным клапаном для регулирования потока воды.

Сущность предложенного устройства поясняется чертежами на рис. 1, рис. 2, рис. 3, рис. 4, рис. 5 и рис. 6. На рис. 1 представлен упрощенный общий вид солнечного опреснителя воды в вертикальном разрезе.

На рис. 2 представлен схематический вид с фронтальной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды.

На рис. 3 представлен схематический вид с тыльной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды.

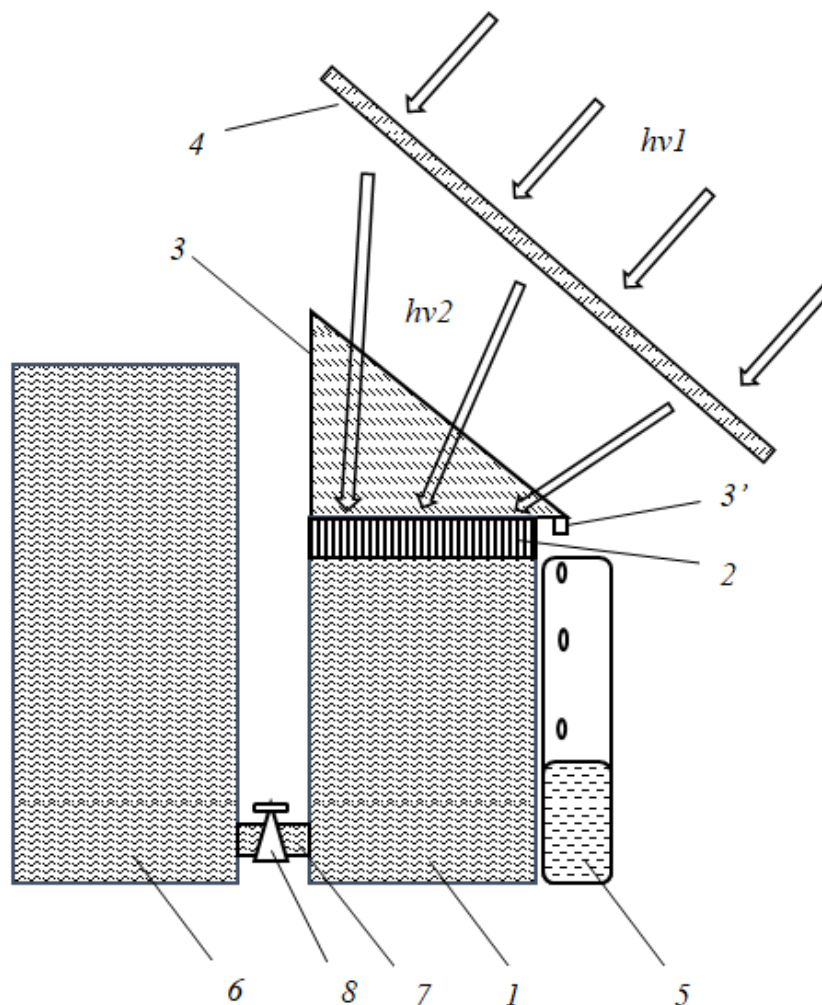


Рис. 1. Упрощенный общий вид солнечного опреснителя воды в вертикальном разрезе

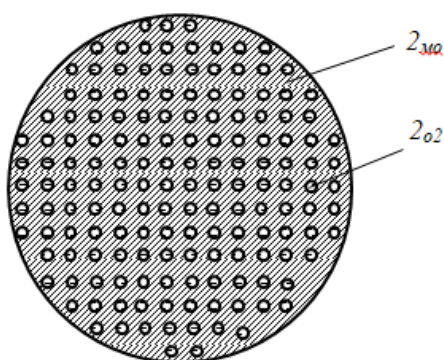


Рис. 2. Схематический вид с фронтальной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды:
 2_{mo} - металл-оксидный слой;
 2_{o2} - сквозные отверстия

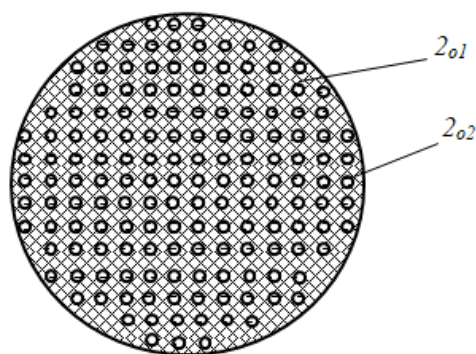


Рис. 3. Схематический вид с тыльной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды:
 2_{o1} - пористая пластина,
 2_{o2} - сквозные отверстия

На рис. 4 представлен разрез по вертикали плавучего испарителя солнечного опреснителя воды.

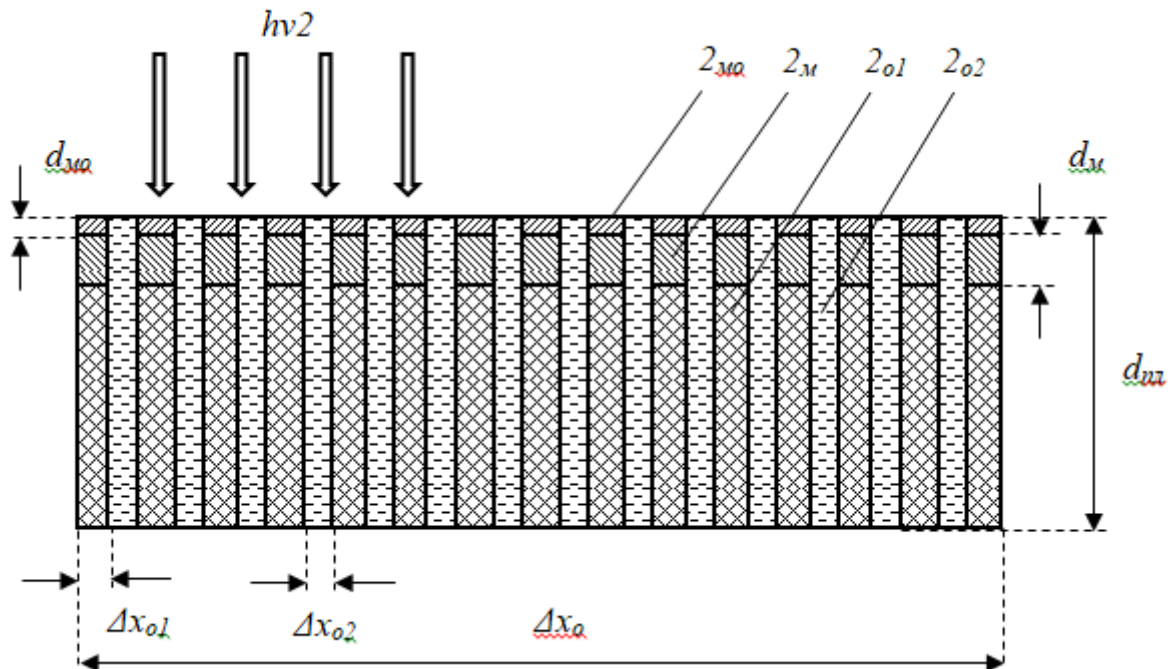


**Рис. 4. Вид в разрез по вертикали плавучего испарителя
солнечного опреснителя воды:**

2_{mo} - металл-оксидный слой, 2_m - слой металла,

2_{o1} - пластина из пористого материала,

2_{o2} - сквозные отверстия

На рис. 5 представлен фотографический вид с фронтальной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды. На рис. 6 представлен фотографический вид с тыльной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды (с вставленным схематическим видом отверстий).

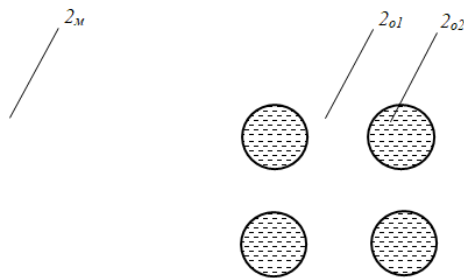


Рис. 5. Фотографический вид с фронтальной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды

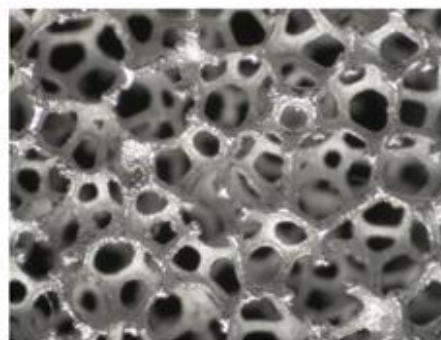


Рис. 6. Фотографический вид с тыльной стороны плавучего испарителя солнечного опреснителя воды (с вставленным схематическим видом отверстий)

Предложенный солнечный опреснитель воды содержит (рис. 1) рабочую ёмкость для соленой воды 1, плавучий испаритель воды 2, прозрачный корпус 3 с проточной трубой 3' для конденсированной воды, концентратор солнечного излучения в виде линзы Френеля 4, ёмкость для пресной воды 5, первичная ёмкость для соленой воды 6, труба 7 для соединения сообщающихся сосудов – рабочую ёмкость 1 и первичную ёмкость 6 для соленой воды, клапан 8 для регулирования потока между первичной ёмкостью 6 и рабочей ёмкостью 1 для соленой воды. Фронтальная сторона плавучего испарителя солнечного опреснителя воды 2 (рис. 2) содержит большую площадь с металл-оксидным слоем из оксида нитрида титана 2_{mo} и сквозные отверстия 2_{02} . Тыльная сторона плавучего испарителя солнечного опреснителя воды (рис. 3) состоит из относительно большой площади из пористого материала 2_{01} и сквозных отверстий 2_{02} . Плавучий испаритель 2 солнечного опреснителя воды (рис. 4) с общей толщиной $d_{пл}$ состоит из последовательно расположенных пластины пористого материала 2_{01} со средним

поперечным сечением столба Δx_{o1} , слоя металла 2_m с толщиной d_m и металл-оксидного поглотителя света из оксида нитрида титана с толщиной d_{mo} . Причем, среднее сечение столбов слоя металла 2_m , металл-оксидного поглотителя света из оксида нитрида титана 2_{mo} , а также диаметр вертикальных отверстий Δx_{o2} выполнены одинаковым. Большая часть фронтальной поверхности плавучего испарителя 2 солнечного опреснителя воды (рис. 5) состоит из слоя металла 2_m , покрытого слоем из оксида нитрида титана 2_{mo} (рис. 4). Тыльная сторона (рис. 6) состоит из большей области пористого материала 2_{o1} и сквозных отверстий 2_{o2} .

Предложенный солнечный опреснитель воды работает следующим образом. Соленая вода в рабочей емкости 1 из прозрачного материала (рис. 1) с поверхностным плавучим испарителем воды 2 и прозрачный корпус 3 размещены так, чтобы фронтальная поверхность поверхностного плавучего испарителя воды 2 в дневное время находится вблизи фокусной плоскости линзы Френеля 4. Солнечные лучи $h\nu_1$, падающие перпендикулярно на поверхность линзы Френеля 4, в виде потока преломленных лучей $h\nu_2$ падают на фронтальную поверхность поверхностного плавучего испарителя воды 2. Описанное условие постоянного освещения фронтальной поверхности плавучего испарителя воды 2 концентрированным солнечным излучением обеспечивается следующими путями: 1) Рабочая емкость для соленой воды 1 и первичная емкость 6, а также емкость для пресной воды 5 размещены на горизонтальной плоскости, а концентратор в виде линзы Френеля 4 размещен в механической конструкции, обеспечивающей свободного изменения наклона линзы Френеля 4 по двум взаимно перпендикулярным осям; 2) Расположение плавучего испарителя воды на необходимом уровне высоты соленой воды в емкости 1 обеспечивается путем регулирования потока воды из первичной емкости 6 с большей высотой воды в рабочую емкость 1 посредством механического управления клапаном 8. При этом обеспечивается компенсация количества испаряемой воды и протекающей воды через клапан 8 из первичной емкости 6 в рабочую емкость 1.

При падении концентрированного солнечного излучения на поверхность плавучего испарителя 2 (рис. 4), поверхностная часть объема воды быстро нагревается и испаряется, причем объем испаренной воды за короткий промежуток времени можно определить по формуле:

$$V_{o1} = n \times \pi \times x_{o2} \times (d_{mo}/2)^2, \quad (1)$$

где n – количество вертикальных отверстий в плавучем испарителе 2; x_{o2} – диаметр вертикальных отверстий; d_{mo} – высота слоя оксида нитрида титана; $\pi = 3,14$.

Выполняется условие превышения плотности энергии солнечного излучения на поверхности плавучего испарителя 2:

$$W/S \geq W_k + W_{исп}, \quad (2)$$

где W/S – плотность энергии солнечного излучения (W) на единицу поверхности плавучего испарителя 2 (S – площадь поверхности плавучего испарителя 2); W_k – энергии нагрева воды до кипения; $W_{исп}$ – энергия для испарения воды.

При сильной концентрации солнечного излучения формула (1) принимает вид:

$$V_{o2} = n \times \pi \times x_{o2} \times [(d_{mo} + d_m)/2]^2, \quad (3)$$

где d_m – высота слоя металла (рис. 4).

В зависимости от уровня концентрации солнечного излучения может испаряться вода в объеме от V_{o1} до V_{o2} . При этом больший объем и большая высота воды в первичной емкости 6 позволяет сохранить первичный уровень воды, следовательно, плавучего испарителя воды 2 в рабочей емкости 1, посредством регулирования потока из первичной емкости 6 в рабочую емкость 1 через проточной трубы 7 и клапан 8 (рис.1). Испаренная концентрированным солнечным излучением вода в виде паров конденсируется на верхней стенке прозрачного корпуса 3 и стекает через проточной трубы 3' в емкость для пресной воды 5.

Таким образом, предложен солнечный опреснитель воды, состоящий из объемов для исходной соленой и опресненной вод, пористый плавучий испаритель с поверхностным металлоксидным слоем, прозрачный корпус с проточным каналом для конденсированной воды. Предложенный солнечный опреснитель воды отличается тем, что пористый плавучий испаритель выполнен из металлокерамического

материала, содержит металлический слой в качестве теплоносителя под поглотителем света - металл-оксидным слоем из оксида нитрида титана и множество сквозных отверстий, ориентированных перпендикулярно к его поверхности, контейнер для исходной соленой воды выполнен двухсекционным, соединенным между собой нижней сообщающей трубой с промежуточным клапаном для регулирования потока воды, снабжен концентратором солнечного излучения, выполненный в виде линзы Френеля так, чтобы вся фронтальная поверхность плавучего испарителя размещена вблизи фокусной плоскости линзы Френеля, обеспечивающей плотности концентрированного солнечного излучения, определяемого условием

$$W/S \geq W_k + W_{исп},$$

где W/S – плотность энергии солнечного излучения на поверхности плавучего испарителя, S - площадь поверхности плавучего испарителя; W_k - энергии нагрева воды до кипения; $W_{исп}$ - энергия для испарения воды.

Совокупность показанных отличительных признаков позволяет достигать технического результата, а именно повышению эффективности или производительности опреснителя воды.

6.3. Результаты исследования и их обсуждение

Пример опытного изготовления предложенного солнечного опреснителя воды заключается в следующем. Плавучий испаритель с пористостью от 5% до 80% изготовлен из металлокерамического сплава, выпускаемого промышленностью в виде листов [22]. Диаметр дискообразного плавучего фильтра составлял $\Delta x_o = 30$ мм, толщина пластины испарителя $d_{пл} \approx 1$ мм, толщина металлического слоя из меди $d_{мо} \approx 0,01$ мм и толщина металл-оксидного антиотражающего слоя (оксид нитрида титана) $d_{мо} = 0,1 \times 10^{-3}$ мм (рис. 4). Слои металла из меди и оксида нитрида титана на поверхность пластины из пористого металлокерамического материала нанесены методом вакуумного термического испарения на вакуумной установке ВУП-5М. Диаметр перпендикулярных к поверхности отверстий составляет $\Delta x_{o2} = 0,1 \div 1,0$

мм, а среднее расстояние между такими отверстиями $\Delta x_{01} \geq 0,1 \div 2,0$ мм. В качестве концентратора использован линза Френеля прямоугольной формы 110×179 мм² толщиной 1,2 мм. Рабочая ёмкость 1 для соленой воды представлял собой мензурка 0,5 л с диаметром 3 мм, первичная ёмкость 1,5 л. Взаимно соединяющая труба 7 с клапаном 8 (рис. 1) позволяла неподвижно держать плавучий испаритель 2 в наиболее верхней части рабочей ёмкости 1 вблизи фокусной плоскости линзы Френеля.

Проведены опыты по получению пресной воды при использовании опытного (лабораторного) образца предложенного солнечного опреснителя с различными размерами вертикальных отверстий плавучего испарителя. При этом процесс опреснения воды осуществлялся под освещенностью симулятора солнечного излучения установки «EDIBON» (Computer Controlled Photovoltaic Solar Energy Unit. Edibon, Spain, 2018) в течение времени экспозиции 30 минут. Варьирование освещенности выполнялось в диапазоне от 0,5 до 4 кратного солнечного излучения. В конце каждого опыта определена масса полученной пресной воды, и результаты введены в табл. 1, табл. 2 и табл. 3.

Таблица 1

Количество полученной пресной воды при использовании опытного образца солнечного опреснителя с различными размерами вертикальных отверстий плавучего испарителя под освещенностью симулятора солнечного излучения установки «EDIBON» в течение времени экспозиции 30 минут

№		КСИ, крат.	$\Delta x_{01}, \geq \text{мм}$				$\Delta x_{02}, \text{мм}$			
			0,1	0,5	2,0	2,5	0,1	0,5	1,0	1,5
1	Масса пресной воды, Г	0,5	23	26	25	16	24	25	26	18
2		1	46	52	50	40	45	52	50	41
3		2	83	88	87	81	81	88	87	82
4		4	114	122	121	106	112	122	123	107

Таблица 2

Количество полученной пресной воды при использовании опытного образца солнечного опреснителя с разными параметрами материала плавучего испарителя под освещенностью симулятор солнечного излучения установки «EDIBON» в течение времени экспозиции 30 минут

№		КСИ, крат.	Пористость, %				Толщина слоя металла d_{mo} , мм			
			20	40	60	80	0,001	0,005	0,01	0,05
1	Масса пресной воды, Г	0,5	23	25	26	17	24	25	26	18
2		1	46	51	51	39	45	52	50	41
3		2	83	87	88	78	81	88	87	82
4		4	109	122	121	102	112	122	123	107

Таблица 3

Количество полученной пресной воды при использовании опытного образца солнечного опреснителя с разными параметрами вертикальных отверстий в пластине плавучего испарителя под различной освещенностью симулятором солнечного излучения установки «EDIBON» в течение времени экспозиции 30 минут

№		КСИ, крат.	Количество отверстий / Относительная площадь отверстий, шт. / %				
			49 / 5	100 / 10	200 / 20	300 / 30	400 / 40
1	Масса пресной воды, Г	1	33	53	54	53	40
2	Масса пресной воды, Г	4	106	122	124	123	108

Сопоставление полученных данных, приведенных в табл. 1 и табл. 2 позволяет определить следующие факты. Наилучшие результаты, т.е. высокие эффективность и производительность опреснения воды достигнуты при использовании плавучего испарителя, выполненного из металло-керамического материала с пористостью от 40% до 60%. При этом на поверхность плавучего испарителя нанесен металлический слой толщиной от 1,0 мкм до 10,0 мкм под поглощающим тонким слоем оксида нитрида титана. Плавучий испаритель также содержит множество сквозных отверстий с диаметром

от 0,1 мм до 1,0 мм, ориентированных перпендикулярно к его поверхности, причем, в опытах площадь отверстий составляла от 5% до 40% общей фронтальной поверхности испарителя 2 (табл. 3). Определено, что оптимальная площадь вертикальных отверстий для получения наибольшего объема пресной воды составлял от 10% до 30%.

В то же время путем повышения уровня концентрирования и выбора соответствующей плотности вертикальных отверстий в плавучем испарителе можно существенно увеличит производительность солнечного опреснителя воды. Основываясь на отмеченных результатах и заключениях можно констатировать, что предложенный солнечный опреснитель воды соответствует критерию промышленной применимости.

Таким образом, предложен «Солнечный опреснитель воды», состоящий из ёмкостей для исходной соленой и опресненной вод, пористый плавучий испаритель с поверхностным поглощающим слоем из оксида нитрида титана, прозрачный корпус с проточным каналом для конденсированной воды [22]. Предложенный солнечный опреснитель воды отличается тем, что пористый плавучий испаритель выполнен из металлокерамического материала с пористостью от 40% до 60% и поверхностным металлическим слоем с толщиной от 1,0 мкм до 10,0 мкм под поглощающим слоем оксида нитрида титана и содержит множество сквозных отверстий с диаметром от 0,1 мм до 1,0 мм, ориентированных перпендикулярно к его поверхности, покрывающих от 10% до 30% поверхности, емкость для исходной соленой воды выполнена двухкамерной, соединенной между собой нижней сообщающей трубой с промежуточным клапаном для регулирования потока воды, снабжен концентратором солнечного излучения в виде линзы Френеля, причем вся фронтальная поверхность плавучего испарителя размещена вблизи фокусной плоскости линзы Френеля.

Заключение

1. Проанализировано состояние обеспечения пресной водой стран Центральной Азии и выделены актуальные задачи, для решения которых целесообразно принимать первостепенные меры.

2. Выполнен обзор традиционных и инновационных способов получения пресной воды, обсуждены их сущности, показаны преимущества и имеющиеся ограничения. Показаны особенности бытовых и промышленных опреснительных систем.

3. Сопоставлены физические, технические, экономические и экологические характеристики различных инновационных способов получения пресной воды. Показаны и обоснованы преимущества использования солнечного излучения для процессов получения пресной воды.

4. В результате критического анализа существующих в настоящее время инновационных способов получения пресной воды с использованием энергии солнечного излучения предложен и разработан новый способ, и точнее устройство для получения пресной воды.

5. Проведено экспериментальное исследование по разработке солнечного опреснителя воды и показаны преимущества, высокая производительность и перспективы применения нового солнечного опреснителя воды в странах ЦА.

6. В отличие от известных аналогов, предложенный новый по технической сущности и промышленно применимый солнечный опреснитель воды с высокой эффективностью и производительностью может служить в качестве дешевого и легкодоступного устройства для получения пресной воды из морской соленой или загрязненной воды.

7. Используя принцип работы и совокупность отличительных признаков разработанного опреснителя воды, существует возможность создать промышленные, комплексные и автономные системы получения пресной воды с высокой эффективностью и производительностью.

Список литературы

1. H.A. Chandanpurkar, J.S. Famiglietti, K.Gopalan, D.N. Wiese, Y. Wada, K.Kakinuma, J.T. Reager, and F.Zhang Unprecedented continental drying, shrinking freshwater availability, and increasing land contributions to sea level rise. // Science Advances, 25 Jul 2025, Vol 11, Issue 30. PP. 1-14. DOI: 10.1126/sciadv.adx0298

2. Винокуров, Е. (ред.), Ахунбаев, А., Чуев, С., Адахаев, А., Сарсембеков, Т. (2024). Питьевое водоснабжение и водоотведение в Центральной Азии. Доклад 24/5. Алматы: Евразийский банк развития.
3. Анна Кузьминчук Опреснение морской воды. // <https://ecosoft.ua/ua/blog/opresnenie-morskoy-vody/>.
4. Рынок технологий опреснения морской воды. URL: http://www.cleandex.ru/articles/2015/08/15/seawater_desilination_market
5. Б.Б. Танганов Морская вода и проблема ее опреснения. // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 90-92.
6. В.Н.Слесаренко Опреснение морской воды. М.: Энергоатомиздат, 1991. -278 с.
7. В.А. Иванов Новые возможности разделения веществ на ионитах со слабокислотными группами. Автореферат дисс. на соискание уч. Степ. доктора химических наук по спец.: 02.00.04- физическая химия. 2000, Москва. - 49.
8. Смирнова Е.Е. Методы опреснения морской воды. // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ», № 1 (22) Т.2. Январь 2020 г. С. 249-252.
9. Бытовые и промышленные способы и методы опреснения воды. <http://vodopodgotovka-vodi.ru/opresnenie-vody/bytovye-i-promyshlennye-sposoby-i-metody-opresneniya-vody>
10. Соколов Леонид Иванович, Коняхин Анатолий Васильевич Солнечный опреснитель. // Патент RU 150 516 (Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5).
11. Чэнь Илун, ЯН Цинпин, ЧЖАН Яньфын Устройство для опреснения морской воды и способ применения солнечной энергии для непрерывной подачи тепла. // Патент RU 2 603 799 (27.11.2016 Бюл. № 33).
12. Solar desalinization plant. // Patent No.: US 8.246,786 (Aug. 21, 2012).
13. Solar desalination system. // Patent No.: US 8,341,961 (Jan. 1, 2013).
14. Seawater, brine or sewage solar desalination plant, and desalination method. // Patent No.: US 9.623,344 (Apr. 18, 2017).

15. Solar desalinization plant. // Patent Application Publication No.: US 2011/0048921 (Mar. 3, 2011)

16. Алхарбави Насир Тавфик Алван Экспериментально теоретическое исследование опреснения воды с использованием солнечной энергии. Дисс. на соискание уч. степ. канд. тех. наук по спец.: 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии. «Екатеринбург – 2021». -207 с.

17. О.С. Басаргин, П.А. Жирков Автономный солнечный опреснитель морской воды. RU № 2 646 004. Опубликовано: 28. 02. 2018, Бюл. № 7.

18. А.И. Попов, С.Е. Щеклеин Солнечный опреснитель с параболоцилиндрическими отражателями Патент RU № 2668349. Опубликовано: 27. 09. 2018, Бюл. № 27.

19. Л.И. Соколов, А.В. Коняхин Солнечный опреснитель воды. // Патент RU

20. (11) 150 516(13) U1. Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5.

21. Naseer T. Alwan, S.E. Shcheklein, Obed M. Ali Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia. // Materials Today: Proceedings. Volume 42, Part 5, 2021, Pages 2076-2083.

22. Обессоливание воды - методы, наиболее популярные. // <https://www.bwt.ru/useful-info/obessolivanie-vody-metody-naibolee-populyarnye/>

23. П.Г. Кудрявцев Основные пути создания пористых композиционных материалов. // Nanotechnologies in construction. 2020; 12 (5): С. 256–269.

24. Aliyev X., Mamajanov M., Aliyev R. Солнечный опреснитель воды. Patent UZ № FAP 2758 (25.06.25).

© Алиев Х., Алиев Р.

УДК 519.6, 004.8

DOI 10.46916/09092025-9-978-5-00215-466-1

Глава 14.
**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ
БРОСКА МАЛОГО МЯЧА С ПОМОЩЬЮ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Катаева Лилия Юрьевна

д.ф.-м.н., профессор

Нижегородский институт путей сообщения –
филиал ФГБОУ ВО «Приволжский государственный
университет путей сообщения»

Аннотация: В данной работе представлена интеллектуальная система компьютерного анализа и оптимизации техники метания малого мяча, предназначенная для использования в учебно-тренировочном процессе. Архитектура комплекса включает связку таких модулей как предварительная обработка изображений и аугментация, детекция и извлечение 17 ключевых точек тела человека с помощью YOLOv11-Pose. Биомеханический блок, вычисляющий суставные углы, поступательные и угловые скорости и регрессионной модели для прогноза начальную скорость малого мяча и угла вылета и на их основе оценки дальность броска. Оптимизационный модуль системы формирует персональные рекомендации при ограничении физиологически допустимых изменений позы, а интерактивная подсистема визуализации, накладывающая «исходный» и «оптимальный» скелеты на видеокадр и выводит в виде текста подсказки. Для обучения системы использовалась экспериментальная выборка, которая включает 4 000 авторских снимков и более 60 000 кадров открытых датасетов, размеченных по COCO-формату. При тестировании на GPU RTX 2060 модель достигла Accurasy=86,25%, F1=0,86 и средней скорости 45 fps, что обеспечивает практически-реальное время отклика. Корреляция между прогнозируемой и фактической дальностью броска составила $r=0,87$ ($p < 0,01$), подтверждая адекватность используемой биомеханической

модели. Разработанное решение демонстрирует потенциал интеграции методов глубокого обучения и биомеханики в образовательную практику, повышая объективность диагностики, мотивацию занимающихся и эффективность тренировочного процесса. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением спектра анализируемых двигательных действий, учётом аэродинамических факторов и внедрением нейросетевых алгоритмов генерации рекомендаций нового поколения.

Ключевые слова: нейросетевые технологии, видеоаналитика, метание мяча.

MODELING AND AUTOMATIC EVALUATION OF SMALL BALL THROW PARAMETERS USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

Kataeva Liliya Yurievna

Abstract: This paper presents an intelligent system for computer-based analysis and optimisation of small-ball throwing technique intended for educational and training use. The architecture combines several modules: image pre-processing and augmentation, detection and extraction of 17 human body keypoints using YOLOv11-Pose, a biomechanical block that calculates joint angles as well as linear and angular velocities, and regression models that predict the ball's initial velocity and release angle to estimate throwing distance. The optimisation module generates personalised recommendations within physiologically permissible posture changes, while the interactive visualisation subsystem overlays the “current” and “optimal” skeletons on the video frame and outputs textual cues. The system was trained on an experimental dataset containing 4 000 proprietary images and more than 60 000 frames from open datasets, all annotated in COCO format. When tested on an RTX 2060 GPU, the model achieved an accuracy of 86.25 %, an F1-score of 0.86, and an average processing rate of 45 fps, providing near-real-time response. The correlation between the predicted and actual throwing

distances was $r = 0.87$ ($p < 0.01$), confirming the adequacy of the biomechanical model used. The proposed solution demonstrates the potential of integrating deep-learning methods with biomechanics in educational practice, enhancing diagnostic objectivity, learner motivation, and training efficiency. Future research will focus on expanding the range of analysed motor actions, accounting for aerodynamic factors, and implementing next-generation neural algorithms for recommendation generation.

Key words: neural network technologies, video analytics, ball throwing.

Введение

В последние годы наблюдается значительный прогресс в области компьютерного зрения и глубокого обучения, что существенно расширило возможности автоматизированного анализа двигательной активности человека. Эти достижения приобретают особую значимость в спортивной и реабилитационной практике, где необходима не только объективная и точная, но и оперативная оценка техники выполнения упражнений [1].

Традиционные методы анализа движений, основанные преимущественно на визуальном наблюдении и субъективной оценке тренеров, постепенно уступают место современным цифровым технологиям, способным обеспечивать количественные, воспроизводимые и масштабируемые результаты. Это способствует повышению качества и эффективности тренировочного процесса, позволяя более точно выявлять ошибки, оптимизировать тренировочные программы и снижать риск травматизма. Классические подходы к оценке техники спортсменов зачастую опираются на визуальный контроль и субъективные суждения специалистов, что ограничивает объективность и воспроизводимость результатов. В то же время внедрение цифровых технологий и методов компьютерного зрения открывает новые возможности для получения количественных данных о движениях, что существенно расширяет потенциал анализа и оптимизации тренировочного процесса. В частности, автоматизированный анализ позы человека с использованием нейросетевых моделей позволяет выявлять даже незначительные отклонения в технике, которые могут

существенно влиять на эффективность и безопасность выполнения упражнений.

Современные нейросетевые архитектуры доказали свою высокую эффективность в решении задачи 2D-локализации ключевых точек человеческого тела, что является основой для построения скелетных моделей и последующего биомеханического анализа. Среди таких решений выделяется OpenPose, основанный на полях парной аффинности, который обеспечивает надежное и точное определение положения суставов и сегментов тела в пространстве, что позволяет детально анализировать технику выполнения движений [2]. OpenPose стал одним из первых широко применяемых инструментов, способных в реальном времени выделять ключевые точки тела, значительно расширив возможности мониторинга и анализа спортивных движений.

Модель HRNet отличается способностью сохранять высокое пространственное разрешение признаков даже при наличии выраженных окклюзий, что особенно важно при анализе динамичных и сложных движений в реальных условиях [3]. В отличие от традиционных архитектур, HRNet поддерживает параллельное извлечение признаков на различных масштабах, что повышает точность локализации ключевых точек и устойчивость к частичным перекрытиям.

Архитектура Stacked Hourglass реализует иерархическую обработку признаков, способствуя уточнению координат суставов и повышению точности локализации [4]. Такой подход позволяет многократно перерабатывать информацию, улучшая детализацию и снижая ошибки в определении позы.

Для более детального и плотного пиксельного описания поверхности тела эффективной оказалась модель DensePose, способная работать в неструктурированных условиях съёмки («in-the-wild») [5]. Это значительно расширяет возможности анализа вне лабораторных условий и приближает систему к реальным сценариям использования, где освещение, фон и позы могут быть разнообразными и непредсказуемыми.

DensePose позволяет не только локализовать ключевые точки, но и восстанавливать плотное соответствие между изображением и 3D-

моделью тела, открывая новые горизонты для биомеханического анализа и визуализации.

Важным аспектом оценки техники метания является не только анализ позы спортсмена, но и детекция и сопровождение спортивного снаряда — малого мяча. Одним из наиболее популярных и эффективных решений для обнаружения объектов в режиме реального времени является однопроходная модель YOLO, которая обеспечивает высокую скорость обработки без существенной потери точности, что особенно важно для приложений с ограниченными вычислительными ресурсами и требованиями к быстрому отклику [6]. YOLO позволяет одновременно обнаруживать множество объектов и классифицировать их, что делает её универсальным инструментом для спортивного анализа.

Для повышения устойчивости обучения в условиях классового дисбаланса применяются фокусированные функции потерь (Focal Loss), смещающие акцент обучения на сложные для классификации примеры и снижая влияние легко распознаваемых объектов [7].

Внедрение остаточных блоков ResNet способствует стабилизации градиентных потоков в глубоких нейросетях, улучшая качество обучения и обобщающую способность моделей [8].

Эти методы позволяют создавать более устойчивые и точные системы детекции, способные эффективно работать в сложных условиях съёмки и с разнообразными объектами.

В последние годы появилась новая ветвь семейства YOLO — модель YOLOv11-Pose, оптимизированная для детекции позы человека. Она объединяет преимущества top-down подхода к локализации ключевых точек и принципы одношаговой детекции, обеспечивая высокий баланс между скоростью обработки и точностью. Дополнительным достоинством YOLOv11-Pose является возможность дообучения на пользовательских датасетах, что делает её универсальным решением для приложений, где важна как быстрая реакция системы, так и высокая точность трекинга. Это особенно актуально для спортивных задач, где условия съёмки и особенности движений могут значительно варьироваться. Тем не менее анализ позы и трекинг мяча сами по себе не обеспечивают всестороннюю характеристику бросковых движений.

Для полноценной оценки необходимо количественно определять кинематические параметры выпуска: начальную скорость мяча, углы наклона ключевых частей тела, высоту выброса и другие параметры, влияющие на дальность полёта с учётом аэродинамических и антропометрических поправок [9]. Эти параметры являются критически важными для понимания эффективности техники и прогнозирования результатов.

Большинство существующих систем ограничивается контролем правильности выполнения движений и, как правило, не осуществляет прогноз дальности броска или генерацию индивидуальных рекомендаций для спортсменов, что снижает их практическую ценность. Для решения этих задач в спортивной биомеханике всё шире применяются методы машинного обучения, позволяющие создавать персонализированные модели движений спортсменов [10]. Такие модели учитывают индивидуальные особенности атлетов, что повышает точность диагностики и эффективность тренировочного процесса. В частности, интеграция глубоких нейросетей с биомеханическими моделями открывает новые возможности для автоматизированного анализа и оптимизации техники, способствуя развитию адаптивных систем поддержки принятия решений в спорте. Это позволяет не только выявлять ошибки, но и предлагать конкретные рекомендации, адаптированные под физические и технические особенности каждого спортсмена.

Целью настоящей работы является разработка интегрированного программно-аппаратного комплекса, объединяющего высокоточную 2D/3D-оценку позы человека (с использованием OpenPose [2], HRNet [3]), трекинг мяча (на базе YOLO [6]), физическое моделирование траектории полёта и модуль выдачи персонализированных рекомендаций. Такой комплекс обеспечивает высокую точность и устойчивость работы системы в полевых условиях, что делает его перспективным инструментом для учебно-тренировочного процесса и спортивной практики. Интеграция различных технологий позволяет получить комплексный анализ техники, значительно расширяя возможности тренеров и спортсменов.

Перспективы дальнейшего развития данной области связаны с расширением спектра анализируемых движений, учётом аэродинамических факторов и внедрением нейросетевых алгоритмов нового поколения для генерации рекомендаций. Это позволит повысить объективность оценки и эффективность тренировок, а также расширить возможности применения систем искусственного интеллекта в спорте и реабилитации. В будущем возможно создание полностью автономных систем, способных в реальном времени анализировать технику, прогнозировать результаты и адаптировать тренировочный процесс под индивидуальные потребности спортсменов, что откроет новые горизонты в спортивной науке и практике.

Материал и методы исследования

Архитектура системы оптимизации техники броска малого мяча представляет собой последовательную интеграцию специализированных модулей, каждый из которых выполняет важную функцию: от подготовки изображений до формирования рекомендаций и визуализации результатов.

На первом этапе происходит предварительная обработка, осуществляется масштабирование до единого разрешения, нормализация цветовых каналов для компенсации неравномерного освещения, фильтрация шумов с целью улучшения чёткости контуров и коррекция яркости и контраста для повышения информативности.

Далее модуль детекции позы на основе модели YOLOv11 Pose определяет двумерные координаты ключевых точек тела человека, бросающего мяч, и формирует графовое представление скелета, которое служит входом для биомеханического анализа.

В рамках биомеханического модуля вычисляются углы между сегментами тела, скорости движений и параметры траектории броска, после чего полученные значения сопоставляются с эталонными величинами для оценки отклонений от оптимальной техники. На основании выявленных расхождений генерируется набор рекомендаций, упорядоченных по степени их влияния на дальность и точность броска, что позволяет спортсмену и тренеру сконцентрироваться на наиболее значимых коррекциях.

Для наглядности и удобства восприятия система включает модуль визуализации и рекомендаций, который отображает текущие и оптимальные положения ключевых точек, сравнительные графики угловых величин и траектории движения. Интерфейсный модуль кроссплатформенный GUI для веба, десктопа и мобильных устройств. Физически весь комплекс развёрнут на серверной платформе Ubuntu 22.04, Python 3.8, PyTorch 1.10, OpenCV 4.5, NumPy 1.23, SciPy 1.9, GPU RTX 2060 (6 ГБ).

Экспериментальный датасет формировался из двух частей. Первая часть состояла из собранной собственной выборки из 4000 изображений и коротких видеороликов, кадрированных до одиночных кадров броска малого мяча, записанных в спортивных залах и на открытых площадках.

В съёмках участвовали: 12 студентов начального уровня подготовки, а также 8 спортсменов, специализирующиеся на метании снарядов. Съёмка велась тремя камерами GoPro Hero 11 (50 fps, 270 fps в режиме slow-motion) под углами 0° , 45° и 90° к плоскости броска. Каждое изображение размечалось вручную по 17 ключевым точкам (COCO-format). Дополнительно использованы COCO train2017 (8 изображений для калибровки), Pose Estimation Dataset (~60 000 кадров) и 120 кадров профессиональной съёмки.

Общая статистика датасета: 1750 истинно положительных, 1700 истинно отрицательных, 360 ложноположительных, 190 ложноотрицательных; дисбаланс классов компенсировался последующим Focal Loss [7]. Таким образом, имеем общую точность 86,25%(>85%), полноту 90,21%(≥90%) и точность предсказания 82,94%(≥80%) и F1-меру 0,86.

Визуальный анализ (рис.1) подтверждает высокую достоверность идентификации положения студента (mAP 0,84-0,91), что позволяет формировать точный граф кинематической структуры даже при динамичных движениях. Как видно из рис.1 а и рис.1 б при загрузке с систему изображения человека, в данном случае использовались контуры человека бросающего мяч, на выходе система выделяет вершины графа цветными маркерами в виде точек, определяющих основные суставы и линий, соединяющие их. Результаты обработки

экспериментальных данных по конкретному студенту представлены на рис.1 с, а на рис. 1 d показаны значения координат ключевых точек, необходимых для решения задачи оптимизации для максимизации дальности броска.

Для минимизации влияния посторонних факторов (освещённость, различие ракурсов, вариативность расстояния до объекта) к каждому кадру применялся конвейер, включающий нормализацию геометрии – ресайз до 640×640 px с сохранением соотношения сторон; фотометрические трансформации – автогистограммное выравнивание, стохастическое $\pm 20\%$ яркости, $\pm 15\%$ контраста и геометрические аугментации – случайные повороты $\pm 15^\circ$, масштабирование 0.8–1.2×, горизонтальные флипы (вероятность 0.4), добавление гауссова шума ($\sigma = 5\text{--}15$). Таким образом, за счёт аугментации объём обучающей выборки увеличился почти в три раза, что положительно отразилось на стабильности работы модели с реальными снимками.

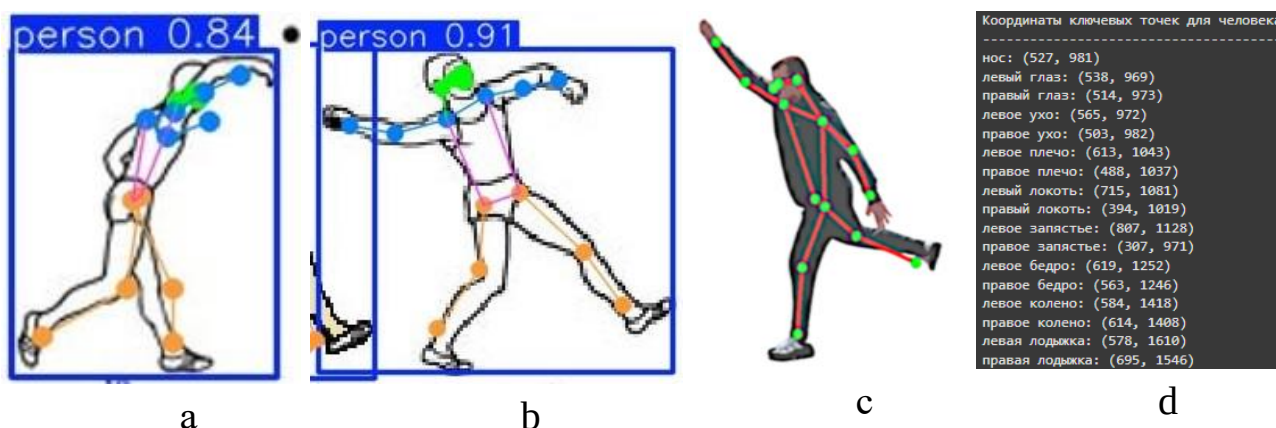


Рис. 1. Использование YOLOv11-Pose для создания графа и определения положения частей тела студента при броске

Для блока фиксации в качестве базовой сети выбрана YOLOv11-Pose – эволюция семейства YOLO с интегрированным top-down механизмом оценки ключевых точек. Ее преимущества заключаются в гибкости, наличии единого тензора выхода (координаты $\{x,y,s\}$ 17 точек выводятся вместе с объектными боксами) и соотношении баланса скорости и точности (до 45 fps на RTX 2060 при $mAP@50 \approx 0.87$). Аналитический блок осуществляет конвертацию данных позо-оценки в набор биомеханических параметров и рассчитывает теоретическую

дальность броска и осуществляет адаптацию модели под конкретного человека. Координаты 17 ключевых точек $P_i=(x_i, y_i)$ формируют ориентированный граф $G(P, E)$. Для каждой биомеханически значимой тройки $\langle P_i, P_j, P_k \rangle$ вычисляется угол для j -го сустава $\theta_j = \arccos\left(\frac{|\vec{P_i P_j} \cdot \vec{P_j P_k}|}{|\vec{P_i P_j}| \cdot |\vec{P_j P_k}|}\right)$. Наиболее важными для определения биомеханических характеристик являются углы в локтевых, плечевых, тазобедренных суставах, а также наклон туловища [11], именно они и являются ключевыми для рассматриваемой задачи. Полученный вектор $x = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$, подаётся в регрессионные функции: $v_0 = f_v(x) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \theta_j + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m \beta_{jk} \theta_j \theta_k$, $\alpha = f_\alpha(x) = \gamma_0 + \sum_{j=1}^m \gamma_j \theta_j$.

Коэффициенты β, γ восстанавливались по методу наименьших квадратов на паре «переменные θ – фактическая дальность», полученной в камере дальномера (лазерный рулет 120 м, точность ± 2 мм).

Для вычисления дальности использовалась классическая баллистическая формула без учета сопротивления воздуха $R = \vartheta_0^2 \sin(2\alpha) / g$, ускорение свободного падения $g=9.81$ м/с.

Корреляционный анализ «теория – практика» на 20 участниках показал $r=0.87$; $p<0.01$. Значения координат ключевых точек, получивших уникальные номера и отражающих положения тела человека при броске передаются в модуль решения задачи оптимизации.

Рекомендательный блок и задача оптимизации ориентирован на нахождение наиболее оптимального положения позы, позволяющее получить наибольший прирост по дальности броска малого мяча при ограничениях физиологической доступности к изменению параметров, таким образом, оптимальный вектор параметров $x_{opt} = \arg(\max_{x \in X} \{R(x) | d(x, x_{curr}) \leq \delta, |\theta_j^{opt} - \theta_j^{curr}| < 5^\circ\})$, определяет X – множество допустимых значений параметров, $R(x)$ – прогнозируемая дальность броска при параметрах x , x_{curr} – текущие параметры техники студента, $d(x, x_{curr})$ – расстояние между векторами параметров, δ – пороговое значение, ограничивающее величину рекомендуемых изменений. Решение задачи оптимизации осуществлялось градиентным спуском с адаптивным шагом (Adam, LR $1 \cdot 10^{-2}$).

Результаты аналитического решения задачи оптимизации, показаны на рис. 2. Результатом работы рекомендательной части блока является краткий текстовый отчёт и изображение, на котором «старый» и «оптимальный» скелеты наложены разными цветами, как показано на рис. 3 с текстовыми рекомендациями. Это облегчает однозначную идентификацию в отчёте и улучшает читаемость рекомендаций и как следствие позволяет преподавателю и обучающемуся хорошо ориентироваться в актуальных и целевых позициях.

В качестве основного инструмента оценки точности обнаружения ключевых точек тела использовался специально подготовленный встроенный набор данных, состоящий из 1000 изображений, на которых изображены люди в различных позах и условиях освещения. Все изображения были тщательно аннотированы экспертами, которые указали точные координаты 17 ключевых точек тела, что обеспечило высокую репрезентативность и точность исходных меток.

Эффективность системы оценивалась с помощью стандартных метрик, широко применяемых в области компьютерного зрения. Использовались показатели РСК (Percentage of Correct Keypoints), при пороговом значении, равном 0.2 от длины соответствующей части тела. Эта метрика позволяет объективно судить о точности локализации ключевых точек. Метрика OKS (Object Keypoint Similarity) обеспечивает комплексную оценку совпадения предсказанных и истинных координат, учитывая масштаб и взаимное расположение точек.

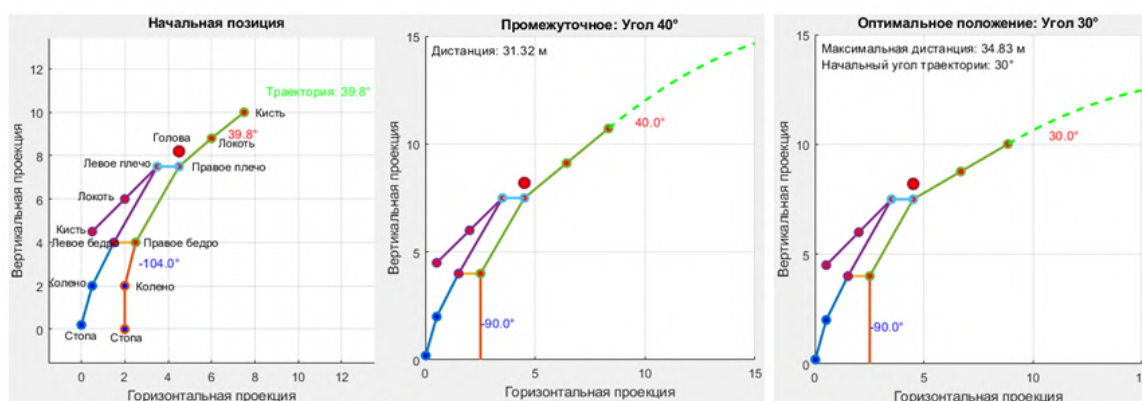


Рис. 2. Визуализация положения тела человека при решении задачи максимизации дальности броска малого мяча по упрощенной физико-математической модели (получено автором)



**Рис. 3. Совмещение исходного и рекомендательного графов
положение тела при броске с текстовыми рекомендациями
в окне диалога**

Результаты экспериментов подтверждают высокую эффективность разработанной системы анализа позы, так средняя точность обнаружения ключевых точек достигла значения 0,89 по метрике РСК при пороге 0,2, что сопоставимо с показателями современных коммерческих решений, используемых в области компьютерного зрения и спортивного анализа и позволяет надежно локализовать важные анатомические точки даже в условиях вариативности поз и освещенности. Дополнительно, средняя ошибка при измерении углов составила $3,2 \pm 0,8$ градуса. Этот показатель находится в пределах допустимых границ для практического применения, что подтверждает точность системы в оценке динамических движений и поз. Экспериментальная проверка блока фиксации показала высокую точность (Assurance = 86,25%, F1 = 86,42%), а математическая модель рекомендательного блока, интегрирующая метод k-NN с физической моделью броска, продемонстрировала высокую корреляцию с фактическими результатами ($r = 0,87$, $p < 0,01$). Комплексное тестирование системы анализа и оптимизации техники броска мяча, выполненное в реальных условиях с участием студентов, показало высокую точность детекции позы ($РСК@0.2 = 0,893 \pm 0,014$; средняя ошибка локализации – $3,7 \pm 0,8$ px; точность критически важных точек –

0,912 ± 0,011) и производительность 18,3 ± 1,2 изображений/с. При трёх экспериментальных бросках фактическая дальность (23,7 → 29,2 м) в среднем превысила прогноз на 23,2%, что подтверждает надёжность рекомендательного блока. Анкетирование показало, что 73% студентов удовлетворены удобством и доступностью системы, подчёркивая её объективность, наглядность рекомендаций и возможность самостоятельной отработки техники без постоянного присутствия тренера. Система обеспечивает персонализацию тренировочного процесса через формирование индивидуальных рекомендаций, учитывающих биомеханические особенности студента, и адаптирует педагогические воздействия в режиме реального времени. Следует отметить, что в данной системе использовалась упрощенная модель и в перспективе существует возможность включить расширение спектра анализируемых движений, интеграцию дополнительных биомеханических параметров и совершенствование алгоритмов рекомендаций.

Заключение

Разработанная система компьютерного анализа техники метания малого мяча демонстрирует высокую прикладную эффективность и научную значимость для современного физического воспитания. Экспериментальные испытания подтвердили, что модуль детекции на базе YOLOv11-Pose достигает точности Accuracy=86,25 % и F1-меры=0,86, а блок генерации рекомендаций, основанный на градиентном спуске с адаптивным шагом (Adam), демонстрирует высокую корреляцию с измеренными дальностями броска ($r=0,87$ при $p<0,01$). Такая точность позволяет формировать персонализированные советы, адаптированные к биомеханическим особенностям каждого спортсмена, и существенно ускорять процесс коррекции техники. Перед полноценным внедрением каждую модель необходимо откалибровать и верифицировать на данных конкретного студента, что гарантирует учёт индивидуальных антропометрических особенностей. Перспективы дальнейших исследований включают расширение набора анализируемых двигательных действий, внедрение дополнительных биомеханических

параметров и оптимизацию алгоритмов рекомендаций, что открывает широкие возможности для интеграции искусственного интеллекта в образовательную и спортивную практику.

Список литературы

1. Zhang Z., Zhang J., Wang Y. Deep Learning for Human Pose Estimation: A Review // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2023. Vol. 53. № 1. P. 253–268. DOI: 10.1109/THMS.2022.3174865.
2. Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S.E., Sheikh Y. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2019. Vol. 43. № 1. P. 172–186. DOI: 10.1109/TPAMI.2019.2929257.
3. Wang J., Sun K., Cheng T., Jiang B., Deng C., Zhao Y., Liu D., Wang M., Tang X. Deep High-Resolution Representation Learning for Human Pose Estimation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2020. Vol. 43. № 10. P. 3360–3373. DOI: 10.1109/TPAMI.2019.2929257.
4. Newell A., Yang K., Deng J. Stacked Hourglass Networks for Human Pose Estimation // Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part VIII 14. Cham: Springer International Publishing. 2016. P. 483–499. DOI: 10.1007/978-3-319-46484-8_29.
5. Güler R.A., Neverova N., Kokkinos I. DensePose: Dense Human Pose Estimation In The Wild // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2018. P. 7297–7306. DOI: 10.1109/CVPR.2018.00762.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. 2018. P. 1–6. URL: <https://arxiv.org/abs/1804.02767> (дата обращения: 27.06.2025).
7. Lin T.Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P. Focal Loss for Dense Object Detection // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2017. P. 2980–2988. DOI: 10.1109/ICCV.2017.324.
8. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and

Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.

9. Chen X., Ma H., Wan J., Li X., Xia T. Pose Estimation for Human Motion Analysis Based on Deep Neural Networks // Journal of Visual Communication and Image Representation. 2021. Vol. 78. P. 103157. DOI: 10.1016/j.jvcir.2021.103157.

10. Aresta S., Bortone I., Bottiglione F., Di Noia T., Di Sciascio E., Lofù D., Musci M., Narducci F., Pazienza A., Sardone R., Sorino P. Combining Biomechanical Features and Machine Learning Approaches to Identify Fencers' Levels for Training Support // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. Is. 23. P. 12350. DOI: 10.3390/app122312350.

© Катаева Л.Ю.

Глава 15.
ПРОЦЕССЫ АЛКИЛИРОВАНИЯ
НА ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Гусейнова Галина Анатольевна

д.т.н., доцент, главный научный сотрудник

Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева
Министерства науки и образования Азербайджанской республики

Алиева Нушаба Муса кызы

доктор философии по химии, заведующая лабораторией

Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева
Министерства науки и образования Азербайджанской республики

Гасимова Гюляр Аловсят кызы

докторант

Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева
Министерства науки и образования Азербайджанской республики

Аннотация: Описаны результаты применения различных модификаций цеолитсодержащих катализаторов в процессах алкилирования ароматических углеводородов, изобутана и низкооктановых бензинов олефинами или олефиновыми фракциями с целью получения алкилароматических продуктов и высокооктановых бензинов. Приведены результаты исследований процесса алкилирования низкоиндексных масляных фракций газами каталитического крекинга на катализаторах ZSM-5 и, модифицированном Zr, ZSM-5-ZrO₂ для улучшения вязкостно-температурных свойств (индекса вязкости) масел. Показано, что основное влияние на селективность процесса алкилирования оказывает фазовый состав катализатора и температура процесса. Исследованы фазовый состав и размер частиц катализаторов методами рентгенофазового анализа и динамического рассеяния света,

Ключевые слова: алкилирование, цеолиты, масляные фракции, индекс вязкости, рентгенофазовый анализ, динамическое рассеяние света.

ALKYLATION PROCESSES ON ZEOLITE-CONTAINING CATALYSTS

Huseynova Galina Anatolievna

Aliyeva Nushaba Musa

Gasimova Gulyar Alovsyat

Abstract: The results of the application of various modifications of zeolite-containing catalysts in the alkylation of aromatic hydrocarbons, isobutane and low-octane gasoline with olefins or olefin fractions in order to obtain alkylaromatic products and high-octane gasoline are described. The results of studies of the alkylation of low-index oil fractions by catalytic cracking gases using ZSM-5 and ZSM-5-ZrO₂ modified Zr catalysts to improve the viscosity-temperature properties (viscosity index) of oils are presented. It is shown that the main influence on the selectivity of the alkylation process is exerted by the phase composition of the catalyst and the temperature of the process. The phase composition and particle size of the catalysts have been studied by X-ray diffraction and dynamic light scattering.

Key words: alkylation, zeolites, oil fractions, viscosity index, X-ray phase analysis, dynamic light scattering.

Алкилирование в настоящее время – одно из направлений развития нефтепереработки и нефтехимии, где за последние годы появилось наибольшее число новых технологий. Исследования последних лет во всем мире направлены на создание экологически безопасных малоотходных технологий, базирующихся на эффективных гетерогенных катализаторах [1, с. 1147].

Известны процессы алкилирования ароматических углеводородов с получением алкилароматических продуктов, используемых для синтеза различных соединений. Алкилирование изобутана и бензиновых фракций олефинами на различных цеолитных катализаторах направлено на получение бензиновых фракций с высоким октановым числом.

В результате реакции алкилирования происходит совместное превращение изобутана и бутиленов с образованием бензиновых фракций, содержащих в основном изооктаны с высокими показателями октанового числа.

В качестве алкилирующего агента в основном используют этилен, пропилен, бутены, пропан-пропиленовую и бутан-бутиленовую фракции каталитического крекинга. Из индивидуальных ароматических углеводородов алкилированию подвергают бензол, толуол, п-ксилол, псевдокумол, а также смеси углеводородов – продукты нефтепереработки, как например, низкооктановые бензины каталитического крекинга. Из парафиновых углеводородов наибольшее внимание уделяется алкилированию изобутана.

Алкилирование ароматических соединений олефинами

При алкилировании ароматических углеводородов олефинами применяют цеолиты FAU, BEA, MOR, LTL, MFI [2, с. 163], [3, с. 431]. Наилучшими свойствами в процессе алкилирования бензола этиленом обладают крупнопористые цеолиты типа Y, BEA или морденит, особенно цеолит BEA, находящийся в H⁺-форме [3, с. 431], [4, с. 470], [5, с. 171], [6, с. 1320]. Как указано в работе [6, с. 1320], активность катализаторов на основе цеолита BEA для алкилирования бензола пропиленом определяется не концентрацией, а характером распределения кислотных центров в объеме цеолита. Установлено, что предпочтительной является высокая локализация центров Бренстеда внутри цеолитного кристалла. Цеолиты BEA и MFI (ZSM-5) представляют собой высококремнеземные цеолиты. Цеолит BEA имеет трехмерную систему пересекающихся каналов с двенадцатичленными кольцами. Цеолит MFI относится к среднепористым цеолитам, и его структура сформирована из линейных цепочек, соединенных четырех-, пяти- и шестичленными кольцами [7, с. 333].

Авторами [1, с. 1147], [2, с. 163] рекомендуется применять в процессах алкилирования бензола олефинами микропористый цеолит типа MWW (MCM-22). При этом алкилирование ароматических углеводородов протекает на внешней поверхности, на кислотных

центрах, располагающихся в полуполостях. Активность цеолита MCM-22 изучали при алкилировании бензола этиленом и пропиленом, толуола метанолом, фенола третбутанолом, а также для облагораживания прямогонных бензинов. Структура цеолита образована двумя типами пор, первый из которых состоит из зигзагообразных каналов, размер которых ограничен десятичленными кремнекислородными кольцами и составляет 0,55 нм. Второй тип состоит из полостей размером 0,7 x 1,8 нм, вход в которые ограничен десятичленными кольцами.

Наибольшее применение нашли цеолиты А, Х, У (тип FAU), высококремнистый ZSM-5 и морденит (тип MOR). Цеолиты У, ZSM-5 и морденит обладают универсальными свойствами и применяются во многих процессах [3, с. 431], [8, с. 274]. Цеолиты с низким содержанием кремния имеют высокую кислотность и проявляют высокую катионообменную способность, в результате чего используются в процессах адсорбции и ионного обмена. Высококремнистые цеолиты, наоборот, обладают низкими катионообменными свойствами, низкой кислотностью и большой гидрофобностью, которая играет важную роль при адсорбции неполярных соединений.

Алкилирование бензола 1-алкенами (C_6-C_{18}) проводили в жидкой фазе при температуре 160–200°C на бета-цеолитах с мольным соотношением Si/Al 12,5–75,0 [3, с. 431]. Активность алкилирования снижалась с увеличением соотношения Si/Al в бета-цеолите. Увеличение мольного соотношения Si/Al было связано с увеличением доли льюисовских кислотных центров в общей кислотности бета-цеолитов, что приводило к большей димеризующей/олигомеризующей активности и, следовательно, к более быстрой дезактивации бета-цеолитов.

Большинство цеолитсодержащих катализаторов быстро дезактивируются, что связано с образованием высокомолекулярных углеводородов, блокирующих пористую структуру и поверхностные активные центры. Поэтому наилучшими свойствами в процессе алкилирования бензола этиленом обладают крупнопористые цеолиты типа У, BEA или морденит, особенно цеолит BEA, находящийся в H^+ -форме [4, с. 470]. Катализатор H-BEA показал высокую

эффективность в реакции алкилирования бензола этиленом с селективностью по этилбензолу 80% [4, с. 470],

Процессы газофазного и жидкофазного алкилирования бензола этиленом на цеолитсодержащих катализаторах внедрены в промышленности компаниями Mobil-Badger (ZSM-5), UOP и Lummus (широкопористый цеолит типа Y), Chevron, Polimeri Europe и Mobil (цеолиты BEA и MCM-22) [8, с. 274].

В реакции алкилирования бензола пропиленом [9, с. 410] с целью получения кумола проявляют каталитическую активность такие цеолиты, как BEA, MFI и MWW. Наиболее активным оказался цеолит со структурой BEA, однако его каталитическая активность стабильна лишь при относительно больших разбавлениях пропилена бензолом (молярное соотношение бензол/пропилен 6–8). Структура MWW оказалась немного менее активной, однако она сохраняет каталитические свойства при молярном соотношении бензол/пропилен на уровне 3–4, что позволяет значительно снизить затраты энергии на рециркуляцию бензола и выделение целевого продукта.

Исследованы каталитические свойства микропористых цеолитов различного структурного типа (FAU, BEA, MOR, MFI), микро-мезо-макропористого цеолита (H-Ymm) и мезопористого алюмосиликата H-ZSM-5 в реакциях синтеза хинолинов, пиридинов и хлоралкиларенов [10, с. 437], [11, с. 8], [12, с. 581]. Установлено, что реакция идет с высокой конверсией анилина (90–99% на цеолитах и 71% на алюмосиликате ASM). Выявлено, что наиболее селективно и с высоким выходом целевые продукты образуются на катализаторах H-Beta и H-Ymm [11, с. 8]. По данным термопрограммированной десорбции аммиака, суммарная концентрация кислотных центров уменьшается в ряду микропористых цеолитов следующим образом: H-Y > H-MOR > H-Beta > H-ZSM-5 [11, с. 8], [12, с. 581].

Развитая система микропор большинства цеолитов накладывает существенные диффузионные ограничения на скорость катализируемых цеолитами реакций с участием высокомолекулярных органических реагентов. Для более эффективного использования активной

поверхности цеолитного катализатора в нем создают дополнительную систему более крупных пор заданного размера - так называемую иерархическую систему микро-мезо-макропор. Согласно данным исследований последних 10-15 лет иерархические цеолиты значительно активнее традиционных микропористых катализаторов в нефтехимических реакциях алкилирования, изомеризации, этерификации, а также в реакциях окисления органических веществ [13, с. 214].

Алкилирование изобутана олефинами и олефиновыми фракциями

На нефтеперерабатывающих предприятиях процесс алкилирования имеет наибольшую экономическую эффективность, поскольку позволяет квалифицированно использовать газообразные продукты нефтепереработки, получать стратегически важные продукты нефтехимического синтеза и улучшать качество бензинов. Известно, что алкилат, полученный в процессе алкилирования изобутана олефинами, состоит в основном из изопарафиновых углеводородов и является компонентом экологически чистых моторных топлив, повышающим их октановые числа.

На цеолитах У в Н-форме проведен процесс алкилирования изобутана бутенами в традиционных и сверхкритических условиях с целью получения компонентов экологически чистых бензинов [14, с. 410]. Проведение реакции алкилирования в сверхкритических условиях позволяет увеличить длительность работы катализаторов за счет растворения в сверхкритических флюидах продуктов уплотнения и удаления их с поверхности катализаторов. При переходе к сверхкритическим условиям также сохраняется почти полная конверсия бутенов [14, с. 410]. Установлено, что состав продуктов реакции определяется фазовым состоянием реакционной смеси, временем реакции и уровнем конверсии олефинов C_4 . Селективность образования углеводородов C_8 при проведении алкилирования в сверхкритических условиях составляет 30-40%. Наряду с алкилированием протекают параллельные процессы олигомеризации и крекинга, приводящие к образованию углеводородов $C_5 - C_7$ и C_{9+} . При увеличении времени

реакции от 180 до 240 мин преобладает реакция олигомеризации с образованием продуктов C_8 (селективность 85%), из которых 90% приходится на олефины [14, с. 410].

Автором [15, с. 12] исследована реакционная способность олефинов C_3 - C_5 в реакции алкилирования изобутана на модифицированных редкоземельными элементами (0,36-13,5%масс) цеолитах типа Y с молярным соотношением $SiO_2/Al_2O_3 = 4,6$. Активность таких катализаторов обусловлена наличием кислотных центров, образующихся при обмене катионов Na^+ , например, на катионы H^+ и Ln^{+3} . Опыты проводили в автоклаве при температуре 25-100°C и давлении, равном упругости паров при температуре реакции.

По реакционной способности олефины были расположены в ряду: изобутен>бутен>пропилен>этилен [16, с. 98]. Доля вторичного алкилирования различных олефинов возрастает в последовательности: пропилен >изобутен> пентен-1. Чем больше содержание вторичных продуктов, тем больше скорость образования циклических углеводородов и быстрее происходит дезактивация катализатора. Оптимальными условиями для лучшей активности катализатора являются температура 60°C, отношение изобутан/бутены = 7. Оптимальные условия алкилирования – температура 70°C, молярное отношение реагентов 5:1, время работы цеолита 2 ч.

Известны катализаторы, модифицированные катионами Ca^{2+} , La^{3+} , Се и др. для реакции алкилирования изобутана бутан-бутеновой фракцией [17, с. 36]. Определено, что с повышением кислотности катализатора доминирует основная реакция алкилирования и снижается доля побочных процессов. Повышение кислотности катализаторов также положительно сказывается на выходе алкилата и селективности процесса, наряду с наличием ионов La^{3+} в образцах катализатора. Наибольший выход (70%) алкилата получен на цеолите Na-Ca-La-Y при сохранении активности в течение 70ч. При этом решающее значение в обеспечении селективности принадлежит лантану при алкилировании в оптимальных условиях: температуре 90-110°C, объёмной скорости подачи углеводородного сырья 1,0-1,2 ч⁻¹, отношении изобутан: бутены - 100:1 [17, с. 36].

В процессе алкилирования изобутана олефинами исследовано влияние количества атомов алюминия в решетке цеолита, соотношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и размера элементарной ячейки на показатели активности цеолитных катализаторов. Выявлена зависимость выхода углеводородов от количества атомов алюминия в кристаллической решетке катализатора [18, с. 42], [19, с. 29]. При этом увеличение атомов кремния к количеству атомов алюминия приводит к увеличению выхода целевых продуктов C_8 .

Авторами [20, с. 29] отмечено, что с повышением кислотности фожазита преобладает основная реакция алкилирования изобутана бутан-бутиленовой фракцией и снижается доля побочных процессов. Модифицирование цеолита NaY (декатионирование и деалюминирование) приводит к увеличению выхода целевых продуктов – изомеров C_8 и подавлению реакций олигомеризации и коксообразования. Этими же авторами представлены результаты длительных пилотных испытаний катализаторов, на основе модифицированных поликатион-декатионированных цеолитов в ультрастабильной форме в процессе алкилирования с регенерацией на месте (in situ).

В работе [21, с.171] показаны результаты исследования начального механизма алкилирования C_4 на катализаторах h-[al]-bea и h-[b]-bea с более сильной и меньшей кислотностью соответственно. Было изучено образование трет-бутилкарбокатиона на цеолите h-bea на начальной стадии реакции алкилирования C_4 с использованием расчета плотности теории функционала (dft). Результаты показали, что путь переноса водорода является доминирующим при образовании трет-бутилкарбокатиона при изменении силы кислоты. Полученные данные коррелируются с экспериментальными результатами. При этом определяющие скорость этапы скелетной изомеризации и переноса гидрида изменяются, и более высокие барьеры свободной энергии гиббса достигаются за счет уменьшения силы кислоты.

Эффективность процесса алкилирования изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах зависит от реакций переноса гидрид-иона и олигомеризации [22, с.16]. Предположено, что высокий выход

алкилата и более длительная активность цеолита достигаются за счет увеличения скорости переноса гидрид-иона и соотношения изобутана к олефину.

При исследовании характеристики цеолитного катализатора BEA методами TGA-DTG, HRTEM, SEM и XRD [23, с.174] установлено, что основные активные центры реакции алкилирования C4 расположены во внутренней, а не на внешней поверхности. Определено, что внешняя поверхность обладает большей селективностью в отношении адсорбции олефинов C4, чем изобутан, что приводит к усилению реакций олигомеризации. На внешней поверхности реакция переноса гидрида не происходит, поскольку промежуточное соединение с общим атомом водорода не может быть образовано без эффекта ограничения [23, с.174].

Авторами [24] показано, что каталитическая стабильность цеолитов связана с их адсорбционной селективностью. При этом адсорбционное сродство цеолитов к C4 уменьшается с увеличением отношения Si/Al. На основании исследований установлено, что сродство адсорбции снижается с увеличением отношения Si/Al в цеолитах типа FAU, в то время как для бутена-1 снижение более очевидно. Адсорбционная способность цеолитов по отношению к изобутану и бутену-1 зависит от взаимодействия между адсорбентами и адсорбатами при низких давлениях и от эффективного объема пустот адсорбентов при высоких давлениях. Цеолиты BEA и MTW с большими отношениями PLD/LCD демонстрируют высокую каталитическую стабильность.

Высокая каталитическая активность цеолита NaX в реакции алкилирования изобутана бутиленами достигнута путем обмена катионов натрия на катионы кальция и затем на катионы лантана в условиях ультразвуковой обработки [25, с. 469].

Бензиновые фракции с высоким октановым числом получены из газов каталитического крекинга на промышленном цеолитсодержащем катализаторе Омникат-210П, модифицированном Ni, Co, Mo [26, с. 329], [27, с. 8]. При этом исследовано влияние времени контакта, температуры и объемной скорости подачи сырья на выход жидких продуктов реакции.

В работах [28, с. 959], [29, с. 6], [30, с. 228] исследована эффективная каталитическая система 0,5%Co/HZSM-5/SO₄²⁻/(2%)ZrO₂

для совместной переработки прямогонного бензина и пропан-бутановой фракции. Система обеспечивала конверсию 63 и 55% компонентов смеси C4 и C8+ соответственно и выход парафинов C5-C6 и C7 соответственно 21 и 23 масс.%. Первичная активация алканов C7+ и образование бимолекулярных интермедиатов происходят с участием активных (окислительных) центров компонента SO₄₂-/ZrO₂, а гидрорасщепление конечных продуктов – активными (кислотными) центрами N-цеолита. На основании полученных результатов сделано предположение об изомеризационно-диспропорциональных превращениях компонентов C7+ прямогонного бензина с участием каталитических систем M/H-цеолит/SO₄₂-/ZrO₂ с образованием бимолекулярного интермедиата, его изомеризацией и гидрорасщеплением (преимущественно по β-связи).

Алкилирование масляных фракций олефинами на промышленных цеолитах Цеокар-2, Цеокар-600 и Омникат 210П

В последнее время уделяется внимание исследованиям, направленным на улучшение вязкостно-температурных свойств масел в процессе алкилирования масляных фракций олефиновыми углеводородами на цеолитсодержащих катализаторах. Насыщение масляных фракций изопарафиновыми углеводородами позволяет улучшить их реологические свойства, уменьшить испаряемость, увеличить термоокислительную стабильность, а также ряд эксплуатационных показателей. Поэтому алкилирование является одним из способов увеличения изопарафиновых углеводородов за счет превращения парафинов нормального строения в изопарафины, а также направлено на алкилирование ароматических углеводородов.

Алкилирование фракции турбинного масла деценом-1 и гексеном-1 на катализаторах Цеокар-2 и Цеокар-600 привело к увеличению индекса вязкости на 8-12 ед. масляной фракции, выделенной из полученного алкилата [31, с. 56]. При этом температура застывания этой фракции не изменилась, а осталась на уровне исходного турбинного масла – минус 40°C.

Процесс алкилирования дистиллята турбинного масла сжиженными газами каталитического крекинга проведен на

катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210П [32, с. 18], [33, с. 30]. Осуществление процесса на катализаторе Цеокар-600 при 50°C, давлении 0,6МПа и соотношении масло:газы 1:1 приводит к повышению индекса вязкости дистиллята турбинного масла от 32 до 80-81. Алкилирование на катализаторе Омникат-210П в меньшей степени увеличивает индекс вязкости (от 32 до 66). Определено [34], [35, с. 666], [36, с. 1220], что в процессе алкилирования повышаются кинематические вязкости и индексы вязкости дистиллятных масляных фракций. Это происходит за счет увеличения длины и количества алкильных заместителей ароматических углеводородов посредством присоединения пропиленовых и бутиленовых звеньев олефиновых углеводородов из газов каталитического крекинга.

Проведение процесса алкилирования дистиллята индустриального масла (И-8А) газами каталитического крекинга (пропан-пропиленовой и бутан-бутиленовой фракциями) на катализаторе Цеокар-600 позволило увеличить индекс вязкости дистиллята от 79 до 146 [37, с. 26].

Реакция алкилирования сопровождается побочными реакциями крекинга, олигомеризации, ароматизации, диспропорционирования, изомеризации, дегидроциклизации и т.д., в результате которых происходит образование углеводородов различной структуры [38, с. 14]. При определенном сочетании углеводородов происходит изменение свойств масла, таких как вязкость, индекс вязкости, температура застывания. Поэтому важен подбор катализатора и условий реакции, способных вести реакцию в необходимом направлении с образованием углеводородов, обеспечивающих требуемые свойства масел. Поскольку в нефтяных маслах присутствуют парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, и все они будут подвергаться изменениям, то важно изучение превращения всех групп углеводородов в процессе алкилирования на цеолитсодержащих катализаторах.

В зависимости от применяемого цеолитного катализатора могут происходить в большей или меньшей степени реакции алкилирования, полимеризации, изомеризации, крекинга. Считается, что бренстедовские (протонные) кислотные центры в цеолитах являются активными в реакции олигомеризации, тогда как апротонные центры вызывают

побочные реакции ароматизации и коксоотложения. Установлено, что олигомеризирующая активность водородных форм цеолитов увеличивается с увеличением содержания алюминия или концентрации протонных центров. Большое значение при разработке цеолитных катализаторов имеют отношение кремния и алюминия в решетке цеолита, степень декатионирования или свойства введенных катионов, а также молекулярно-ситовой эффект, присущий цеолитам.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сказать, что цеолиты типа пентасилов (с узким размером пор) способствуют образованию менее разветвленных углеводородов и в меньшем количестве, чем высокопористые цеолиты. Кроме того, цеолиты быстро дезактивируются и при температурах порядка 200°C и выше способствуют образованию ароматических, полициклических углеводородов и смол. Последние нежелательны, т.к. как раз они дезактивируют катализатор. Модифицированные редкоземельными элементами цеолиты У в Н-форме увеличивают продолжительность работы катализаторов и селективность процесса алкилирования по изомерным продуктам. Алкилирование индивидуальных углеводородов протекает в большей степени, чем алкилирование смеси углеводородов, каковыми являются бензиновые и масляные нефтяные фракции.

Алкилирование углеводородных смесей, таких как бензиновых и масляных фракций, протекает значительно сложнее, чем индивидуальных углеводородов. Тем более, когда алкилирующим агентом являются олефиновые фракции. Этот процесс недостаточно исследован и требует дальнейшего углубленного изучения и подбора активных цеолитсодержащих катализаторов.

Алкилирование масляных фракций газами каталитического крекинга на модифицированном цеолите ZSM-5

Исследования последних лет во всем мире направлены на создание экологически безопасных малоотходных технологий, базирующихся на эффективных гетерогенных катализаторах [39]. В нефтепереработке в качестве катализаторов чаще всего применяют высококремнеземные цеолиты семейства ZSM, особенность которых состоит в низком

содержании атомов алюминия, равномерно распределенного по объему кристаллитов. Как утверждается в работе [40, с.48], в каркасах цеолитов возможны лишь связи типа Si–O–Si и Si–O–Al, тогда как связи типа Al–O–Al невозможны. Цеолиты обладают структурой, образованной из тетраэдров $[AlO_4]^-$ и $[SiO_4]$. Тетраэдр типа $[AlO_4]^-$ имеет отрицательный заряд, поскольку его количество равно числу противоионов — протонов или катионов. Чередующиеся кремнекислородные и алюмокислородные тетраэдры соединяются в трехмерных каркасных структурах цеолитов таким образом, что все атомы кислорода оказываются соединенными с двумя соседними тетраэдрами.

Кислотные свойства цеолитов можно целенаправленно регулировать, изменяя природу и концентрацию обменных катионов, мольное соотношение SiO_2/Al_2O_3 и условия термообработки. Для изменения кислотности и распределения кислотных центров в цеолитах используют частичный ионный обмен протонов H^+ на катионы или анионы. В результате такого обмена некоторые кислотные протонные центры Бренстеда превращаются в кислотные центры Льюиса. И, наоборот, замена щелочных катионов на H^+ приводит к увеличению концентрации бренстедовских кислотных центров [41, с. 8], [42, с. 121], [43, с. 155]. Часть наночастиц металлов и их окисленных структур проникает в микропоры цеолита и распределяется по поверхности катализатора, где они с координационно-ненасыщенными ионами Al кристаллической решетки образуют льюисовские кислотные центры [43, с. 155].

Каталитическую активность цеолитов можно объяснить тем, что при замещении кремния алюминием в узлах кристаллической решетки нарушается зарядовый баланс. Катионы металлов или протоны компенсируют избыточный отрицательный заряд каркаса. В зависимости от величины фактического заряда на катионе/протоне и кислороде цеолит будет проявлять кислотные или основные свойства [44, с. 6669].

Известно, что поверхность катализаторов при каталитических процессах должна иметь пористую структуру, поскольку активность, стабильность, прочность и другие физико-химические свойства

катализаторов зависят от морфологического строения (пористости) его поверхности, и в связи с этим особое внимание уделяется изучению кислотно-основных свойств их поверхности [45, с. 134]. Модифицируя катализаторы различными анионами и катионами, т.е. целенаправленно изменяя свойства поверхности, можно контролировать свойства и выход получаемого в процессе продукта. Введение ионов металлов в каркас цеолита сопровождается нейтрализацией части протонных центров (центров Бренстеда) и появлением новых льюисовских кислотных центров.

Для проведения исследований процесса алкилирования дистиллятных масляных фракций олефинами газов каталитического крекинга выбран цеолит ZSM-5 со средним размером пор (0,4–0,6 нм) С [45, с. 134], [46, с. 49], [47, с. 22]. Цель процесса алкилирования – улучшение вязкостно-температурных свойств (индекса вязкости) низкоиндексных масел. В мировой литературе практически не известны источники по алкилированию масляных фракций олефинами с целью повышения индекса вязкости низкоиндексных масел. Этот процесс был применен учеными в Азербайджане специально для улучшения вязкостно-температурных свойств масел, получаемых из азербайджанских нефтей.

Модифицирование цеолита ZSM-5 проводили 5%-ным раствором соли цирконилхлорида $ZrOCl_2 \cdot 6H_2O$ методом пропитки. При этом в фарфоровую чашку помещали 20 г катализатора ZSM-5 и добавляли 100мл 5 % раствора $ZrOCl_2 \cdot 6H_2O$. При температуре 50–60°C в течение 18 ч производили перемешивание. В дальнейшем упаривали воду при температуре 100–105°C. Далее катализатор высушивали при 110°C в течение 4 ч. Модифицированный цеолит ZSM-5- ZrO_2 прокаливали в муфельной печи при температурах 200, 400 и 550°C также в течение 4 ч.

Исследование фазового состава цеолита ZSM-5 и модифицированного цеолита ZSM-5- ZrO_2 проводилось методом рентгеновской дифракции. Поскольку структура поверхностных центров существенно зависит от температуры прокалики цеолита и природы модификатора, нами была исследована поверхность катализаторов

ZSM-5-ZrO₂, прокаленных при температурах 200, 400 и 550°C [45, с. 134], [46, с. 49], [47, с. 22].

Рентгенофазовый анализ проводили при комнатной температуре на дифрактометре X-RAY TD-3500 (производство Китая) под углом 5-90° с использованием источника пучка CuK α ($\alpha = 1,54184\text{\AA}$) и Ni-фильтра.

Спектр катализатора ZSM-5 представлен на рис. 1, на рис. 2 – спектр модифицирующей добавки – цирконилхлорида ZrOCl₂•6H₂O. Как видно из рентгенограммы цеолита ZSM-5, наибольшие максимумы составляют: 2Theta = 7,794; d = 11,334 Å; I = 78%; 2Theta = 23,082; d = 3,8502 Å; I=100%. Изучение рентгенограммы рис. 2 показывает, что образец является монофазным, имеет ромбическую структуру, а интенсивные максимумы в спектре принадлежат соли цирконилхлорида (ZrOCl₂ · 6H₂O).

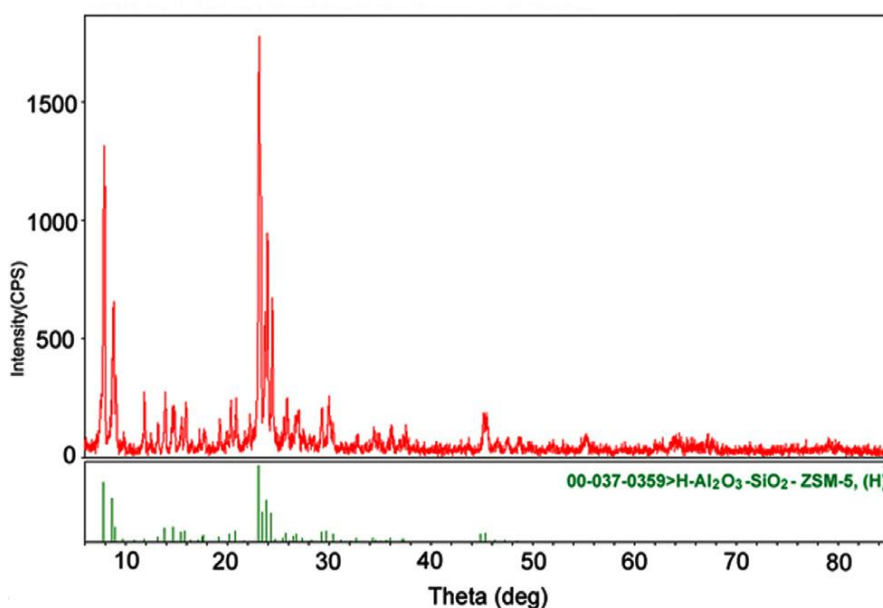


Рис. 1. Спектр цеолита ZSM-5

На рис. 3 представлены спектры модифицированного цеолита ZSM-5-ZrO₂, прокаленного при температурах 200, 400 и 550°C. Как видно из спектра катализатора, прокаленного при 200°C, кроме фазы ZSM-5, происходит образование фазы ZrSi₂₄O₉₀. Пик, характерный для фазы ZrO₂, не наблюдается. В спектрах катализатора ZSM-5-ZrO₂, прокаленного при температурах 400 и 550°C также наблюдается наличие

фазы $\text{ZrSi}_{24}\text{O}_{90}$. Эта фаза показывает, что Zr непосредственно связан с Si в структуре цеолита.

Кроме того, в спектре катализатора ZSM-5-ZrO_2 , прокаленного при 400°C , отсутствует полоса, характерная для ZrO_2 . Видимые фазы те же, что и для катализатора, прокаленного при 200°C . Как видно из рентгенограммы катализатора ZSM-5-ZrO_2 , прокаленного при температуре 550°C , в этот раз наблюдается появление пиков, соответствующих новой фазе, связанной с ZrO_2 (рис. 3). Фазы, содержащей Al и Zr, не было обнаружено, что возможно связано с низким содержанием Al в составе цеолита.

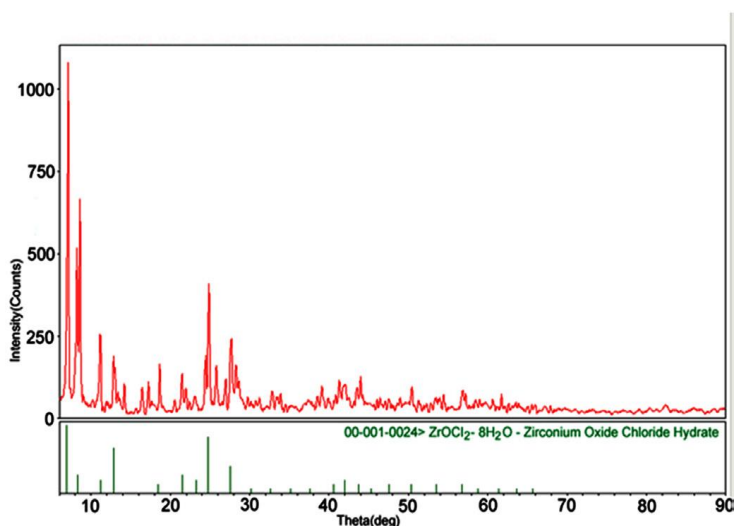


Рис. 2. Спектр цирконилхлорида $\text{ZrOCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

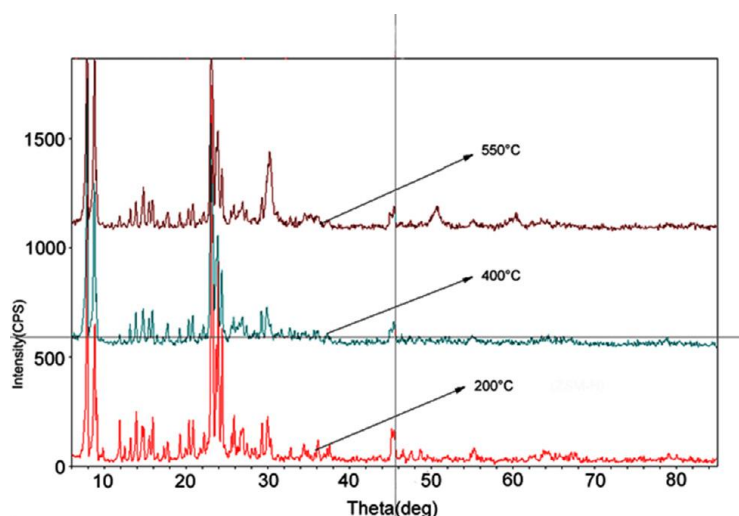


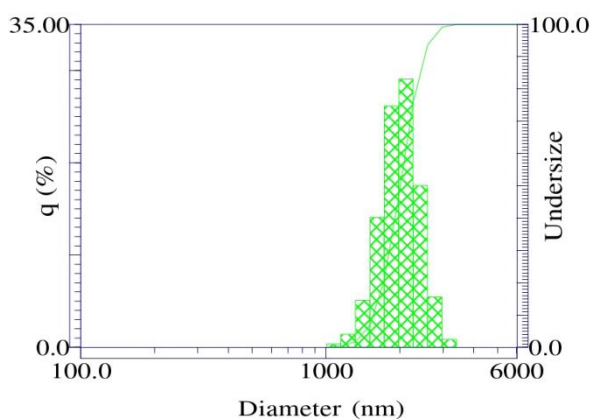
Рис. 3. Спектры модифицированного цеолита ZSM-5-ZrO_2 , прокаленного при температурах 200, 400 и 550°C

Образование фазы $\text{ZrSi}_{24}\text{O}_{90}$, доказывающее наличие Zr в структуре цеолита подтверждается исследованиями авторов [48, с. 207], [49, с. 39]. Они утверждают, что в присутствии воды во влажном образце происходит частичный водный ионный обмен, а при последующих термических обработках образца (высушивание и прокаливание) происходит дальнейший ионный обмен по твердофазному механизму. Например, при введении цинка методом пропитки водородной формы цеолита водным раствором нитрата цинка с последующим прокаливанием в цеолите формируются как внутрицеолитные катионы цинка Zn^{2+} , так и частицы оксида цинка на внешней поверхности цеолитных кристаллитов [48, с. 207]. Однако частицы Ga^{3+} не обмениваются напрямую из раствора на H-ZSM5, а образуют экстрацеолитные кристаллы Ga_2O_3 . Авторы работы [49, с. 39] также полагают, что значительная часть ионов Zn^{2+} , введенных в ZSM-5 пропиткой, образуется после высокотемпературной обработки. Они могут быть расположены в микропорах цеолита в виде нанометровых кластеров оксида цинка, либо локализоваться на внешней поверхности зерен цеолита в виде более крупных частиц.

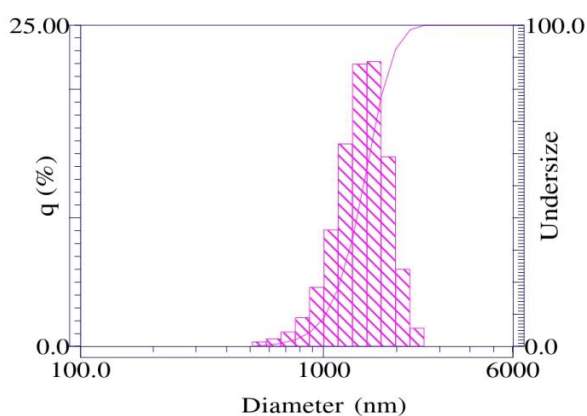
Исследования показали, что фазовый состав всех модифицированных образцов ZSM-5- ZrO_2 изменяется в зависимости от температуры их прокали. Поэтому в образцах, прокаленных при температурах 200 и 400°C, оксиды циркония аморфны, а при прокатке образцов при 550°C аморфные структуры превращаются в кристаллические с формированием фазы ZrO_2 [45, с. 134], [46, с. 49], [47, с. 22].

Методом динамического рассеяния света проведены исследования размеров частиц катализаторов ZSM-5 и ZSM-5- ZrO_2 и характера их распределения [50, с. 149]. Исследования проводились при комнатной температуре с использованием анализатора LB 550 (Horiba, Япония) с мощностью источника излучения 5 мВт, длиной волны 650 нм и его программного обеспечения. Измерение частиц основано на измерении и анализе колебаний интенсивности рассеянного света частиц в растворителе. Коэффициенты диффузии рассчитывали с использованием

формулы Стокса-Эйнштейна согласно представленным данным (табл. 3). Размеры частиц и параметры их распределения для катализаторов ZSM-5 и ZSM-5-ZrO₂ представлены на рис. 4 и в табл.1.



а)



б)

**Рис. 4. Размеры частиц и параметры их распределения
для катализаторов: а) ZSM-5; б) ZSM-5-ZrO₂**

Таблица 1

Размеры частиц катализаторов и коэффициенты диффузии

Катализатор	Параметры динамического рассеяния света (ДРС)					
	диаметр частиц в жидкой фазе, мкм					Коэффици- ент диффузии, м ² /сек
	нижний предел	верхний предел	Mean	Mode	Median	
ZSM-5- ZrO ₂	0.62	3.20	1.43	1.58	1.46	1.2479 E ⁻¹³
ZSM-5	1.15	3.41	1.99	2.08	2.01	1.2866 E ⁻¹³

Где:

Mean – среднее числовое значение размеров всех наблюдаемых частиц.

Mode – наиболее часто встречающееся значение наблюдаемого размера частиц.

Median – значение равно среднему арифметическому размеру 50% частиц.

Гистограммы (рис. 4) наглядно показывают, что частицы в дистиллированной воде однородны и распределены преимущественно равномерно как для ZSM-5, так и ZSM-5-ZrO₂. Как видно из данных табл.1, нижний предел размеров частиц модифицированного катализатора меньше нижнего предела размера частиц не модифицированного катализатора ZSM-5. Значение коэффициента диффузии незначительно выше у ZSM-5.

Алкилирование дистиллятной фракции масла Т-30 газами каталитического крекинга на модифицированном катализаторе ZSM-5-ZrO₂ в сравнении с не модифицированным ZSM-5 [46, с. 49], [47, с. 22], [50, с. 149] проведено в автоклаве с мешалкой в интервале температур 30-100°C, давлении 0.5-0.8 МПа, создаваемом газами, соотношении масло:газы 1:1 и количестве катализатора 1.5 г. Время реакции 1 час. В качестве алкилирующего агента использованы газы каталитического крекинга с содержанием олефинов 56.09%, преимущественно C₃–C₄.

В качестве масляной фракции использовали дистиллятную фракцию, соответствующую турбинному маслу Т-30 с индексом вязкости 49.9. имеющую следующие показатели кинематической вязкости при 40 и 100°C – 49.87 и 6.13 мм²/с соответственно.

Основные физико-химические свойства алкилатов, полученных в интервале температур 30-100°C на катализаторах ZSM-5-ZrO₂ и ZSM-5, представлены в таблице 2. Наилучшие показатели вязкостно-температурных свойств алкилатов получены при температуре алкилирования 50°C.

Определено, что наличие Zr в составе цеолита в значительной степени повышает активность катализатора ZSM-5, увеличивая индекс

вязкости масляных фракций от 80.7 до 137 ед. Катализатор ZSM-5 без модификаторов также улучшает вязкостно-температурные свойства масляной фракции. При этом индекс вязкости увеличивается с 49.9 до 80.7 ед. Причем на всех катализаторах у алкилатов наблюдается снижение кинематической вязкости при 40°C при повышении температуры алкилирования от 30 до 100°C.

Алкилат, полученный на катализаторе ZSM-5-ZrO₂ при температуре алкилирования 50°C, имеет самое низкое значение кинематической вязкости при 40°C. Кинематические вязкости при 100°C также имеют минимальные значения при температуре алкилирования 50°C. Возможно, при разных температурах наблюдается перестройка структуры углеводородов масляной фракции в зависимости от каталитических центров катализаторов. По-видимому, это связано с фазовым составом катализаторов и распределением в них определенных кислотных центров. Кроме того, размер частиц в какой-то степени также влияет на прохождение реакции алкилирования, т.е. чем меньше размеры частиц, тем эффективнее проходит алкилирование.

Таблица 2

Условия алкилирования и основные свойства алкилатов

Т, °С	Р, МПа	Физико-химические свойства алкилатов				
		ρ_4^{20} , кг/м ³	Показатель преломления n_D^{20}	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при		Индекс вязкости
				40°С	100°С	
ZSM-5-ZrO ₂						
30	0.5-0.6	890.8	1.4992	45.80	6.70	76.1
50	0.7	898.0	1.4954	37.99	7.07	137.0
100	0.8	897.5	1.4968	43.21	6.91	117.6
ZSM-5						
30	0.5-0.6	896.9	1.4989	46.34	6.25	73.8
50	0.7	897.8	1.4987	45.40	6.30	80.7
100	0.8	896.3	1.4980	44.64	6.08	71.9

При введении катиона Zr в обмен на протоны происходят изменение кислотности и распределение кислотных центров в цеолите. В результате ионного обмена протонов на катионы металлов некоторые

центры Бренстеда превращаются в кислотные центры Льюиса. Поскольку заряд каждого иона кремния сбалансирован зарядами окружающих ионов кислорода, то в целом группа SiO_4 в цеолите электронейтральна. При замене протонов на катион Zr уменьшается количество протонов и изменяется кислотность катализатора. Поэтому при алкилировании на катализаторе ZSM-5-ZrO₂ задействованы и бренстедовские и льюисовские кислотные центры.

Заключение

Важную роль в процессах алкилирования играют цеолитсодержащие катализаторы, способные активно вести соответствующие целенаправленные реакции с высокой селективностью. Поэтому для процессов алкилирования широко исследуются модифицированные различными катионами и анионами цеолиты, способные улучшить конверсию применяемых сырьевых источников и выход целевых продуктов.

При алкилировании масляных фракций газами каталитического крекинга определено, что основными технологическими параметрами, влияющими на эффективность процесса, являются температура и катализатор. Эти параметры определены в процессе алкилирования в автоклаве и на опытной пилотной установке. Эффективным катализатором процесса алкилирования выбран модифицированный цирконийсодержащий - ZSM-5-ZrO₂.

В процессе исследований определено, что образец катализатора ZSM-5-ZrO₂ показал лучшие вязкостно-температурные свойства по сравнению с алкилатом, полученным на ZSM-5. При этом индекс вязкости исходного турбинного масла Т-30 увеличен от 49,9 до 137. Тогда как при алкилировании на катализаторе ZSM-5 индекс вязкости масла увеличился до 80,7.

По результатам исследований размеров частиц методом ДРС определено, что модифицированный Zr катализатор имеет меньший размер частиц по сравнению с не модифицированным цеолитом ZSM-5. Поэтому возможно и это влияет на активную поверхность катализатора и частично на его алкилирующую способность.

Основное влияние в процессе алкилирования оказывает фазовый состав катализатора, содержащий модификатор не только в структуре цеолита ZSM-5, но и на поверхности. Кристаллическая структура катализатора способствует увеличению его активности, в результате чего в процессе алкилирования значительно улучшаются вязкостно-температурные свойства дистиллятной масляной фракции. Размер частиц катализатора также влияет на процесс алкилирования.

Список литературы

1. Ponomareva, O.A., Knyazeva, E.E., Shkuropatov, A.V. et al. Synthesis and Catalytic Properties of MWW Structure Zeolite in Petrochemical Processes. *Pet. Chem.* 2017. 57. P.1147–1150. <https://doi.org/10.1134/S096554411706024X>
2. Alkylation of benzene with short-chain olefins over MCM-22 zeolite: catalytic behaviour and kinetic mechanism /Corma A, Martinez-Soria V, Schnoeveld E. // *J Catal.* 2000. 192: 163-173. DOI:10.1006/jcat.2000.2849
3. Alkylation of benzene with 1-alkenes over beta zeolite in liquid phase /Michal Horňáček, Pavol Hudec, Agata Smiešková, Tibor Jakubík // *Reaction kinetics, mechanisms and catalysis.* 2010. Vol.99, Issue 2. P. 431-437. DOI:10.1007/s11144-009-0109-y
4. Алкилирование бензола этиленом на отечественном цеолитсодержащем катализаторе /М.Л. Павлов, Р.А. Басимова, А.С. Алябьев, Ю.Г. Рахмангулов // *Нефтегазовое дело.* 2012. №2. С. 470-478. ISSN 1813-503X. https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/PavlovML/PavlovML_2.pdf
5. Синтез и исследование катализаторов алкилирования бензола этиленом на основе цеолита ZSM-5 /М.Л. Павлов, Б.И. Кутепов, О.С. Травкина и др. // *Нефтехимия.* 2016. Т.56, №2. С.171-177. DOI: 10.7868/S0028242116020118
6. Benzene alkylation with propylene in the presence of nanocrystalline zeolites BEA with different compositions /T.O. Bok, E. P. Andriako, D.O. Bachurina, et al. // *Petroleum Chemistry.* 2019. Vol.59. P. 1320-1325. ISSN 0965- 5441. DOI:10.1134/S0965544119120028

7. Родионова Л.И., Князева Е.Е., Коннов С.В., Иванова И.И. Перспективы применения наноразмерных цеолитов в нефтехимии: синтез и каталитические свойства (обзор) //Нефтехимия, 2019. Т.59, №3. С.333-349. DOI: 10.1134/S0028242119030134
8. Perego C, Ingallina P. Combining alkylation and transalkylation for alkylaromatic production. Green Chem. 2004. 6. P.274-279. <https://doi.org/10.1039/B403277M>.
9. Герзелиев И.М., Жмылев В.П., Хусаимова Д.О. и др. Влияние связующего на свойства катализаторов на основе цеолитов семейства MWW в реакции алкилирования бензола пропиленом //Нефтехимия, 2019. Т.59, №4. С.410-416. DOI: 10.1134/S002824211904004X
10. Григорьева Н.Г., Костылева С.А., Гатаулин А.Р. и др. Алюмосиликаты с различной пористой структурой в синтезе 2-этил-3-метилхинолина // Нефтехимия. 2019. Т.59, №4. С.437-444. DOI: 10.1134/S0028242119040063
11. Байбуртли А.В. Гетерогенно-каталитическая конденсация полиолов и их ацеталей с аминами и алкилирование ароматических соединений 2-метил-2-винил-гем-дихлорциклопропаном //Автореф. дис. ... канд. хим. наук, Уфа: 2021. 24с. [https:// viewer.rsl./ ru/ru /rsl01010259713?page=1](https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01010259713?page=1)
12. Байбуртли А.В., Раскильдина Г.З., Григорьева Н.Г., Злотский С.С. Алкилирование ароматических углеводородов 2-метил-2-винил-гем-дихлорциклопропаном на цеолитных катализаторах //Нефтехимия, 2019. Т.59, №6. С.581-586. DOI: 10.1134/S0028242119070050
13. Пархомчук Е.М., Сашкина К.А., Пармон В.Н. Новые гетерогенные катализаторы на основе цеолитов с иерархической системой пор //Нефтехимия, 2016. Т.56, №3. С. 214-221. DOI: 10.7868/S0028242116030102
14. Koklin, A.E., Chan, V.M.K., Kazanskii, V.B., Bogdan V.I. Alkylation of isobutane with C₄ olefins under conventional and supercritical conditions //Kinet. Catal. 2010. V. 51, P.410–415. <https://doi.org/10.1134/S0023158410030146>

15. Шириязданов Р.Р. Суперкислотные цеолитные каталитические системы для алкилирования изобутана олефинами //Ползуновский вестник, 2010. №3. С. 12-14. <https://cyberleninka.ru/article/n/superkislnotnye-tseolitnye-kataliticheskie-sistemy-dlya-alkilirovaniya-izobutana-olefinami/viewer>

16. Шириязданов Р.Р. Исследование закономерностей получения и применения цеолитсодержащих катализаторов алкилирования изобутана олефинами. Дис. ... канд. техн. наук, 2011, 145 с. <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01004858132?page=1>

17. Шириязданов Р.Р. Научно-прикладные основы процесса алкилирования изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах. Автореф. дис. ... докт. техн. наук, 2017, 48 с.

18. Хамзин Ю.А., Шириязданов Р.Р., Давлетшин А.Р. и др. Влияние фазового состава катализаторов на основе модифицированного цеолита типа Y на выход углеводородов C₈ в процессе алкилирования изобутана олефинами //Химия и технология топлив и масел. 2017. №6. С.42-44. ISSN 0023-1169

19. Хамзин Ю.А., Шириязданов Р.Р., Теляшев Э.Г., Давлетшин А.Р. Факторы, определяющие стабильность катализаторов алкилирования на основе цеолитов Y //Химия и технология топлив и масел. 2017. №5. С.29-32. ISSN 0023-1169

20. Хамзин Ю.А., Шириязданов Р.Р., Давлетшин А.Р., Шадрин А.Э. Алкилирование изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах с регенерацией in-situ. //Химия и технология топлив и масел. 2018. № 2. С.29-32. ISSN 0023-1169

21. Li S, Cao J, Liu Y, Feng X, Chen X, Yang C. Effect of acid strength on the formation mechanism of tertiary butyl carbocation in initial C₄ alkylation reaction over H-BEA zeolite: A density functional theory study. Catal Today. 2020. 355: 171-179. doi: 10.1016/j.cattod.2019.05.060

22. Руднев Н.А., Трапезникова Е.Ф., Хафизова С.Р. и др. Разработка кинетической модели процесса алкилирования изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах //Химия и технология топлив и масел. 2018. №4. С.16-19. ISSN 0023-1169

23. Li S, Cao J, Feng X, Du Y et al. Insights into the confinement effect on ISSN isobutane alkylation with C₄ olefin catalyzed by zeolite catalyst: A combined theoretical and experimental study. Chin J Chem Eng. 2022; 47: 174-184. DOI: 10.1016/j.cjche.2021.08.005

24. Cao P, Li B, Sun W, Zhao L. Understanding the zeolites catalyzed isobutane alkylation based on their topology effects on the reactants adsorption. Chem Eng Sci. 2022; V.250: 117387. DOI:10.1016/j.ces.2021.117387. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250921009520>.

25. Gerzeleev IM, Ostroumova VA, Baskhanova MN. Intensification of the ion exchange of the FAU type zeolite in the synthesis of an active and selective catalyst for the alkylation of isobutane with butylenes. Pet Chem. 2018; 58: 469-473. <https://doi.org/10.1134/SO965544118080066>

26. Касимов А.А., Пириева Х.Б., Гаджизаде С.М., и др. Активность цеолитсодержащего катализатора Омникат-210П, модифицированного Ni, Co, Mo в реакции алкилирования //Нефтехимия. 2017. Т.57, № 3. С.329-333. ISSN:0028-2421

27. Касимов А.А., Гаджизаде С.М., Исмаилова З.Р. и др. Влияние размера частиц катализатора Омникат-210П, модифицированного Ni, Cr, на активность процесса алкилирования парафинов олефинами //Нефтепереработка и нефтехимия. 2020. № 7. С.8-12. ISSN: 0233-5727. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43982023>

28. Abasov S.I., Agayeva S.B., Taghiyev D.B. et al. Effect of gaseous alkanes on conversion of straight-run naphtha in the presence of Co(Ni) (ZSM-5, MOR, Al₂O₃)/SO₄²⁻/ZrO₂ composite catalysts. Russ J Appl Chem. 2021; 94: 959-968. <https://doi.org/10.1134/S1070427221070144>

29. Iskenderova AA. Influence of Co/HZSM-5/SO₄²⁻/ZrO₂ catalyst composition on the hydroconversion of straight-run gasoline. Oil Refin Pet Chem. 2020. P.3-6. ISSN 0233-5727

30. Abasov SI, Agayeva SB, Mamedova MT, Iskenderova AA, Imanova AA, Zarbaliyev RR, et al. Conversion of straight-run naphtha to C₅-C₆ alkanes on Co(Ni) HZSM-5/SO₄²⁻/ZrO₂ composite catalysts. Russ J Appl Chem. 2019; 92: 228-234. <https://doi.org/10.1134/S0044461819020099>

31. Самедова Ф.И., Гусейнова Г.А., Кулиев А.И., Рашидова С.Ю. Алкилирование нефтяных масляных фракций олефинами на цеолитсодержащих катализаторах /Материали за Х Международна научна практична конференция, «Бъдещите изследвания». 17-25 февруари, София, «БялГРАД-БГ» ООД. 2014. Т. 42. С.56-58. ISBN 978-966-8736-05-6

32. Самедова Ф.И., Гусейнова Г.А., Рашидова С.Ю. Алкилирование дистиллята турбинного масла жидкими газами каталитического крекинга //Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016. №1. С.18-21. <https://neftemir.com/archive/2016-2/january-2016/>. ISSN 2071-5951

33. Гусейнова Г.А., Самедова Ф.И., Бабаева Ф.А. и др. Превращение углеводородных газов каталитического крекинга в процессе алкилирования ими дистиллятной масляной фракции на цеолитсодержащем катализаторе //Нефтепереработка и нефтехимия. 2015. №12. С.30-32. ISSN 0233-5727

34. Huseynova GA, Muxtarova GS, Rashidova SY, Guliev AI Process of alkilating of oily fractions with catalytic cracking gases //Petroleum &Petrochemical Engineering Journal. 2019. V. 3, Issue 6: 000212. DOI: 10.23880/ppej16000212

35. Гусейнова Г.А., Самедова Ф.И., Рашидова С.Ю. и др. Исследование продуктов алкилирования дистиллятной фракции турбинного масла газами каталитического крекинга //Нефтехимия. 2019. Т.59, №6. С.666-673. DOI: 10.1134/S0028242119060078.

36. Huseynova GA, Samedova FI, Rashidova S.Yu. et al. A Study of the Products of Turbine Oil Distillate Alkylation with Catalytic Cracking Gases //Petroleum Chemistry. 2019. Vol.59, №11. P.1220-1225. <https://doi.org/10.1134/S0965544119110070>

37. Гусейнова Г.А., Гулиев А.И., Самедова Ф.И. и др. Улучшение вязкостно-температурных свойств дистиллятной масляной фракции в процессе алкилирования жидкими газами каталитического крекинга //Нефтегазовые технологии. 2016. №9. С.26-28. ISSN 2073-0128

38. Гусейнова Г.А., Самедова Ф.И., Рашидова С.Ю. и др. Алкилирование индивидуальных углеводородов и нефтяных фракций на

цеолитсодержащих катализаторах //АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. 2015. №2 (95). С.14-21. ISSN 2073-8323.

39. Huseynova G., Muxtarova G., Aliyeva N. [et al.]. Zeolite-Containing Catalysts in Alkylation Processes //Catalysis Research. 2022. Vol. 2, issue 3. DOI: 10.21926/cr.2203019

40. Mustafayeva R. Zeolite-containing catalysts in alkylation processes. Baki: LAP Lambert Academic Publishing, 2012 -180 p. ISBN: 978-3-8484-8780-6.

41. Evolution of strong acidity and high-alkane-cracking activity in ammonium-treated USY zeolites / K. Okumura, T. Tomiyama, N. Morishita et al. //Applied Catalysis A: General. 2011. 405. P. 8 – 17. DOI: 10.1016/j.apcata.2011.07.007

42. Velichkina L. M., Korobitsynaa L. L., Ulziib B., Vosmerikova A. V., Tuya M. Physico-chemical and Catalytic Properties of Iron and Indium Containing Zeolites //Petroleum Chemistry. 2013. V. 53, No. 2. P. 121–126. <https://doi.org/10.1134/S0965544113020126>

43. Мирзалиева С.Е., Мамедова А. З., Ширинова С.М. и др. Кислотные и каталитические свойства биметаллических катализаторов на основе цеолита типа ZSM-5 в облагораживании прямогонной бензиновой фракции //Нефтегазовое дело. 2019. №4. С.155–173. ISSN 2073-0128

44. Kuizhi Chen, Zhehong Gan, Sarah Horstmeier, Jeffery L. White. The Distribution of Aluminum Species in Zeolite Catalysts:²⁷Al NMR of Framework, Partially-Coordinated Framework, and Non-Framework Moieties //J. Amer.chem.soc. 2021. V. 143(17). P. 6669-6680. DOI: 10.1021/jacs.1c02361.

45. Gasimova G., Aliyeva N., Huseynova G. Study of modified ZSM-5-ZrO₂ zeolites for the process of alkylation of distillate fractions. Materials II International Scientific and Practical Conference “Challenges and problems of modern science”. November 10-11, 2022. London, United Kingdom. P.134-137. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7322872>

46. Gasimova G., Aliyeva N., Huseynova G. Alkylation of T-30 distillate oil on a modified zeolite-containing ZSM-5-ZrO₂ catalyst. Materials

I International Scientific and Practical Conference “The modern vector of the development of science”. 17-18.11.2022. Philadelphia, USA. P.49-51.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7341840>

47. Гусейнова Г. А., Алиева Н. М., Гасимова Г. А., Рашидова С. Ю. Исследование катализатора ZSM-5, модифицированного Zr, для процесса алкилирования масляных дистиллятных фракций //Мир нефтепродуктов. 2023. № 5. С. 22–25. DOI: 10.32758/2782-3040-2023-0-0-00-00

48. Structure and function of metal cations in light alkane reactions catalyzed by modified H-ZSM5 / J. A. Biscardi, E. Iglesia. //Catal. Today. 1996. V. 31. P. 207-231. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(96\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(96)00028-4)

49. Nature of the sites of dissociative adsorption of dihydrogen and light paraffins in ZnHZSM-5 zeolite prepared by incipient wetness impregnation / V. B. Kazansky, V. Yu. Borovkov, A. I. Serikh et al. //Catalysis Letters. 2000. V. 66. P. 39-47. <https://doi.org/10.1023/A:1019031119325>

50. Huseynova G.A., Gasimova G.A., Əliyeva N.M., Osmanova S.N. Technological features of producing high-index oils in the alkylation process. //Eurasian Chemico-Technological journal. 2025. 27(2), P.149-158. <https://doi.org/10.18321/ectj1662>

© Гусейнова Г.А., Алиева Н.М., Гасимова Г.А.

Глава 16.

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ
PVT-МОДЕЛИ ФЛЮИДА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Евстафеев Евгений Александрович

преподаватель

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ)

имени И.М. Губкина

Акрамов Бахшилло Шафиевич

к.т.н., профессор

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ)

имени И.М. Губкина

Нуриддинов Жамолиддин Фазлиддин угли

ООО «Uz-Gas Projects»

Адизов Бобиржон Замирович

д.т.н.,

в.н.с. лаборатории «Коллоидной химии»

Институт общей и неорганической химии АН РУз

Аннотация: В данной работе описаны алгоритмы построения композиционных PVT-моделей нефти и газоконденсата в гидродинамических симуляторах на примере tНавигатор компании Rock Flow Dynamics. Проведена апробация предложенных алгоритмов на примере моделирования флюида одного из нефтегазоконденсатных месторождений Республики Узбекистан. Получена хорошая сходимость расчетных и фактических параметров пластовой нефти для нефтяной оторочки, газа и газоконденсата для газовой шапки исследуемого месторождения.

Ключевые слова: моделирование, компонентный состав, флюид, дифференциальная конденсация, корреляция, псевдокомпоненты, адаптация, физико-химические свойства, нефтяная оторочка, газовая шапка, сходимость.

**METHOD OF CONSTRUCTING A COMPOSITE PVT MODEL
OF FLUID OF OIL AND GAS CONDENSATE FIELD
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

Evstafeev Evgeniy Alexandrovich

Akramov Bahshillo Shafievich

Huridinov Jamoliddin Fazliddin ugli

Adizov Bobirjon Zamirovich

Abstract: In this study, algorithms for constructing compositional PVT models of oil and gas condensate in reservoir simulators are described using tNavigator by Rock Flow Dynamics as an example. The proposed algorithms were tested using a case study of fluid modeling from an oil-gas-condensate reservoir in the Republic of Uzbekistan. Good agreement was achieved between the calculated and actual parameters of reservoir oil for the oil rim, and gas and gas condensate for the gas cap of the studied field.

Key words: modeling, component composition, fluid, differential condensation, correlation, pseudocomponents, tuning, physicochemical properties, oil rim, gas cap, convergence.

На сегодняшний день проектирование разработки месторождений углеводородов обязательно сопровождается гидродинамическим моделированием. При этом особую важность имеет точность и достоверность геолого-гидродинамической модели разрабатываемого месторождения. В зависимости от того, к какому типу согласно классификации [1, с. 20] относится месторождение, возможно применение той или иной модели флюида в гидродинамических симуляторах. Наиболее распространенной в промысловой практике в настоящее время является трехфазная модель флюида, называемая «Black Oil», которая позволяет моделировать разработку нефтяных, нефтегазовых, газонефтяных и газовых месторождений, решая задачу трехфазной фильтрации в неоднородном пласте [2, с. 33]. Эта модель, обладая преимуществом в сокращении времени расчета и применения

компьютерных ресурсов, имеет серьезный недостаток, заключающийся в отсутствии учета фазовых превращений углеводородных систем, происходящих в пласте при разработке месторождений со сложным компонентным составом пластовых флюидов. Так, для прогнозирования основных показателей разработки нефтегазоконденсатных месторождений следует применять более сложные композиционные модели флюида, которые учитывают термодинамику фазовых переходов при снижении пластового давления в процессе разработки [2, с. 100]. Построение таких моделей сопровождается следующими проблемами:

- отсутствие достоверных данных вследствие нарушений при проведении промысловых исследований на газоконденсатность [3, с. 327];
- погрешности при лабораторных хроматографических исследованиях проб флюидов;
- отсутствие сведений о физико-химических свойствах высококипящих компонентов, обозначаемых в виде C_{5+} , C_{6+} или C_{7+} и др.

Для решения вышеописанных проблем при построении математических моделей флюидов в гидродинамических симуляторах применяются различные корреляции для расчета их физико-химических свойств, а также функции распределения молярных долей и масс компонентов, входящих в единый высококипящий компонент. В качестве основных корреляций для расчета критических параметров высококипящих компонентов применяются корреляции Riazi and Daubert [4, с. 332-334], Pedersen [5, с. 55–70], Cavett [6, с. 160-180] и другие. Помимо выбора необходимой корреляции для расчета физико-химических свойств высококипящих компонентов, серьезным вопросом является обоснование метода его разбиения на псевдокомпоненты. В современных гидродинамических симуляторах применяются следующие способы разбиения высококипящих компонентов:

- Метод Куртиса Витсона (Curtis Whitson), в основе которого лежит предположение о том, что вероятностная плотность распределения фракций высококипящего компонента описывается функцией, зависящей от трех параметров – α , β , η [7, с. 684-685];

– Метод K.S. Pedersen, в основе которого лежит предположение о том, что молярная доля в пластовой смеси высококипящего компонента распределяется логарифмической функцией, зависящей от молярной массы или числа атомов компонента C_{N+} [8, с. 165].

Как показывает опыт математического моделирования флюидов газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений, основной проблемой при моделировании пластовой газоконденсатной смеси является адаптация изотермы дифференциальной конденсации, полученной при проведении PVT-эксперимента CVD (Constant Volume Depletion) [9, с. 378-389]. При этом основными параметрами, которые должны давать наибольшую сходимость, являются давление начала конденсации, давление максимальной конденсации и начальное потенциальное содержание конденсата в пластовом газе или ПС₅₊. При композиционном моделировании пластовой нефти основной проблемой является отсутствие данных об ее компонентном составе, поэтому прибегают к применению фракций для последующего их разбиения по каким-либо методам. Основными параметрами, которые должны давать наибольшую сходимость, являются объемный коэффициент, давление насыщения и плотность нефти в стандартных условиях. Вопросам PVT-моделирования нефтяных и газоконденсатных смесей посвящены множество работ. Так, в работе [10, с. 15-18] описывается алгоритм построения PVT-модели, учитывающий применение метода K.S. Pedersen для разбиения высококипящих компонентов на фракции. В качестве параметров адаптации предлагается его модификация с последующей настройкой и адаптацией к лабораторной кривой пластовых потерь конденсата при снижении давления. В работе [11, с. 164-179] представлен алгоритм моделирования пластовой нефти и газоконденсатной смеси, с помощью которого решается задача адаптации PVT-модели к конкретному пластовому флюиду с ограниченным объёмом лабораторных данных. Также в работе [12, с. 65-71] авторами представлен алгоритм композиционного моделирования, в котором акцент делается на разбиение высококипящих компонентов на фракции с целью получения начального фазового

равновесия в модели нефтегазоконденсатного месторождения. Следует также отметить, что параметрами адаптации свойств PVT-модели флюида в данных работах являлись фактор ацентричности, shift-параметр и коэффициенты парного взаимодействия. Однако предложенные алгоритмы не учитывают специфику строения и разработки месторождений Республики Узбекистан, а также имеют ряд требований к исходным данным, которые иногда не могут быть выполнены. Кроме того, разбиение на большое число псевдокомпонентов приведет к тому, что время расчета модели увеличится в разы. Следовательно, необходимо разработать методики построения PVT-моделей нефти и газоконденсатной смеси, адаптированную к условиям Республики Узбекистан. При этом к ней предъявляются следующие основные требования:

1. Обеспечение соблюдения физичности моделируемого флюида;
2. Изменение параметров корреляций и свойств псевдокомпонентов в рамках общеизвестных правил и диапазонов;
3. Применимость для других месторождений со схожим компонентным составом пластового флюида и термобарическими условиями
4. Снижение использования временных и компьютерных ресурсов при расчете гидродинамической модели.

Предлагаемая методика включает в себя следующие пункты:

1. Внесение в PVT-дизайнер применяемого гидродинамического симулятора среднего состава пластового газа, взятого из проектного документа;
2. Моделирование высококипящего компонента C_{5+} с использованием стандартной библиотеки компонентов гомологического ряда алканов путем подбора алкана, близкого по молекулярной массе к нему;
3. Разбиение высококипящего компонента C_{5+} с помощью корреляции Whitson на псевдокомпоненты начиная с C_6H_{14} до компонента, выбранного из стандартной библиотеки для замены C_{5+} . При этом в первом приближении в данной корреляции значение

параметра α , обуславливающего степень экспоненциальной зависимости в этой корреляции и формирующего распределение псевдокомпонентов по величине их мольной доли, принимается по умолчанию равным единице;

4. После первого разбиения проводится PVT-эксперимент Constant Volume Depletion (CVD), моделирующий разработку месторождения на истощение. Результаты эксперимента сопоставляются с данными, приведенными в проектном документе. В частности, сравниваются значения величин давлений начала и максимальной конденсации, начального и минимального потенциального содержания конденсата в пластовом газе;

5. В случае несовпадения вышеописанных величин осуществляется адаптация. Параметрами адаптации являются:

- величина параметра α (допускается изменять ее в диапазоне от 0,5 до 2,5 [5]);
- тип корреляции для критической температуры и фактора ацентричности псевдокомпонентов;
- величина критической температуры первого и последнего псевдокомпонента (допускается изменение в диапазоне 5% от их величины).

Для построения композиционной модели нефти, предлагается следующая методика:

1. Вносится средний состав нефти, взятый из проектного документа, или применяется функция перевода модели Black Oil в композиционную, встроенная в применяемый гидродинамический симулятор;

2. Для моделирования фракций пластовой нефти выбираются аналогично газоконденсату алканы из гомологического ряда, близкие к ним по молярной массе;

3. Осуществляется разбиение с помощью корреляции Whitson на псевдокомпоненты самого тяжелого компонента (остатка). При этом количество компонентов в модели газоконденсата и нефти должно

совпадать, что необходимо для корректной работы применяемого гидродинамического симулятора.

4. После первого разбиения проводится PVT-эксперимент Constant Volume Depletion (CVD), моделирующий разработку месторождения на истощение. Результаты эксперимента сопоставляются с данными, приведенными в проектном документе. В частности, сравниваются значения величин давления насыщения нефти газом, объемный коэффициент и плотность нефти при стандартных условиях.

5. В случае несовпадения вышеописанных величин осуществляется адаптация. Параметрами адаптации являются:

- величина параметра α (допускается изменять ее в диапазоне от 0,5 до 2,5);
- молярная доля первого и последнего псевдокомпонентов, полученных при разбиении;
- тип корреляции для критической температуры и фактора ацентричности псевдокомпонентов;
- величина сдвига для объема высококипящих компонентов;
- величина критической температуры высокомолекулярного псевдокомпонента.

Предлагаемая методика подходит под функционал всех известных и применяемых на сегодняшний день в мировой инженерной практике гидродинамических симуляторов, таких как Eclipse Schlumberger, Intersect Schlumberger, Petrel RE Schlumberger, Computer Modelling Group (CMG), тНавигатор Rock Flow Dynamics. В данной работе для проведения численных исследований был выбран гидродинамический симулятор тНавигатор Rock Flow Dynamics ввиду его широкого распространения на постсоветском пространстве, доступности академических лицензий для образовательных целей и простоте использования при наличии высокопроизводительных вычислений (GPU, MPI).

Апробация предлагаемых методик осуществлялась на нефтегазоконденсатном месторождении Южный Кемачи, расположенном в Кашкадарьинской области Республики Узбекистан и находящемся

на этапе падающей добычи нефти, газа и конденсата [13-15]. В проектных документах на разработку данного месторождения [13-14] упоминается применение приближенного математического моделирования на основе уравнения материального баланса [16, с. 173] для прогнозирования основных показателей разработки газовой части залежи. Однако в проектном документе [15] приведен детальный отчет о построении цифровой геолого-гидродинамической модели данного месторождения, в которой использовалась модель трехфазной фильтрации Black Oil. Для повышения эффективности системы доработки данного месторождения необходимо применение композиционного моделирования, которое позволит уточнить зоны с максимальной плотностью распределения остаточных запасов газа, конденсата и нефти, а также наглядно продемонстрирует фазовые переходы, происходящие в нем. Далее приводятся результаты апробации предложенных методик.

Для моделирования газоконденсатной смеси месторождения Южный Кемачи использовался средний состав газа, приведенный в таблице 1.

Таблица 1

**Средний состав пластового газа месторождения
Южный Кемачи [14, с. 33]**

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	C ₅ H _{12+выше}	N _{2+ред.}	CO ₂	H ₂ S
90,64	3,52	0,81	0,13	0,18	0,91	0,46	3,31	0,04

Стоит отметить, что молярная масса компонента C₅H_{12+выше} равна 113,596 г/моль, поэтому для его моделирования за основу был взят компонент декан – C₁₀H₂₂. Затем, согласно предложенной методике, проводилось разбиение декана на псевдокомпоненты (в данном случае от C₆ до C₁₀). При этом по умолчанию все критические свойства полученных псевдокомпонентов рассчитывались по корреляции Riazi and Daubert. Далее для полученного состава проводился PVT-эксперимент CVD, результаты которого сравнивались с утвержденными в [13, с. 45] значениями параметров газоконденсатной характеристики.

Для наглядности эти значения изображались на одном графике с кривой дифференциальной конденсации полученного состава флюида. Результаты PVT-эксперимента CVD для состава пластовой смеси и их сопоставление с фактическими данными (точки CVD Пример 1) показаны на рисунке 1.

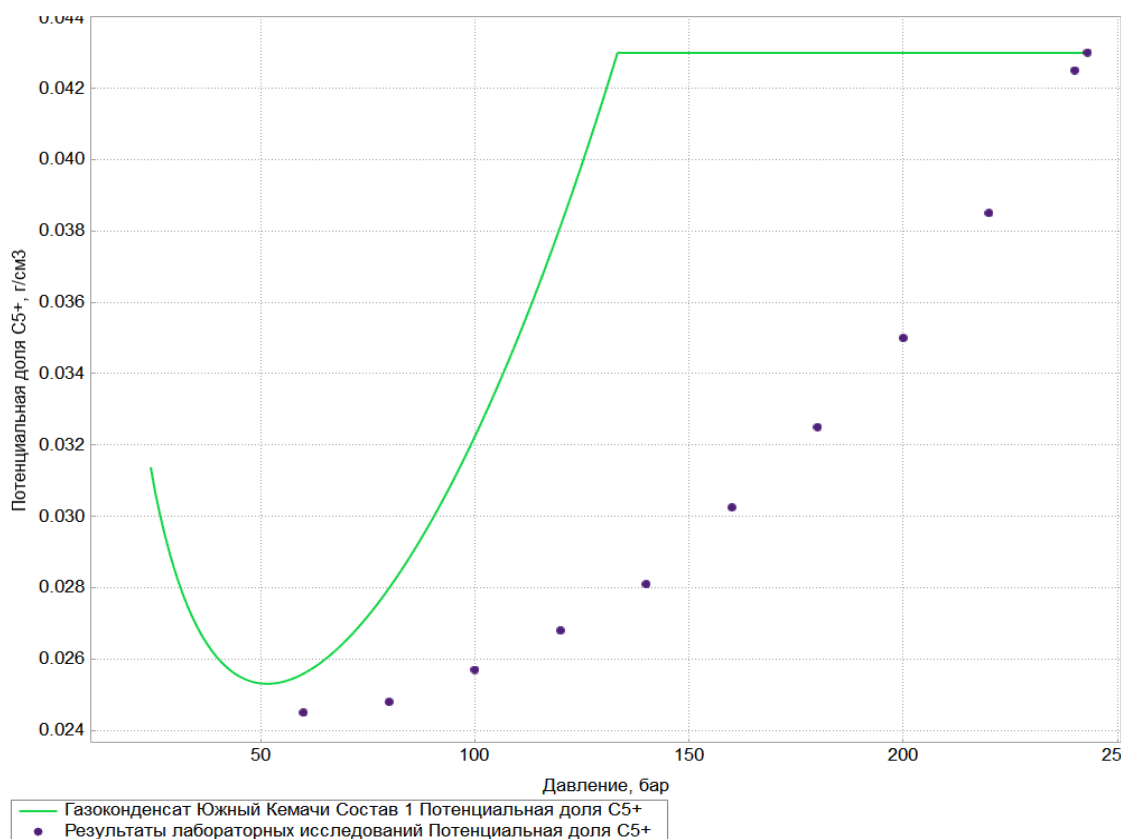


Рис. 1. Кривая дифференциальной конденсации для полученного состава пластовой смеси и ее сопоставление с фактом

Как видно из рисунка 1, кривая дифференциальной конденсации, несмотря на сходжение величины начального потенциального содержания конденсата с фактом, не пересекает точку, соответствующую давлению максимальной конденсации. Кроме того, пластовые потери конденсата существенно занижены из-за отличия давления начала конденсации от фактического значения на 104,04 бар (10 МПа). Это означает необходимость перехода к следующему пункту методики.

На следующем шаге при разбиении проводилась вариация параметра α от 0,5 до 2,5 с шагом 0,5. Для полученных составов

проводился PVT-эксперимент CVD и сопоставление с фактическими данными. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

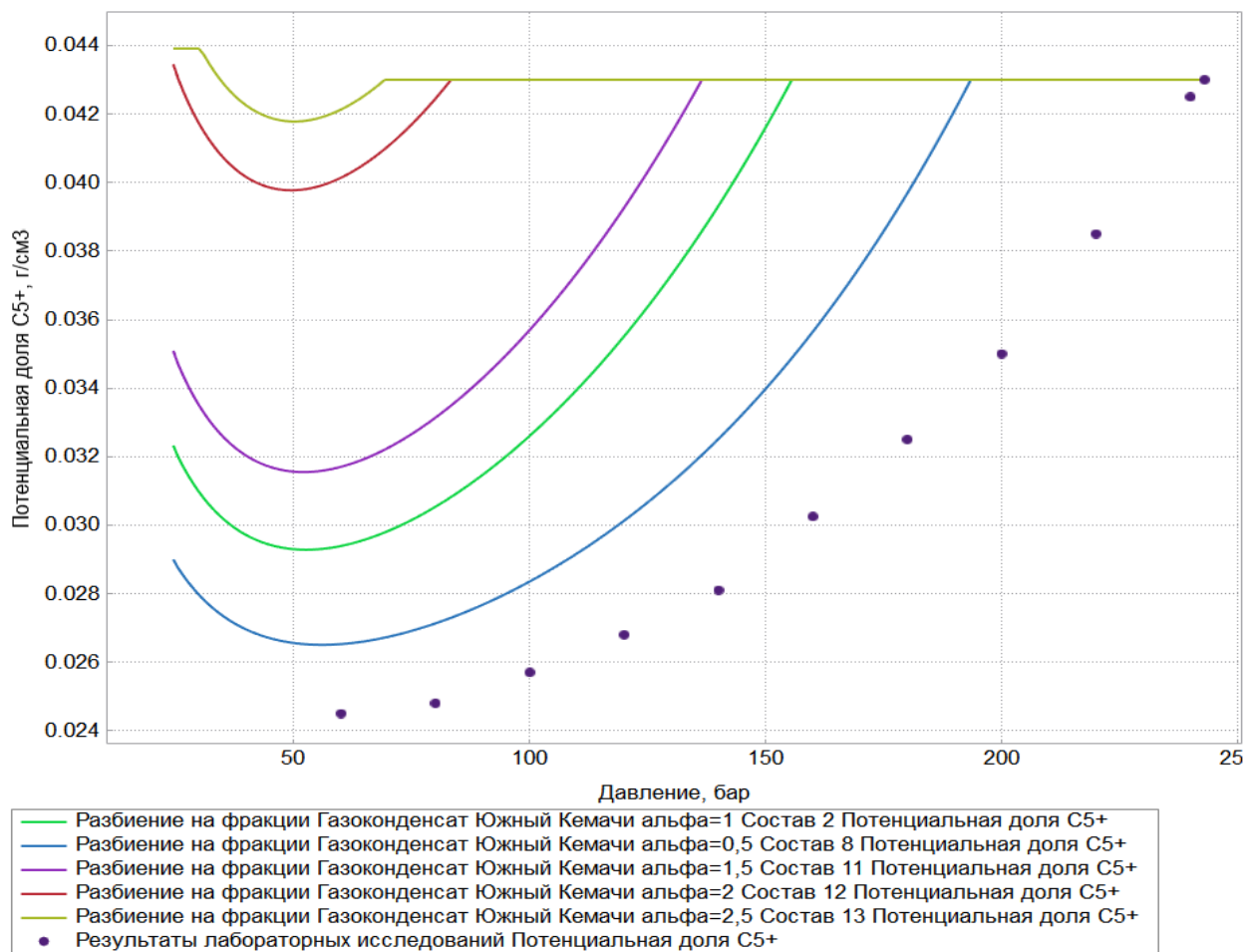


Рис. 2. Кривые дифференциальной конденсации для составов пластовой смеси при различных значениях параметра α и их сопоставление с фактом

Как показывает рисунок 2, наиболее приближенные значения давления начала и максимальной конденсации имеет состав газа, полученный при разбиении компонента C_{5+} по корреляции Whitson со значением параметра $\alpha=0,5$. Это означает, что именно данный состав необходимо адаптировать в следующих пунктах методики.

На следующем шаге проводилась корректировка параметров полученных псевдокомпонентов. Так, показано, что при изменении корреляции для расчета фактора ацентричности с Riazi and Daubert на Pedersen. Кроме того, корректировка величины критической

температуры начального и конечного псевдокомпонентов, полученных при разбиении, в диапазоне не более 2% позволяет скорректировать величины давления начала и максимальной конденсации, а также значение минимального содержания конденсата. Таким образом, получен состав пластовой смеси, у которого наблюдается хорошая сходимость с результатами лабораторных исследований, приведенных в [13, с. 45]. В таблице 2 представлен состав и физико-химические свойства пластового флюида месторождения Южный Кемачи, полученные после адаптации.

Таблица 2

**Состав и физико-химические свойства пластового флюида
месторождения Южный Кемачи после адаптации**

№	Компоненты	Молярная доля, %	Молярная масса, г/моль	Критическая температура, К	Критическое давление, бар	Ацентрический фактор
1	C1	90,64	16,043	190,56	45,99	0,012
2	C2	3,52	30,07	305,32	48,72	0,1
3	C3	0,81	44,097	369,83	42,48	0,152
4	IC4	0,13	58,123	407,8	36,4	0,184
5	NC4	0,18	58,123	425,12	37,96	0,2
6	N2	0,46	28,013	126,2	34,6	0,0377
7	CO2	3,31	44,01	304,19	73,82	0,228
8	H2S	0,04	34,082	373,53	89,63	0,0942
9	F1	0,43	82,43	534,65	38,44	0,29204
10	F2	0,14	98,37	572,28	34,05	0,34577
11	F3	0,09	112,54	602,39	30,95	0,39289
12	F4	0,06	126,60	630,81	28,43	0,48908
13	F5	0,19	190,94	738,40	20,35	0,68135

На рисунке 3 представлены кривые дифференциальной конденсации для приведенного в таблице 2 состава до и после адаптации и их сопоставление с фактическими данными. Стоит отметить хорошую сходимость величин давления начала и максимальной конденсации, а также начального и минимального потенциального содержания конденсата в пластовом газе.

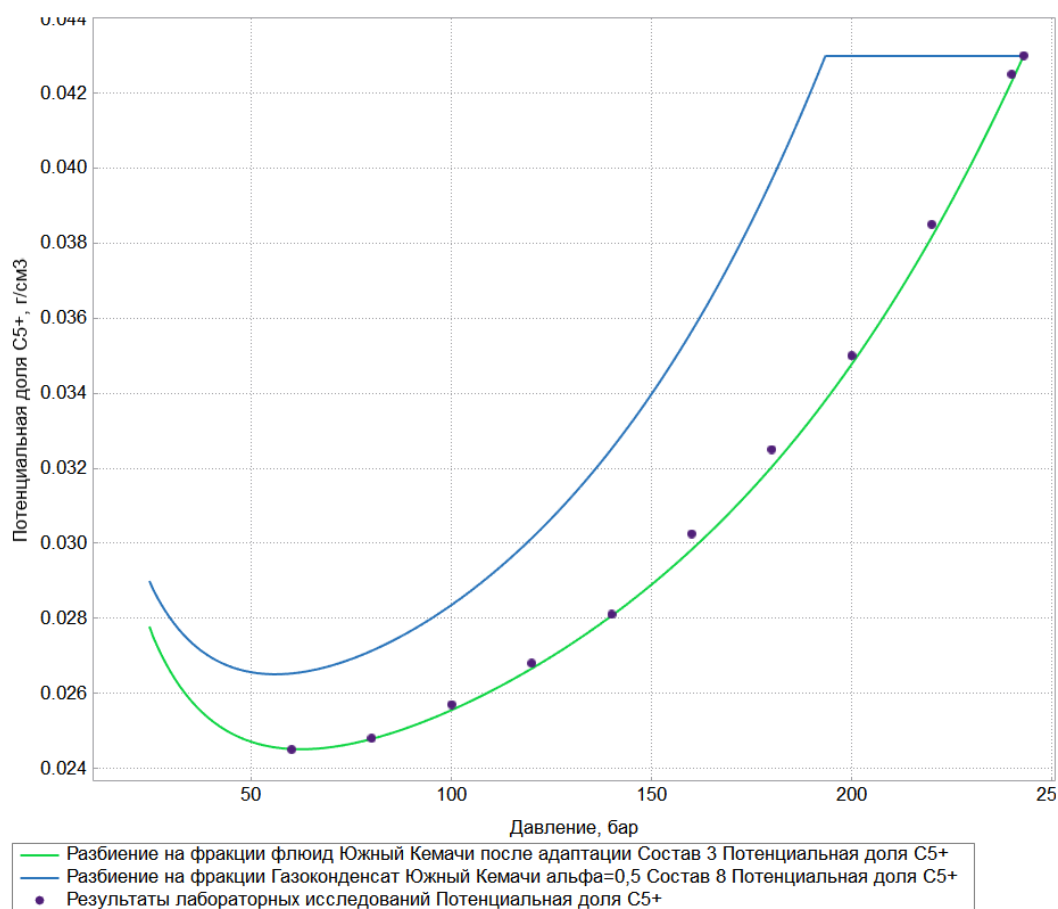


Рис. 3. Кривые дифференциальной конденсации полученного состава пластового флюида до и после адаптации и их сопоставление с фактом

На заключительном этапе было проведено сопоставление рассчитанных значений параметров газоконденсатной характеристики полученной модели флюида с фактом и рассчитано отклонение рассчитанных и фактических параметров изотермы конденсации. Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Сопоставление фактических и рассчитанных параметров газоконденсатной смеси месторождения Южный Кемачи

№	Параметр	Единица измерения	Факт	PVT-модель после адаптации	Отклонение, %
1	Давление начала ретроградной конденсации	бар	243	242,986	0,01

Продолжение таблицы 4

2	Давление максимальной ретроградной конденсации	бар	60	62,18	-3,63
3	Начальное потенциальное содержание конденсата в составе пластового газа	г/м ³	43	43	0,00
4	Минимальное потенциальное содержание конденсата в составе пластового газа	г/м ³	24,5	24,5063	-0,03

Как видно из таблицы 4, полученная после адаптации модель флюида имеет хорошую сходимость с фактом в пределах 5% отклонения. Таким образом, данную модель можно использовать как альтернативу «Black Oil» для моделирования газовой шапки месторождения Южный Кемачи. На рисунке 4 показана фазовая диаграмма для флюида полученного состава с линией изотермического снижения пластового давления от начального значения до величины давления «забрасывания» месторождения.

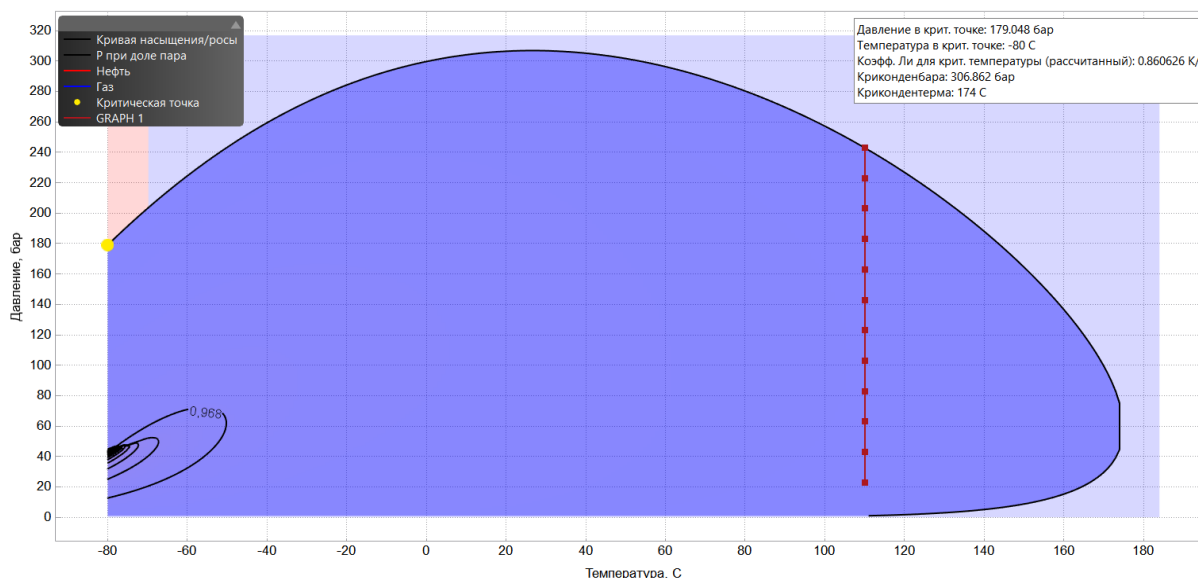


**Рис. 4. Фазовая диаграмма газоконденсатной смеси
месторождения Южный Кемачи**

Для моделирования пластовой нефти месторождения Южный Кемачи использовались данные лабораторных исследований нефти, полученные при отборе глубинных проб из двух скважин [14, с. 39]. При этом в проектных документах [13-15] отсутствуют сведения о фракционном составе нефти, а также данные о составе растворенного в нефти газа. Важной информацией является то, что нефть месторождения Южный Кемачи среднетяжелая, сернистая, смолистая, парафинистая, низкобензиновая.

В качестве основы для моделирования нефти данного месторождения был взят состав пластовой смеси, приведенный в таблице 1. При этом были изменены некоторые компоненты и их свойства, полученные из отчетов о моделировании нефти данного месторождения в программном продукте PVTi. Так, был добавлен компонент Ф1, который характеризует остаток, образующийся при фракционной разгонке нефти. Кроме того, изменялись углеводороды ряда алканов для моделирования высококипящих компонентов. Так, для получения компонента C_{5+} высшие, имеющего молярную массу 163 г/моль, был взят додекан $C_{12}H_{26}$, а для моделирования компонента Ф1, имеющего молярную массу 256,455 г/моль, – эйкозан $C_{20}H_{42}$.

На следующем шаге было изменено распределение молярных долей этих компонентов в соответствии с начальным составом, вносимым в PVTi при написании проектного документа [15]. Для получения высокой вязкости и плотности нефти были снижены молярные доли легких газов метан-бутан, но увеличена молярная доля компонента Ф1. Начальный состав нефти приведен в таблице 5.

Таблица 5

Начальный состав нефти месторождения Южный Кемачи

№	Компоненты	Молярная доля, %
1	C1	33,819
2	C2	0,640
3	C3	0,094
4	IC4	0,000
5	NC4	0,039

Продолжение таблицы 5

6	N ₂	0,523
7	H ₂ S	1,964
8	CO ₂	2,125
9	C ₅ +	0,083
10	Ф1	60,712

На следующем шаге проводилось разбиение компонента Ф1 на псевдокомпоненты согласно описанной выше методике. Для каждого разбиения сразу проводился PVT-эксперимент CVD. В результате проведения численных исследований было установлено, что наибольшую начальную сходимость с лабораторными данными нефти дает разбиение по корреляции Whitson при $\alpha=1$. При этом при $\alpha>1,5$ полученный состав вообще не поддается проведению данного эксперимента. Количество псевдокомпонентов при разбиении подбиралось таким образом, чтобы общее число компонентов в составе нефти совпадало с числом компонентов в составе газоконденсатной смеси. Данное условие необходимо для дальнейшей корректной инициализации и моделирования начального равновесия гидродинамической модели месторождения.

Далее осуществлялась адаптация полученной модели к результатам лабораторных исследований нефти. Были осуществлены следующие изменения в модели нефти:

1. Для получения высокой плотности нефти были перераспределены молярные доли первого и последнего псевдокомпонентов нефти, полученных при разбиении по корреляции Whitson. Лучшую сходимость по плотности обеспечивает соотношение их молярных долей, примерно равное 1:1;

2. Для адаптации величины давления насыщения была выбрана корреляция Pedersen для расчета фактора ацентричности всех высококипящих псевдокомпонентов;

3. Для получения критических свойств, соответствующих типу нефти, к которому относится моделируемый флюид, была изменена температура последнего псевдокомпонента F5 в диапазоне от 1 до 1,5%, что является допустимым при инженерных расчетах;

4. Для адаптации величины объемного коэффициента были внесены поправочные коэффициенты в сдвиг для объема для всех псевдокомпонентов.

В результате был получен состав нефти, приведенный в таблице 6.

Таблица 6

**Состав нефти месторождения
Южный Кемачи после адаптации**

№	Компо- ненты	Молярная доля, %	Молярная масса, г/моль	Крити- ческая температура, К	Критическое давление, бар	Ацентрический фактор
1	C1	33,853	16,043	190,560	45,990	0,020
2	C2	0,641	30,070	305,320	48,720	0,100
3	C3	0,094	44,097	369,830	42,480	0,152
4	IC4	0,000	58,123	407,800	36,400	0,184
5	NC4	0,039	58,123	425,120	37,960	0,200
6	N2	0,523	28,013	126,200	34,600	0,038
7	CO2	1,966	34,082	373,530	89,630	0,094
8	H2S	2,128	44,010	304,190	73,820	0,228
9	F1	0,083	163,000	668,300	20,800	0,555
10	F2	22,222	251,483	788,602	15,574	0,819
11	F3	11,753	265,483	792,205	15,032	0,854
12	F4	3,080	279,483	815,007	14,562	0,896
13	F5	23,617	298,455	840,640	15,373	0,966

Результаты проведения PVT-эксперимента CVD для данного состава в виде графиков зависимости плотности и объемного коэффициента от давления представлены на рисунке 5.

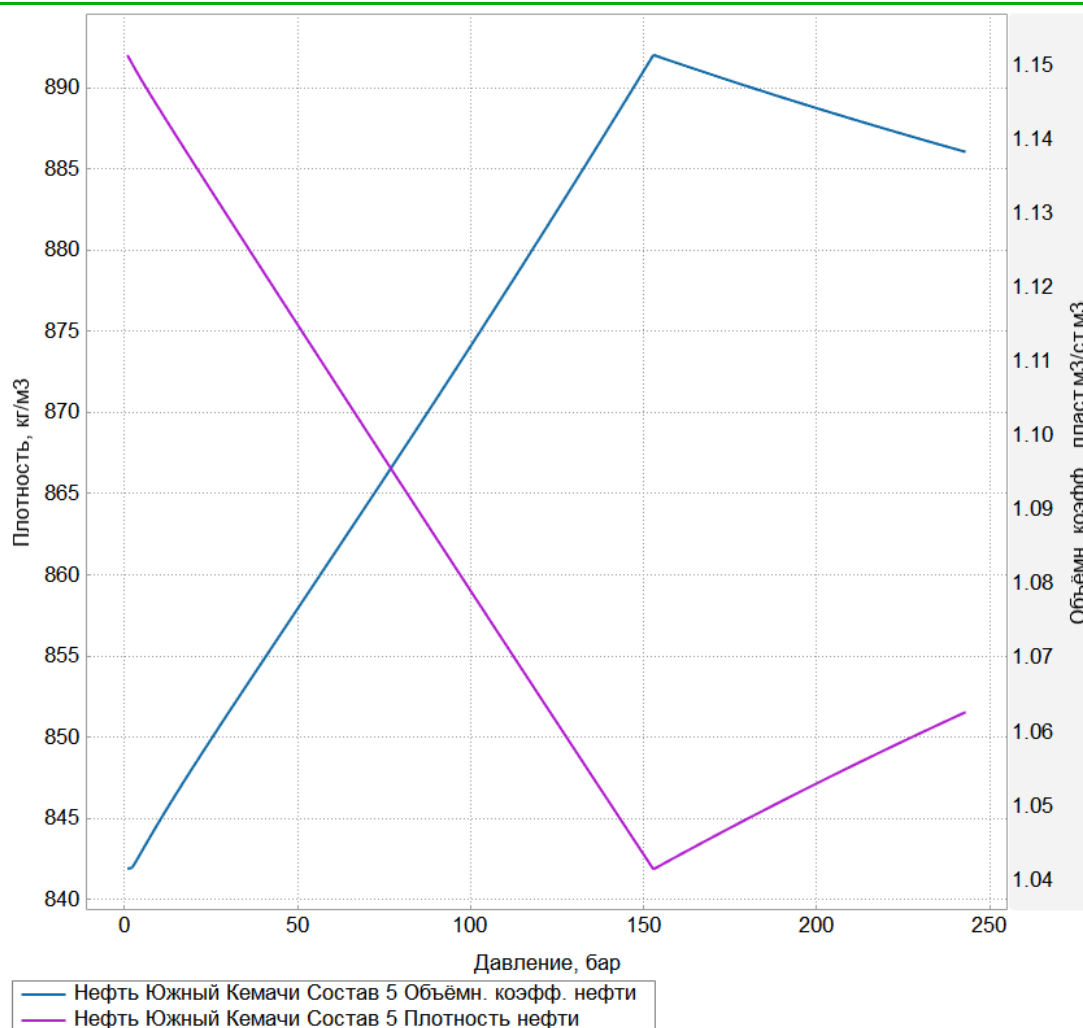


Рис. 5. Зависимость плотности и объемного коэффициента нефти месторождения Южный Кемачи от давления

На заключительном этапе было проведено сопоставление рассчитанных значений параметров полученной модели нефти с фактом и рассчитано отклонение рассчитанных и фактических параметров изотермы конденсации. Результаты расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7

Сопоставление фактических и рассчитанных параметров нефти месторождения Южный Кемачи

№	Параметр	Единица измерения	Факт	PVT-модель после адаптации	Отклонение, %
1	Давление насыщения	бар	152,9	152,814	0,056

Продолжение таблицы 7

2	Плотность в стандартных условиях	кг/м ³	892	892,009	0,001
3	Объемный коэффициент в стандартных условиях	м ³ /м ³	1,06	1,0415	1,745

Как видно из таблицы 7, полученная после адаптации модель нефти имеет хорошую сходимость с фактом в пределах 5% отклонения. Таким образом, данную модель можно использовать как альтернативу «Black Oil» для моделирования нефтяной оторочки месторождения Южный Кемачи. На рисунке 6 показана фазовая диаграмма для нефти полученного состава с линией изотермического снижения пластового давления от начального значения до величины давления «забрасывания» месторождения.

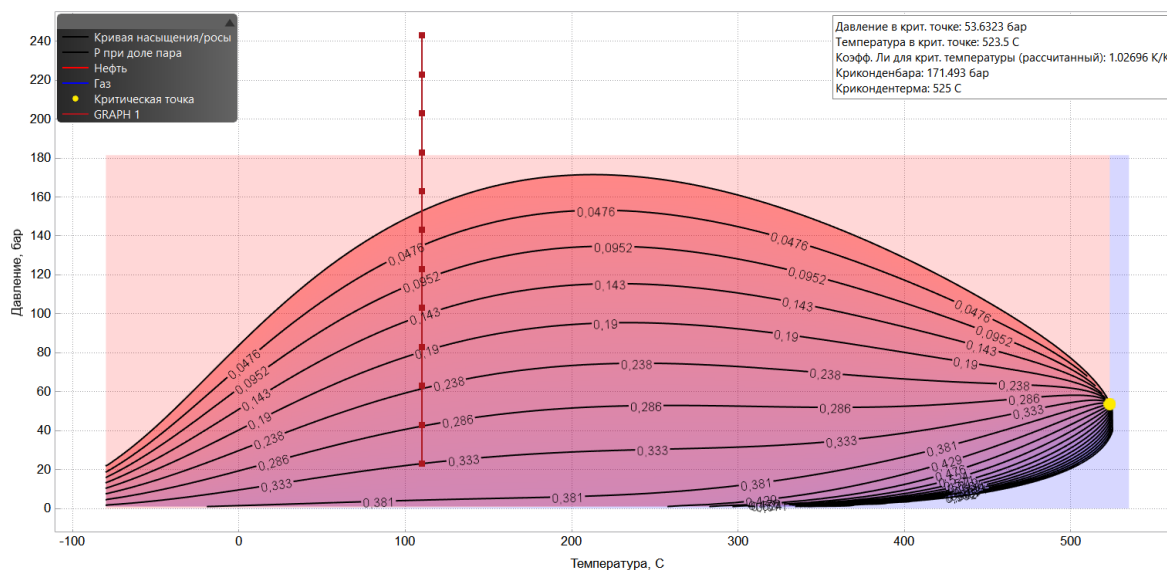


**Рис. 6. Фазовая диаграмма нефти
месторождения Южный Кемачи**

Таким образом, в данной работе была предложена методика построения композиционных PVT-моделей нефти и газоконденсатной смеси для моделирования разработки месторождений со сложным компонентным составом пластовых флюидов. В отличие от

существующих на сегодняшний день алгоритмов моделирования флюидов таких месторождений, предложенная методика имеет ряд преимуществ:

1. Практическая ориентированность, инженерная выполнимость и применимость для работы в условиях отсутствия большого объема данных о лабораторных исследованиях проб пластовых флюидов;
2. Конкретизация процесса адаптации с использованием параметров функций распределения и корреляций без нарушения физичности получаемой модели флюида;
3. Отсутствие нарушения инженерных погрешностей при изменении каких-либо параметров моделируемых псевдокомпонентов – все вносимые изменения не превышают 5%-ной погрешности;
4. Ориентация при адаптации свойств пластовых флюидов на результаты PVT-эксперимента CVD, как наиболее распространенного в применении для получения данных о физико-химических процессах, происходящих с флюидом при снижении пластового давления вследствие разработки в режиме истощения.

Также стоит отметить, что предлагаемая методика является дополнением к имеющимся сложным алгоритмам адаптации PVT-моделей и может быть полезна для моделирования с приемлемой точностью флюидов газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. Работоспособность методики показана путем моделирования флюидов реального разрабатываемого месторождения Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Назарова Л.Н. Разработка нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – 2019. – 340 с.
2. Пятибратов П.В. Гидродинамическое моделирование разработки нефтяных месторождений: Учеб. пособие для вузов. – М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2015. – 167 с.

3. Алиев З.С., Самуйлова Л.В. Учебное пособие по дисциплине «Газогидродинамические исследования газовых и газоконденсатных пластов и скважин» для вузов. М.: МАКС Пресс. – 2011. – 402 с.
4. Riazi M.R., Daubert T.E. Characterization Parameters for Petroleum Fractions. – Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. – 1980. – Т. 19, № 2. – P. 330–336.
5. Pedersen K.S., Fredenslund A., Thomassen P. Properties of Oils and Natural Gases. – Houston: Gulf Publishing Company, 1989. – 253 p.
6. Cavett D.M. Physical Properties of Natural Gases and Condensates // Advances in Petroleum Chemistry and Refining. – New York: Interscience Publishers, 1962. – Vol. 7. – P. 157–198.
7. Whitson C.H. Characterizing hydrocarbon plus fractions // SPE Journal. - 1983. - August. - pp. 683-694.
8. Pedersen K.S., Thomassen P., Fredenslund A. Thermodynamics of petroleum mixtures containing heavy hydrocarbons. 1. Phase envelope calculations by use of the Soave–Redlich–Kwong equation of state // Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development. – 1984. – Vol. 23, № 1. – P. 163–170.
9. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа / А.И. Брусиловский. – М.: «Грааль», 2002. – 575 с.
10. Ющенко Т.С., Брусиловский А.И. Новый инженерный метод создания и адаптации PVT-модели природной газоконденсатной смеси // Вести газовой науки. – 2015. – № 4 (24). – С. 32–38.
11. Ющенко Т.С., Брусиловский А.И. Поэтапный подход к созданию и адаптации PVT-моделей пластовых углеводородных систем на основе уравнения состояния // Георесурсы. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 164–181.
12. Гужов Н.А., Бузинова О.В. Проблемы моделирования начальных составов и термодинамического состояния газоконденсатных систем месторождений // Вести газовой науки. – 2014. – № 4 (20). – С. 64–72.

13. Назаров У.С., Шевцов В.М. и др. Проект совместной разработки нефтяной и газоконденсатной частей залежи месторождения Южный Кемачи: отчёт о НИР. – Ташкент: АО «O'ZLITINEFTGAZ», 2004. – 155 с.

14. Ким С.В., Холодов А.Н., Шафиев Р.У. и др. Коррективы к проекту разработки месторождения Южный Кемачи: отчет о НИР / АО «O'ZLITINEFTGAZ». – Ташкент, 2015. – 225 с.

15. Проект доработки месторождения Южный Кемачи с дообустройством и строительством дополнительного газопровода «Южный Кемачи – ДКС Кокдумалак» (коррективы): отчет о НИР. АО «O'ZLITINEFTGAZ» – Ташкент, 2020. – 220 с.

16. Алиев З.С., Мараков Д.А. Разработка месторождений природных газов: Учебное пособие для вузов. – М.: МАКС Пресс, 2011. – 340 с.

© Евстафеев Е.А., Акрамов Б.Ш.,
Нуриддинов Ж.Ф., Адизов Б.З., 2025

**РАЗДЕЛ III. ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЕ И БЛАГОПОЛУЧИЕ
СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА**

DOI 10.46916/09092025-13-978-5-00215-466-1

Глава 17.

**СОЗДАНИЕ НОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ВИРУСОВ И/ЛИ ЭКСПРЕССИИ ВИРУСНЫХ БЕЛКОВ –
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ВАКЦИН И/ЛИ БЕЛКОВ – «МИШЕНИЙ»**

Цинберг Марк Бенъяминович

д.м.н., профессор, президент

Куниловский Александр Анатольевич

учредитель

Ненашева Марина Николаевна

вице-президент по науке

и инновационному развитию, к.т.н.

Общество с ограниченной
ответственностью (ООО) «Экобиос»

Аннотация: Получено открытие «Явление экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях» (Цинберг М.Б., Куниловский А.А.). Идея основана на представлениях о том, что в эволюционном процессе митохондрии произошли от бактерий. Данное допущение позволило авторам доказать возможность инфицирования вирусами митохондрий, находящихся вне клеток, аналогично инфицированию вирусами бактерий, известному как бактериофагия. Процессу инфицирования вирусами внеклеточных митохондрий авторами дано название «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®». Прямые экспериментальные данные получены при проведении культивирования вирусов гриппа А с определением РНК методом ПЦР на модели: «внеклеточные митохондрии дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* – вирус гриппа А (H3N2)».

Цель исследований: создать качественно новую платформу для культивирования вирусов и/или вирусных белков на основе модели: «вирус - внеклеточные митохондрии».

Ключевые слова: научное открытие, вирусы, вирусные белки, внеклеточные митохондрии дрожжей, новая платформа, создание вакцин.

CREATING A NEW CULTIVATION PLATFORM VIRUSES AND/OR VIRAL PROTEIN EXPRESSION – POTENTIAL PRODUCTS FOR VACCINES AND/OR «TARGET» PROTEINS

**Tsinberg Mark Benyaminovich
Kunilovsky Alexander Anatolievich
Nenasheva Marina Nikolaevna**

Abstract: The discovery "The phenomenon of expression of influenza A virus proteins in extracellular mitochondria" was made (Tsinberg M.B., Kunilovsky A.A.). The idea is based on the idea that mitochondria evolved from bacteria in the evolutionary process. This assumption allowed the authors to prove the possibility of infection by viruses of mitochondria located outside cells, similar to infection by bacterial viruses, known as bacteriophagy. The authors gave the name "MITOCHONDRIOPHAGY[®]" to the process of infection with extracellular mitochondria viruses. Direct experimental data were obtained during the cultivation of influenza A viruses with the determination of RNA by PCR on the model: "extracellular mitochondria of yeast *Saccharomyces cerevisiae* – influenza A virus (H3N2)".

The purpose of the research: is to create a qualitatively new platform for the cultivation of viruses and/or viral proteins based on the "virus - extracellular mitochondria" model.

Key words: scientific discovery, viruses, viral proteins, extracellular mitochondria of yeast, new platform, creation of vaccines.

1. Введение

Авторское открытие «Явление экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях» (Цинберг М.Б., Куниловский А.А.) [1, с. 1] относится к областям медицины, биологии, вирусологии. Сущность открытия базируется на известных научных представлениях о вирусах, экспрессии белков и митохондриях.

Вирусы с геномами как РНК, так и ДНК были изучены на моделях дрожжей, и это помогло понять различные аспекты, связанные с циклом репликации вируса и взаимодействием «вирус-хозяин».

Современные представления о роли митохондрий в организме и природе прошли огромную трансформацию за последние десятилетия и открыли большие перспективы, как для диагностики, так и лечения многих заболеваний.

Прямые экспериментальные данные по заявке на открытие получены авторами при проведении исследований на модели: внеклеточные митохондрии дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* - вирус гриппа А (H3N2).

Идея открытия основана на представлениях о том, что в эволюционном процессе митохондрии произошли от бактерий. Данное допущение позволяет предположить возможность инфицирования вирусами митохондрий, находящихся вне клеток, аналогично инфицированию вирусами бактерий, известному как бактериофагия. Процессу инфицирования вирусами внеклеточных митохондрий авторами дано название «МИТОХОНДРИОФАГИЯ» зарегистрированное в качестве товарного знака № 2024771455 от 28.06.24 г. «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®» [2, с. 1].

На основе открытия авторами создано изобретение № 2024116399 от 13.06.24 г. «Способ культивирования высокопатогенного вируса гриппа А» [3, с. 1].

Цель исследований: создать качественно новую платформу для культивирования вирусов и/или вирусных белков на основе модели: «вирус - внеклеточные митохондрии».

2. Альтернативный способ культивирования вирусов и/или вирусных белков (литературный обзор)

2.1. Вирусы

Пристальный интерес к вирусам обусловлен их медицинской и научной значимостью. Постиндустриальная стадия развития человечества нацелена на высокие технологии, инновации во всех сферах. Особенно быстро развивается медицина: культивирование вирусов позволяет создавать новые профилактические вакцины.

Одной из наиболее опасных вирусных инфекций является грипп. В настоящее время по оценкам ВОЗ, ежегодно во всем мире регистрируется 3-5 миллионов случаев тяжелых инфекций гриппа, при этом 250 000-500 000 человек умирают [4, с. 251]. Вирус гриппа А относится к РНК-содержащим вирусам, что является причиной его высокой мутационной изменчивости, равно как и резистентности к лекарственным препаратам.

Согласно данным GenBank, каждый сегмент генома вируса гриппа А кодирует определённые белки. Внутренний матриксный белок М включает матричные белки М1 и М2 [5, с. 75].

Матричный белок М1 полифункционален: он участвует в синтезе новых вирусных РНП-комплексов, участвует в их транспорте из ядра в цитоплазму к месту сборки нового вириона, а также является организующим белком для формирования его оболочки, то есть обеспечивает целостность вирусной частицы. Вероятно, основным переключателем конформационных изменений белка М1 является значение рН. [5, с. 83]. По мнению специалистов института вирусологии им. Д.И. Ивановского ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. почетного академика Н.Ф. Гамалеи» это предположение вытекает из концепции об активной роли матриксного белка М1 в выходе внутреннего рибонуклеопротеида (РНП), из вирусной частицы и разрушении этого процесса при преждевременном закислении [6, с. 153].

Белок М2 - это трансмембранный белок оболочки вируса гриппа. В процессе функционирования М2 происходит ацидификация внутреннего содержимого эндосомы, содержащей вирион, транспортирующей его к месту репликации.

Процесс входа вируса в клетку хозяина, раскрытия вирусной частицы и дальнейшее воспроизводство рибонуклеопротеидов требует координированного взаимодействия между белками М1 и М2 [5, с. 84].

Вирусы не всегда являются разрушительным началом. Глобальная биологическая эволюция движется, в том числе и вирусами, выступающими как уникальные переносчики генетической информации, как фактор, способствующий генетическому обмену в биосфере [7, с. 113]. Современная медицинская биотехнология как наука, отделившаяся от микробиологии в XX веке, позволяет создать принципиально новые генно-инженерные вакцины, синтетические иммуномодуляторы, диагностикумы и вакцинные препараты [8, с. 6].

2.2. Экспрессия белка

Экспрессия белка играет решающую роль в разработке новых лекарств и лечения для различных заболеваний.

Вот некоторые из ключевых моментов, которые подчеркивают важность экспрессии белка [9, с. 3]:

1) Экспрессия белка необходима для обнаружения лекарств: развитие новых лекарств и методов лечения зависит от понимания механизмов заболеваний. Например, если белок сверхэкспрессируется при конкретном заболевании, он может быть потенциальной мишенью для препарата для ингибирования его активности.

2) Экспрессия белка является ключевым показателем заболевания: изменения паттернов экспрессии белка могут указывать на различные заболевания, включая рак.

3) Экспрессия белка важна для понимания клеточных процессов: белки, выполняя различные функции, такие как ферментативная активность, структурная поддержка и передача сигналов.

4) Экспрессия белка важна для инженерии белка: белковая инженерия - это процесс модификации белков для улучшения их функции или создания новых белков со специфическими свойствами.

2.3. Митохондрии

Следует обратить внимание, что основной теорией происхождения митохондрий многие годы остается гипотеза эндосимбиоза [10, с. 11796]. Она предполагает, что митохондрии некогда были свободноживущими бактериями, которые около 1,5 миллиарда лет назад оказались поглощены клеткой археи и со временем образовали с ней неразрывную связь. Такая «химерная» клетка стала полноценным эукариотом и впоследствии дала начало и растениям, и грибам, и животным. Недавно этот процесс впервые удалось (с определенной степенью условности) воспроизвести в лаборатории. Для этого команда всемирно известного биохимика Питера Шульца (Peter Schultz) воспользовалась изученными организмами - дрожжами *S. cerevisiae* и бактериями кишечной палочки *E. coli*.

Митохондрии содержат свой собственный генетический механизм, имеют многокопийные геномы и, подобно своим бактериальным предкам, состоят из двух мембран. Для трансляции собственных белков митохондрии синтезируют две рибосомальные и 22 транспортных РНК. Некоторые белки выполняют в митохондрии функции, схожие с ядерными гистонами, формируя некоторый эквивалент хроматину клеточного ядра [11, с. 22].

Как и сами митохондрии, митохондриальные рибосомы произошли от бактериальных рибосом [12, с. 103].

Таким образом, теоретическая идея базировалась нами на следующих допущениях:

- митохондрии в далеком прошлом были бактериями;
- бактерии, внедрились в клетки различных иерархических форм жизни и в процессе эволюции превратились в митохондрии, в т.ч. в митохондрии дрожжей;
- морфологически и функционально между митохондрией и бактериями много общего, включая наличие поверхностной клеточной оболочки, внутриклеточных мембран (кrist), цитоплазмы и отсутствие

структурированного ядра, способность размножаться, иметь собственный метаболизм, в т.ч. образование энергии и потребление кислорода (для - аэробов).

Большая часть современных знаний о функции и дисфункции митохондрий почерпнута из исследований с использованием дрожжей родов *Saccharomyces* и *Candida*.

Одним из авторов настоящей монографии (Цинберг М.Б.) ранее были проведены методические и научно-исследовательские работы по выделению фракций митохондрий из клеток дрожжей рода *Candida* с исследованиями процессов дыхания, белков аминокислотного обмена, ферментов и изоферментов [13, с. 5-8].

В обзоре авторов Кит О.И., Франциянц Е.М. и др. [14, с. 40] проведен анализ современных научных данных, посвященных доказательству существования внеклеточных митохондрий, их функций вне клетки и диагностической ценности.

Фракцию внеклеточных митохондрий получили с помощью центрифугирования клеточной ростовой среды и проанализировали ее различными методами, включая применение электронной и флуоресцентной микроскопии и метод, измеряющий клеточное дыхание. Результаты показали, что внеклеточные митохондрии функциональны [15, с. 1].

Обзор литературных данных показывает, что за последние десятилетия современные представления о роли митохондрий в организме и природе прошли огромную трансформацию и открыли большие перспективы, как для диагностики, так и лечения многих заболеваний.

2.4. Взаимодействие вирусов, дрожжей и митохондрий

Что касается взаимодействия вирусов и дрожжей, то впервые в 1963 г. Бивэном и Маковер обнаружены вирусы, которые синтезируют в клетках дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* киллер-токсины [16, с. 59].

Изучая патогенез вирусных инфекций, который носит деструктивный характер, Салогуб Т.В. и соавторы отмечают, что инфекционный процесс, вызванный вирусами, развивается в пределах

того или иного органа или ткани, так как большинство вирусов обладают достаточно высокой органной или тканевой тропностью [17, с. 55].

В работах зарубежных авторов, отмечается, что дрожжи являются важной модельной системой для вирусных исследований на основании таких преимуществ, как простота культивирования, короткое время удвоения, доступность множества экспериментальных инструментов для генетических манипуляций [18, с. 1665]. Исследования дрожжей, несомненно, расширили знания о репликации вирусного генома, взаимодействии вируса с хозяином, локализации вирусных белков и влиянии на внутриклеточные структуры, регуляции цикла клеток-хозяев и гибели клеток. Дрожжи обладают дополнительными преимуществами по сравнению с использованием клеточных систем млекопитающих. Например, дрожжевые клетки растут намного быстрее, чем клетки млекопитающих, и их очень легко поддерживать в лабораторных и промышленных условиях. Следовательно, использование дрожжей может быть более рентабельно, чем использование куриных эмбрионов и клеток млекопитающих.

Российские ученые отмечают, что длительный опыт использования дрожжей в хлебопекарной промышленности и виноделии доказал их непатогенность для человека, а также способствовал развитию технологий масштабного культивирования дрожжей. Использование относительно простых питательных сред, возможность выращивания штаммов – продуцентов в строго заданных условиях позволяют выполнять требования GLP (Good Laboratory Practice) и GMP (Good Manufacturing Practice) при производстве гетерологичных белков [19, с. 4].

Инициатива создания штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* – продуцентов белков медицинского назначения в России принадлежит коллективу ученых лаборатории биохимической генетики Биологического НИИ Санкт-Петербургского государственного университета медицинской и биотехнологической продукции.

2.5. Известные биотехнологии культивирования вирусов

Культивирование (от лат. *cultivo* – возделывать) представляет собой процесс разведения и выращивания чего-либо в искусственных

условиях. В медицине культивирование является основным процессом, позволяющим изучать воздействие вируса на живой организм. В микробиологии культивирование вирусов считается одним из основных способов получения информации и ключевым инструментом биологического метода исследования.

Следует отметить, что использование лабораторных животных в качестве биологического материала, в силу своей негуманности, ограничено с 1986 года Европейской конвенцией о защите позвоночных животных [20, с. 1].

Тканевая культура представляет собой некую систему клеток в виде суспензии, чаще других используется первичная монослойная ткань. Срок жизни таких культур ограничен [21, с. 25].

Вирусы можно выращивать в куриных эмбрионах. Срок, на котором заражается эмбрион, зависит от задач исследования и вида вируса, но обычно не превышает двух недель [21, с. 27].

По решению Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) во всех странах запрещен выпуск медицинских, ветеринарных вакцин на биологических системах, контаминированных посторонними агентами в России с 1998 г. приказом № 45 от 20 октября по Департаменту ветеринарии МСХ РФ биологической промышленности было предписано использовать при производстве вакцин только SPF – эмбрионы. Приказ № 45 432/512 от 03.12.1999 г. по Минздраву и Минэкономике РФ обязывает производить препараты в строгом соответствии с требованиями GMP [22, с. 70].

В настоящее время РФ не располагает собственным производством SPF - яиц. Значительная часть потребностей биологической промышленности и научно-исследовательских учреждений обеспечиваются импортными поставками из США, Италии, Венгрии, Германии, Индии. В тоже время потребность в SPF - яйцах растет и составляет в России и странах СНГ в настоящее время порядка 2,6 млн. штук в год. Создание собственного SPF - производства значительно повысит качество производимых препаратов, эффективность научных исследований, будет содействовать созданию необходимого уровня биологической безопасности страны в целом. Соответственно требуется

проработка вопросов организации производства. Необходимым условием для производства вакцин является использование SPF - яйца. Все Отечественные производители вакцин закупают SPF - яйцо за рубежом. В условиях международных санкций по отношению к России и тотальной зависимости от зарубежных поставщиков авторы научной статьи считают, что для бесперебойного снабжения Отечественных производителей биопрепаратов и независимости государства от зарубежного поставщика необходимо рассмотреть вопрос по созданию ферм по производству SPF - яйца на территории РФ [22, с. 69].

Авторы обращают внимание, что в течение десятилетий обсуждается разработка альтернатив для изготовления вакцин без использования SPF - яйца. Однако ничего не указывает на то, что в ближайшее время изготовление вакцин с применением SPF - яиц может быть полностью заменено альтернативными технологиями. Создание предприятий по производству SPF – яйца - это стратегический вопрос. Для обеспечения биологической безопасности России в сфере эпизоотического благополучия необходимо строительство крупных SPF - питомников в разных уголках России: например, в Центральной части и за Уралом. Это даст возможность избежать ситуации, если один из них попадет в карантинную инфекционную зону. Существуют, конечно, и риски при создании SPF - питомников: освоение производства с «нуля»; отсутствие опыта ведения подобных объектов; производство скоропортящегося продукта; ограничение по срокам хранения и реализации SPF - яйца; высокие затраты на получение и обновление маточного - племенного поголовья [22, с. 72-73].

2.6. Вакцины (краткие сведения)

Вакцинация против гриппа является наиболее экономически эффективным методом предотвращения заражения гриппом. Быстрая доступность вакцин против гриппа для населения мира является одним из ключевых факторов эффективного охвата против сезонного и пандемического гриппа.

Специалисты научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» отмечают, что в настоящее время разработан целый ряд направлений практического использования вирусов: диагностика

вирусных инфекций, лечение вирусных заболеваний и развитие вакцинных технологий [23, с. 33].

Появление новых антигенов вакцин против гриппа также требует технологий производства, отличных от классического размножения вируса на основе яиц или клеток. Это может дать несколько преимуществ, таких как сокращение времени производства, увеличение производительности и стабильности продукта, а также меньший риск попадания посторонних веществ в конечный продукт.

В настоящее время вакцинация не только не теряет своего значения, но и становится все более востребованной. Она позволяет предупредить массовые инфекции, инвалидизацию и смертность от них, онкологические, соматически заболевания. Спектр лечебных вакцин активно развивается [24, с. 162].

По нашему мнению, качественно новая платформа для культивирования вирусов и/или вирусных белков на основе модели: «вирус - внеклеточные митохондрии» может открыть новые возможности и перспективы для производства отечественных вакцин.

3. Материалы и методы исследований

В рамках выполненных экспериментальных исследований авторами использованы современные научно–методические подходы.

Цикл экспериментальных работ по Авторской методике «Культивирование вирусов в митохондриях дрожжей» включает следующие этапы:

- культивирование дрожжей на плотных и жидких питательных средах;
- получение концентрированной сырой биомассы дрожжей;
- выделение из сырой биомассы дрожжей сферопластов и фракции митохондрий;
- инфицирование митохондрий вирусом гриппа А;
- контроль количества вирусов гриппа А методом ПЦР в реальном времени с использованием калибратора.

В качестве объектов исследования при создании модельного эксперимента *in vitro*, авторами была выбрана пара «внеклеточные митохондрии - вирусы» с использованием коллекционных штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (Приложение 1) и вируса гриппа А (Приложение 2).

Важнейшие и оригинальные реактивы, применяемые в процессе экспериментальных работ по получению внеклеточных митохондрий дрожжей и их инфицированию вирусом, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень важнейших и оригинальных реактивов

№ п/п	Наименование	Марка	Производитель	Поставщик
1	Лиофилизированная культура клеток дрожжей <i>S.cerevisiae</i>	S179-5A, Y-100	БРЦ ВКПМ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»	
2	Фермент Зимолиаза	Реагент Zymolyase [®]		ООО «Агентство Химэксперт»
3	Набор реагентов для выявления и количественного определения РНК вируса гриппа подтипа А методом ПЦР с обратной транскрипцией ПОЛИВИР <i>inflA</i>	ПЦР	ООО НПФ «Литех» г. Москва	ООО НПФ «Литех» г. Москва
4	Вирус гриппа А в виде 25 криопробирок по 1,0 мл	Штамм А/ Хабаровск /53/2022	ФГБУ «Научно-исследовательский институт гриппа им. А.А. Смородинцева»	ООО «Текс Логистикс» (г.Москва) Оказание услуг по перевозке груза (биообразцов) с предоставлением термоконтейнера GDP-9L (не выше -60С), сухого льда и терморегистратора USB

Продолжение таблицы 1

5	Набор «Комплект реагентов для выделения РНК/ДНК из клинического материала «Рибореф»	AmplifySens	ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора г. Москва	ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора г. Москва

Приготовление питательных сред для выращивания дрожжей осуществлено с применением реагентов поставки ООО «Компания Хеликон».

Приготовление буферных сред для получения сферопластов и выделения митохондрий дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* S179-5A (ВКПМ Y-100) осуществлено с применением реагентов поставки ООО «Компания Хеликон» и ООО «ТД ХИММЕД».

Положительные результаты сочетания ферментативного и механического методов разрушения дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* для выделения митохондрий с целью дальнейших исследований приведены в диссертационной работе Зыриной А.Н. [25, с. 58]. Методические подходы, изложенные в литературе были положены в основу проведения собственных экспериментальных работ по выделению митохондрий дрожжей.

Выявление и количественное определение РНК вируса гриппа А осуществлено методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с обратной транскрипцией ПОЛИВИР *inflA* с использованием контролей (стандартные образцы 1, 2, 3, ПКО, ОКО) с применением набора реагентов ООО «НПФ «Литех» (г. Москва) [26, с. 1]. ОТ-ПЦР широко используется для выявления вирусов, геном которых представлен РНК (вирусы гриппа и другие), для диагностики генетических заболеваний и полуколичественного определения специфических молекул РНК в клетке или ткани как индикатор экспрессии соответствующих генов [27, с. 20].

ПЦР-диагностика является одним из наиболее современных и технологичных методов выявления микроорганизмов. ПЦР, основанная на амплификации нуклеиновых кислот, позволяет достичь высокой диагностической чувствительности и специфичности в сочетании с высокой скоростью выполнения исследования [28, с. 77].

4. Результаты исследований

Научно-исследовательские работы по культивированию дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, получению внеклеточных митохондрий и их инфицированию высокопатогенным вирусом гриппа А проведены в соответствии с Авторской методикой «Культивирование вирусов в митохондриях дрожжей» совместно со специалистами лабораторий Научно-исследовательского центра федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России (ФГБУ ВО ОрГМУ Минздрава России), имеющего санитарно-эпидемиологическое заключение на работу с микроорганизмами III-IV класса опасности, в рамках Соглашения о сотрудничестве между ФГБУ ВО ОрГМУ Минздрава России и компанией «Экобиос».

Культура клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* S179-5A выращивалась на плотной питательной среде Сабуро (с хлорамфениколом) при температуре 30°C в термостате TC0-1/80 в течение 48 часов. После этого клетки смывали стерильным физиологическим раствором и доводили до оптической плотности 5,4 единиц по МакФарланду с использованием прибора для определения мутности Densi-La-Meter II.

Дополнительно была подготовлена культура клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* S179-5A в жидкой питательной среде Сабуро, выращенная при температуре 30°C в термостате TC0-1/80 в течение 48 часов.

Биомассу клеток дрожжей подвергали ферментативной обработке для получения сферопластов – промежуточной стадии перед выделением культуры митохондрий.

Фермент зимолиазу вносили в суспензию для образования сферопластов, инкубировали при постоянном перемешивании на магнитной мешалке при 30°C, образование сферопластов контролировали с помощью спектрофотометрии.

Разрушение сферопластов осуществляли в гомогенизаторе. Затем пробу из гомогенизатора переносили в пробирки для осаждения разрушенных сферопластов.

Супернатант переливали в чистые пробирки, после чего производили два высокоскоростных центрифугирования для осаждения митохондрий. При этом между центрифугированиями супернатант сливали, а осадок ресуспендировали в буферном растворе.

Входной контроль качества реагентов для выявления и количественного определения РНК вируса гриппа А методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией ПОЛИВИР *inflA* (ООО НПФ «Литех», г. Москва) показал, что контрольные точки достоверно расположены на одной прямой, следовательно, набор реагентов является комплектным, работоспособным и годным к использованию (рис. 1).

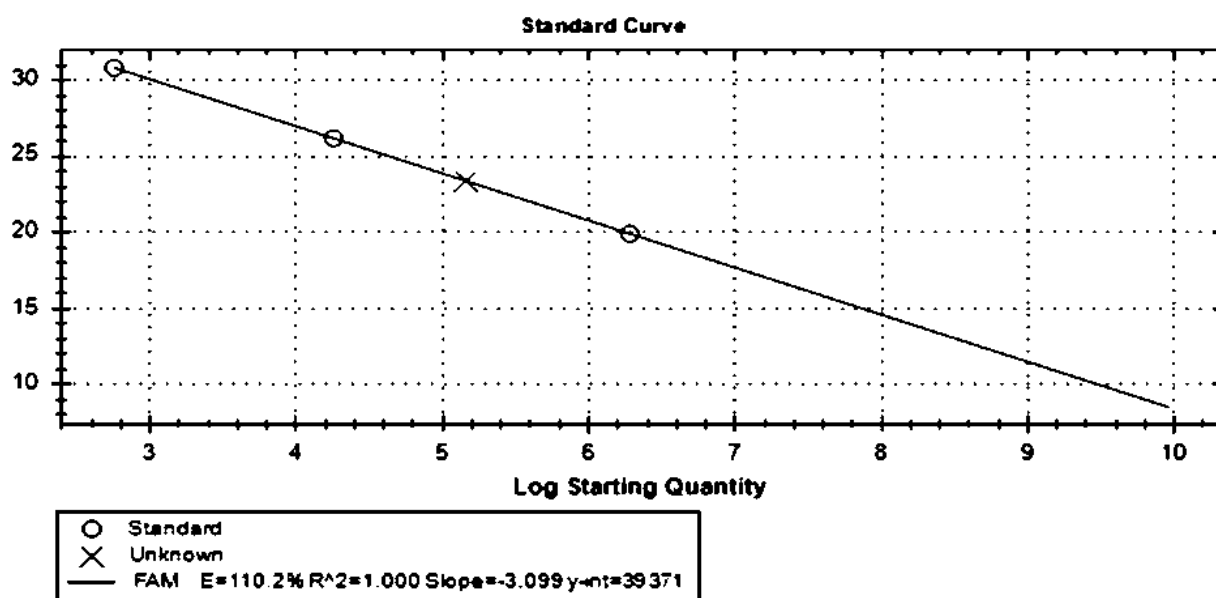


Рис. 1. Калибровочная кривая

Методом серийных разведений вирус гриппа А в концентрации $9,2 \cdot 10^9$ ГЭ/мл доводился до «рабочей» концентрации $9,2 \cdot 10^4$ ГЭ/мл для осуществления следующего этапа исследования (рис. 2).

Well	Fluor	Target	Content	Sample	Cq	SQ
A01	Cy5		Std		N/A	1.900E+06
A02	Cy5		Std		N/A	1.800E+04
A03	Cy5		Std		N/A	5.700E+02
A04	Cy5		Unkn	конц	20.76	N/A
A09	Cy5		Pos Ctrl		22.30	N/A
A10	Cy5		Neg Ctrl		N/A	N/A
A01	FAM		Std		19.91	1.900E+06
A02	FAM		Std		26.20	1.800E+04
A03	FAM		Std		30.82	5.700E+02
A04	FAM		Unkn	конц	8.49	9.232E+09
A09	FAM		Pos Ctrl		23.38	1.445E+05
A10	FAM		Neg Ctrl		N/A	N/A

Рис. 2. Полученные данные с прибора CFX96 Real-Time System (Bio-Rad, США) (стрелкой указана концентрация исходного вируса гриппа А)

Полученное рабочее разведение вируса гриппа А инокулировали во взвесь митохондрий, полученных из суспензии дрожжей.

В качестве контроля опыта «рабочее разведение» вируса гриппа смешивалось с физ.раствором.

Инкубация проб осуществлялась при температуре 30°C в течение 162 часов.

Количественный учет РНК вируса гриппа А в контрольных и опытных образцах определялся в геном-эквивалентах (ГЭ/мл).

На основании полученных результатов было установлено достоверное максимальное увеличение количество белков исследуемого вируса гриппа А во внеклеточных митохондриях дрожжей в 4,3 раза.

5. К вопросу коммерциализации полученных результатов

Анализ литературных данных и получение собственных результатов дают возможность авторам на основе открытия «Явление экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях» рассмотреть пути коммерциализации идеи создания новой платформы для разработки биотехнологии «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®».

5.1. Инновационный цикл создания новой платформы для разработки биотехнологии «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®»

Разработанная нами оригинальная модель инновационного цикла создания новой платформы для культивирования вирусов и/или экспрессии вирусных белков – потенциальных продуктов получения вакцин и/или белков – «мишеней» включает следующие основные стадии (рис. 3):

- разработка авторской методики «Культивирование вирусов в митохондриях дрожжей»;
- применение современных научно-методических подходов;
- комплектация важнейшими и оригинальными реактивами;
- экспериментальные исследования;
- патентование результатов НИР;
- получение товарного знака;
- маркетинг на всех стадиях, включая исследования рынка;
- разработка алгоритма процесса коммерциализации результатов ОИС;
- поиск партнеров;
- создание стартапа по коммерциализации ОИС;
- разработка направлений стартапа;
- получение продукта;
- реализация концепции бизнеса.



**Рис. 3. Инновационный цикл создания новой платформы
для разработки биотехнологии «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®»**

Ключевым этапом реализации идеи создания новой платформы для разработки биотехнологии «МИТОХОНДРИОФАГИЯ®» является поиск научно-технологического партнера и партнера – биотехнологической компании полного цикла (рис. 4).



**Рис. 4. Партнеры компании «Экобиос» по реализации идеи создания новой платформы для разработки биотехнологии»
МИТОХОНДРИОФАГИЯ®»**

5.2 Пути реализации новой биотехнологии

Пути реализации новой биотехнологии могут развиваться по одному из возможных вариантов:

- культивирования вирусов гриппа А (и иных) во внеклеточных митохондриях дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*;
- получения целевых белков - «мишеней» на основе экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Реализация полученных результатов должна осуществляться по следующим направлениям:

- Определение аппаратного оформления технологического процесса производства по получению внеклеточных митохондрий дрожжей и их инфицирования.

- Определение аппаратного оформления технологического процесса культивирования вирусов и/или экспрессии вирусных белков.
- Оценка разработки технологии очистки культуры вируса (вирусных белков), с целью возможного дальнейшего их применения, для лабораторной диагностики вирусных инфекций, изучения патогенеза при вирусных инфекциях, получения вакцин и диагностических препаратов.

6. Обсуждение

По мнению ведущих ученых страны культивирование вирусов гриппа А (и иных) во внеклеточных митохондриях дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с целью накопления вируса представляет большой интерес в плане возможной разработки иммуно-профилактических лекарственных препаратов (далее - ИЛП) и препаратов для диагностики гриппа и других респираторных инфекций.

Научное открытие «Явление экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях» сформировало новую платформу для проведения поисковых исследований, которые могут продемонстрировать высокую эффективность накопления вирусов на модели внеклеточных митохондрий.

Также интересным представляется вопрос выращивания труднокультивируемых вирусов, таких как ротавирусы, вирусы денге, вирус дальневосточного клещевого энцефалита и другие, на модели внеклеточных митохондрий, так как в настоящее время не разработаны платформы для достаточной наработки данных вирусов, что является проблемой для производства ИЛП и препаратов для диагностики.

В дальнейшем, при разработке нового способа культивирования вирусов во внеклеточных митохондриях, в дополнение к имеющимся результатам, необходимо изучить механизмы проникновения вирусов в митохондрии, их взаимодействие с митохондриальными и клеточными рибосомами, подключить разные методы и методические подходы для доказательства размножения вирусов во внеклеточных митохондриях и их жизнеспособность (например, культуральные), разработать и учесть все этапы технологического процесса.

7. Заключение

В авторских публикациях [31-34] показано, что новая платформа «вирусы – внеклеточные митохондрии дрожжей» имеет фундаментальные и прикладные аспекты для ее применения в медицине. На основе открытия авторы планируют в дальнейшем разработать принципиально новый альтернативный способ культивирования вирусов без использования куриных эмбрионов, культур клеток органов млекопитающих и человека, что потенциально позволит технологически упростить процедуру выращивания вирусов и значительно снизить финансовые затраты.

Авторское научное открытие имеет научное фундаментальное значение для биологии, т.к. позволяет дополнить теорию эволюции и формирования органоидов клетки, включая митохондрии, и уточнить ряд теоретических положений молекулярной биологии. В области биотехнологии прикладные аспекты открытия для медицины позволяют:

- обосновать получение через экспрессию новых белков и белков – «мишеней»;
- разработать способы культивирования вирусов в митохондриях дрожжей, находящихся вне дрожжевой клетки;
- обосновать возможность использования культур вирусов и вирусных белков для лабораторной диагностики вирусных инфекций, изучения патогенеза при вирусных инфекциях, получения вакцин и диагностических препаратов.

На основе полученных результатов исследований авторы создали качественно новую платформу для культивирования вирусов и/или вирусных белков во внеклеточных митохондриях дрожжей на примере пары «внеклеточные митохондрии дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* – вирус гриппа А (H3N₂)».

Благодарности

Авторы настоящей монографии выражают благодарность специалистам и директору Научно-исследовательского центра ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России за проведение совместных экспериментов, обработку и обсуждение полученных результатов в рамках договора НИР

№ДХД/2024/140704/2/ЮЛ/НИЦ от 18.03.2024г. Заказчик: ООО «Экобиос», Исполнитель: НИЦ ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Авторы настоящей монографии выражают благодарность ученым «Национальный центр эпидемиологии и микробиологии им. почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов, связанных с написанием монографии.

Список литературы

1. Свидетельство Российской академии наук, Международной академии авторов научных открытий и изобретений, Международной ассоциации авторов научных открытий на открытие «Явление экспрессии белков вирусов гриппа А во внеклеточных митохондриях», установленное в ООО «Экобиос», зарегистрированное в Международной академии авторов научных открытий и изобретений на основании научной экспертизы заявки на открытие № А-706 от 11 февраля 2025 г. (Диплом № 548). Авторы открытия: Цинберг Марк Бенъяминович, Куниловский Александр Анатольевич.

2. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 1080015 «МИТОХОНДРИОФАГИЯ»: № 2024771455: заявл. 28.06.2024 г.: зарегистрировано в Госреестре РФ 21.06.2025 г. / правообладатель ООО «Экобиос». Бюл. № 2-2025.

3. Патент 2836875. РФ, МПК С12N7/04. Способ культивирования высокопатогенного вируса гриппа А: № 2024116399: заявл. 13.06.2024г.: опубл. 24.03.25 / Цинберг М.Б., Куниловский А.А.; патентообладатель ООО «Экобиос». Бюл. № 9 -2025.

4. Питер К. Соема, Рональд Компьер, Жан-Пьер Амория, Гидеон Ф.А. Вакцины против гриппа нынешнего и следующего поколений: стратегии разработки и производства. Обзорная статья // Европейский журнал фармацевтики и биофармацевтики. 2015. Т. 94. С. 251-263.

5. Дунаева М.Н. Молекулярно-генетические механизмы репликации вируса гриппа А и механизмы действия этиотропных

препаратов // Антибиотики и химиотерапия. 2024; Т. 69, № 3–4. С. 73–94. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-3-4-73-94>.

6. Жирнов О.П. Асимметричная структура вируса гриппа А и новая функция матричного белка М1 // Вопросы вирусологии. 2016. Т. 61, № 4. С. 149-154. <https://doi.org/10.18821/0507-4088-2016-61-4-149-154>.

7. Захидов С.Т. Этюды о вирусах // Экономические стратегии. 2022. № 4. С. 113-119.

8. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология: учебник в 2 т. / В.В. Зверева, М.Н. Бойченко. - 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. Т. 1. 448 с.

9. Экспрессия белка. AA AA1: дорожная карта к экспрессии белка. Faster Capital: <https://fastercapital.com/ru/content/> (дата обращения 16.03.2024).

10. Mehta AP, Supekova L, Chen JH et al. Engineering yeast endosymbionts as a step toward the evolution of mitochondria // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2018. N. 46. P. 11796-11801.

11. Шендоров Б.А. Роль митохондрий в профилактической, восстановительной и спортивной работе. // Вестник восстановительной медицины. 2018. №1. С. 21-31.

12. Structure and Function of the Mitochondrial Ribosome // Annual Review of Biochemistry. 2016. Vol. 85. P. 103-132.

13. Цинберг М.Б. Изучение особенностей метаболизма аминокислот и иммунохимическая характеристика дрожжевых грибов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.м.н.: Ростов-на-Дону. 1979. 22 с.

14. Кит О.И., Франциянц Е.М., Шихлярова А.И. и др. Внеклеточные митохондрии – перспективные диагностические агенты // Research and Practical Medicine Journal (Исследования и практика в медицине). 2024; Т.11 №1. С. 40-53. <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2024-11-1-4>.

15. Zahra A Amir Dache, Romain Meddeb, Andrew Bennett et al. // Blood contains circulating cell-free respiratory competent mitochondria. // The FASEB Journal. 2020. P. 1-15. <https://DOI: 10.1096/fj.201901917RR>.

16. Самбук Е.В., Музаев Д.М., Румянцев А.М., Падкина М.В. Киллер-токсины дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*: синтез, механизмы действия и практическое использование // Экологическая генетика. 2019. Т.17. № 3. С. 59–73. <https://doi.org/10.17816/ecogen17359-73>.
17. Сологуб Т.В., Ледванов М.Ю., Малый В.П. и др. Патогенез вирусных инфекций. //Фундаментальные исследования. 2009. № 10. С. 55-60.
18. Zhang L, Qin Y, Chen M. Viral strategies for triggering and manipulating mitophagy. // Autophagy. 2018; Vol. 14 N.10. P.1665-1673. <https://doi: 0.1080/15548627.2018.1466014>.
19. Падкина Е.В. Сравнительный анализ экспрессии гетерологических генов в дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* и *Pichia pastoris* и изучение условий повышения продукции рекомбинантных белков: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук: 03.00.15. СПб. 2005. 33с.
20. Европейская Конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986г.). Официальный сайт Совета Европы <http://conventions.coe.int>, по состоянию на 31.08.2005. С. 1-13.
21. Основы медицинской вирусологии: учебно-методическое пособие / Н.Ф. Казак. Минск: БГМУ, 2019. 164 с.
22. Новикова Л.И., Мельник Р.Н., Мельник Н.В. и др. Необходимость создания отечественного питомника и требования к производству SPF-яйца // Ветеринарный врач. 2024. № 3. С. 69 – 73. DOI: 10.33632/1998-698X_2024_3_69.
23. Нетёсов С.В., Маркович Н.А. Введение в молекулярную вирусологию // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. ТОМ. 18, № 1. С. 22-39.
24. Белинская Д.В. Вакцинация как элемент культуры здоровья // Электронный научный журнал «Наука. Общество. Государство». 2021. Т. 9. № 4. С. 159–168. doi:10.21685/2307-9525-2021-9-4-18.
25. Зырина А.Н. Изучение молекулярных механизмов передачи сигналов от митохондрий к ядру в клетках дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Автореферат диссертация на соискание ученой степени к.б.н., - М.: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2017. 28 с.

26. Памятка по применению набора реагентов для выявления РНК вируса гриппа подтипа А методом ПЦР с обратной транскрипцией ПГА. Разработчик: Компания ООО НПФ «Литех». М. 2024. 4 с.

27. Основы полимеразной цепной реакции: методическое пособие ООО «ДНК – технология» / В.В. Зорина В.В. М. 1993. 151 с.

28. Волков А.Н., Начева Л.В., Захарова Ю.В. Молекулярно-генетические методы в практике современных медико-биологических исследований. Часть II: Использование ПЦР в диагностике инфекционных заболеваний человека // Фундаментальная и клиническая медицина. 2021. Т.6. № 1. С. 77-85. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-1-77-85>.

29. Цинберг М.Б., Куниловский А.А., Ненашева М.Н. Методы выделения митохондрий: краткий обзор литературы и собственная практика // Технические и естественно-научные достижения современности: актуальные вопросы и разработки: Сб. научных статей. Волгоград. ООО «СФЕРА». 2024. С. 74-79.

30. Цинберг М.Б., Куниловский А.А., Ненашева М.Н. Вирусы: размножение в природе, культивирование в биотехнологии и применение в медицине (краткий обзор литературы) // Технические и естественно-научные достижения современности: актуальные вопросы и разработки: Сб. научных статей. Волгоград. ООО «СФЕРА». 2024. С. 81-85.

31. Цинберг М.Б., Куниловский А.А., Ненашева М.Н. Современные методы количественного определения вирусов на примере вируса гриппа А // Наука и инновации - современные концепции: Сб. научных статей. М., 2024. С. 81-88.

32. Tsinberg M. B., Kunilovsky A.A., Nenasheva M.N. Viruses and yeast: are they enemies or friends? Theory and practice // Proceedings of the International University Scientific Forum «Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA». Part 2. (July 31, 2024. UAE). P. 68-74.

© Цинберг М.Б., Куниловский А.А., Ненашева М.Н.

Глава 18.
**РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНАТОМО-
ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ОТРОСКА
ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ**

Лапина Наталья Викторовна
заведующий кафедрой стоматологии
и ортопедической стоматологии,
д.м.н., профессор

Овчаренко Евгения Сергеевна
доцент кафедры стоматологии,
к.м.н., доцент

Коблов Дмитрий Александрович
очный аспирант,
ассистент кафедры стоматологии

Лапин Вадим Вадимович
студент 4 курса
Стоматологический факультет
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
медицинский университет» Министерства
здравоохранения Российской Федерации

Аннотация: Рентгенологическая оценка анатомо-топографических и денситометрических особенностей альвеолярного отростка верхней челюсти необходима для принятия обоснованных клинических решений при имплантологическом лечении. Проведенное исследование альвеолярного отростка верхней челюсти показывает, что более чем у 75% обследованных пациентов наблюдается значительная атрофия и низкая плотность костной субстанции, как во фронтальном, так и в боковых сегментах альвеолярной кости на верхней челюсти, поэтому трехмерное планирование имплантологического лечения при помощи конусно-лучевой компьютерной томографии расположения и применения

нужной линейки размерного ряда имплантатов позволит безопасно и эффективно проводить инсталляцию имплантата, а знание плотности костной структуры позволит врачу выбрать тот участок альвеолярной кости для имплантации, который будет способствовать эффективной первичной стабильности имплантата в костной субстанции. Особенности и сложности анатомии альвеолярного отростка верхней челюсти диктуют определенную стратегию для выполнения имплантологического лечения врачом-стоматологом хирургом.

Ключевые слова: верхняя челюсть, альвеолярный отросток, плотность кости, имплантация.

X-RAY ANALYSIS OF ANATOMICAL-TOPOGRAPHICAL AND DENSITOMETRIC INDICATORS FOR EVALUATION OF THE ALVEOLAR PROCESS OF THE MAXILLARY JAW

**Lapina Natalia Victorovna
Ovcharenko Evgenia Sergeevna
Koblov Dmitry Aleksandrovich
Lapin Vadim Vadimovich**

Abstract: Radiographic evaluation of the anatomical, topographic and densitometric features of the alveolar process of the maxilla is necessary for making informed clinical decisions in implantological treatment. The conducted study of the alveolar process of the maxilla shows that more than 75% of the examined patients have significant atrophy and low density of the bone substance, both in the frontal and lateral segments of the alveolar bone in the maxilla, therefore, three-dimensional planning of implantological treatment using cone-beam computed tomography of the location and use of the required line of the size range of implants will allow safe and effective installation of the implant, and knowledge of the density of the bone structure will allow the doctor to choose the area of the alveolar bone for implantation that will contribute to the effective primary stability of the implant in the bone substance. The peculiarities and complexities of the anatomy of the alveolar

process of the upper jaw dictate a specific strategy for performing implantological treatment by a dental surgeon

Key words: upper jaw, alveolar process, bone density, implantation.

Введение. Альвеолярный отросток верхней челюсти (Processus alveolaris maxillae) - это дугообразный костный гребень, отходящий вниз от тела верхней челюсти, который служит для фиксации и поддержки корней зубов верхней челюсти посредством зубных лунок (альвеол), а также является вторично образованной костной структурой, которая развивается в ответ на прорезывание зубов и подвергается резорбции после их потери. Поэтому данное анатомическое образование является нестатической, а динамической структурой, которая подвергается атрофии, зависящей от наличия или отсутствия зубов, что является весьма важным моментом при планировании имплантологического лечения. Важной особенностью является строение вестибулярной кортикальной пластинки, которая является тонкой особенно в области передних зубов и премоляров, небная – более толстая и плотная, образует основу твердого неба. Губчатое вещество расположено между кортикальными пластинками и стенками альвеол. Состоит из трабекул, образующих ячейки, заполненные костным мозгом. Трабекулы ориентированы по направлению функциональной нагрузки на зубы.

Критически важными параметрами для стоматологической практики, а именно имплантологии, протезирования, пародонтологии и ортодонтического лечения являются высота, ширина, а также плотность альвеолярной кости в апикальном и маргинальном отделе альвеолярного отростка верхней челюсти.

Высота альвеолярной кости представляет собой расстояние от дна гайморовой пазухи (Sinus maxillaris) до гребня альвеолярного отростка, которая является обоснованием для выбора длины имплантата, который можно установить без риска перфорации в пазуху или носовую полость. На основании научных исследований выявляется значительную вариабельность анатомии носового дна, риск перфорации которого был высок при остром угле ($<90^\circ$) между носовой перегородкой и латеральной стенкой носа и тонкой кости (<2 мм) в апикальной области,

поэтому обязательно рекомендуется КЛКТ-оценку перед немедленной имплантацией в этой зоне [1, с. 1430].

После потери зубов высота альвелярного отростка резко уменьшается из-за резорбции, особенно на верхней челюсти. Высота альвеолярного отростка верхней челюсти весьма вариабельна, но в области моляров и премоляров часто изначально меньше, чем на нижней челюсти из-за близости пазухи. Может быть 10-15 мм и более. После потери зубов может резорбироваться до 5 мм и менее.

Ширина альвеолярного отростка – расстояние между вестибулярной и небной кортикальной пластинкой на уровне гребня определяет диаметр имплантата, который можно установить, не перфорируя кортикальные пластинки. Минимальная необходимая ширина для стандартного имплантата - обычно 5-6 мм. При наличии зубов на челюсти ширина альвеолярного отростка верхней челюсти варьирует от 7-8 мм в области резцов до 10-12 мм и более в области моляров. После потери зубов резорбируется преимущественно с вестибулярной стороны, приводя к сужению гребня и зачастую остается менее 5 мм.

Плотность кости определяется соотношением кортикальной и губчатой кости, толщиной кортикальных пластинок и плотностью трабекулярной сети в губчатом веществе и является важным денситометрическим параметром для выбора участка постановки имплантата для достижения его первичной стабильности особенно при одномоментной протетической нагрузки на имплантаты, так и при отсроченном протезировании.

Lekholm & Zarb / Misch разработали классификацию плотности альвеолярной кости, в которой выделяют следующие типы:

D1: Почти вся кортикальная кость (очень плотная, редко встречается).

D2: Толстая кортикальная пластинка + плотная губчатая кость (хорошая плотность, передняя верхняя челюсть).

D3: Тонкая кортикальная пластинка + губчатая кость средней плотности (наиболее распространена в боковом сегменте верхней челюсти).

D4: Тонкая кортикальная пластинка + очень разреженная губчатая кость (низкая плотность, часто встречается в атрофированном заднем сегменте верхней челюсти, после длительного отсутствия зубов).

Плотности кости имеет важное значение, так как это влияет на первичную стабильность имплантата, скорость его остеоинтеграции и долгосрочность службы при циклических жевательных нагрузках. Тонкая вестибулярная кость (<1 мм) и низкая плотность ($HU < 350$) значимо коррелировали с большей резорбцией кости и ухудшением эстетики через 1 год. Подчеркивает необходимость тщательного отбора пациентов и/или одновременной аугментации. Плотность D3-D4 требует особых хирургических протоколов перед имплантологическим лечением: подготовка костного ложа, выбор имплантата, возможно, реконструктивные операции в виде костной пластики [2, с. 6].

По результатам научных фундаментальных исследований при помощи микрокомпьютерной томографии (micro-CT) для детального количественного анализа микроархитектоники кости, при которой исследуется объемная доля кости BV/TV , толщина трабекул $Tb.Th$, их количество $Tb.N$, степень анизотропии, задокументировано прогрессивное ухудшение микроархитектоники кости от типа D1 к D4, что объясняет сниженную первичную стабильность имплантата и потенциально более длительный период остеоинтеграции в кости D3/ D4 на структурном уровне. Обосновывает необходимость адаптации хирургических протоколов (постепенное препарирование, остеоконденсация) для костной структуры с низкой плотностью [3, с. 4325].

Также немаловажным является морфология гребня альвеолярного отростка после потери зубов, которая подробно описывается в классификации Sawood & Howell:

Класс I. Зуб присутствует.

Класс II. Свежая лунка после удаления.

Класс III. Широкий гребень, хорошо выраженный.

Класс IV: Гребень узкий в щечно-небном направлении, но достаточной высоты. Класс V: Гребень плоский (утрачена и ширина, и высота).

Класс VI: Гребень вогнутый (выраженная резорбция с потерей базальной кости).

Данная классификационная схема позволяет оценить сложность имплантологического лечения, которое будет сопровождаться костной пластикой или нет, а также помогает определить тип выбора протеза для ортопедической реабилитации пациентов с частичной или полной потерей зубов. Также учеными доказано, что узкие альвеолярные гребни (<5 мм) и кость низкой плотности (D3/D4) связаны с несколько большими отклонениями в позиции имплантата (особенно апикальной части) по сравнению с широкими гребнями и плотной костью. Подчеркивает необходимость учитывать эти факторы при использовании шаблонов и возможную пользу динамической навигации в сложных анатомических условиях [4, с. 514].

Верхнечелюстная кость также характеризуется такими анатомическими особенностями как наличие верхнечелюстной пневматизированной пазухи, которая обладает феноменом атрофии по Шнайдеру, который характеризуется тем, что после удаления зубов пазуха часто расширяется вниз, занимая место бывших корней моляров и премоляров, значительно уменьшая высоту альвеолярной кости, что требует операции синус-лифтинга для установки дальнейшей установки имплантатов.

Наличие на верхней челюсти таких анатомических образований как большое небное отверстие (Foramen palatinum majus) и сосудисто-нервный пучок в задней трети неба, резцовый сосочек (Papilla incisiva) и резцовый канал (Canalis incisivus) за центральными резцами. Скуло-альвеолярные гребни (Cristae zygomaticoalveolares): утолщения кости в области соединения скулового отростка и альвеолярного отростка, которые зачастую используются для установки имплантатов при выраженной атрофии - скуловые или пирамидальные имплантаты. Бугор Курреля (Canine eminence): костное утолщение в области клыка, более устойчивое к резорбции. Бугор верхней челюсти (Tuber maxillae): задний отдел которого содержит отверстия задних верхних альвеолярных артерий и нервов.

Важным аспектом в планировании имплантологического лечения является профилактика атрофии альвеолярных отростков челюстных костей. На основании КЛКТ и денситометрии оцениваю эффективность методов сохранения гребня с использованием ксенографта и коллагеновой мембраны в боковом сегменте верхней челюсти для сохранения объема и плотности кости (НУ) через 6 месяцев после удаления по сравнению с естественным заживлением, что создает лучшие условия для последующей имплантации [5, с. 95].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что тщательная оценка параметров альвеолярного отростка верхней челюсти (особенно высоты, ширины, плотности, близости пазухи и носовой полости) с помощью клинического осмотра и компьютерной томографии абсолютно необходима для успешного планирования и проведения зубной имплантации, костной пластики (синус-лифтинг, аугментация), изготовления съемных и несъемных протезов, а также пародонтологического и ортодонтического лечения.

Цель исследования. На основании рентгенологической оценки анатомо-топографических и денситометрических показателей плотности альвеолярного отростка верхней челюсти во фронтальном и боковом сегменте обосновать особенности применения линейки размерного ряда различных имплантологических систем.

Материалы и методы: ретроспективный анализ конусно-лучевых компьютерных томограмм (КЛКТ) 100 пациентов, из которых 20 – мужчин, 80 – женщин, которым оценивали высоту и ширину альвеолярного отростка верхней челюсти во фронтальном и боковом сегменте справа и слева. А также при помощи функционала КЛКТ по оценки денситометрических показателей проводили измерение плотности альвеолярной кости в области маргинальной и апикальной части альвеолярного отростка верхней челюсти в боковом и фронтальном сегменте по шкале Хаунсфильда (НУ). Статистическая обработка полученных цифровых данных.

Результаты: на основании ретроспективного анализа конусно-лучевых компьютерных томограмм 100 пациентов, из которых

20 человек – лица мужского пола и 80 человек – женского пола было установлено, что среди общего числа лиц мужского женского пола высота альвеолярного отростка верхней челюсти во фронтальном сегменте составила: 6,1 мм - 1 % (1 человек), 10, 2 мм – 1% (1 человек), от 11,2 мм до 12,8 мм - 15% (15 человек), от 13мм до 14,9 мм – 26%, от 15 мм до 16,9 мм – 32% (32 человека), от 17 мм до 18,9 мм – 17% (17 человек), от 19 мм до 22,5 мм – 7% (7 человек), 25 мм – 1% (1 человек. Из вышеуказанных данных можно сделать вывод, что 97% случаев среди лиц обоего пола высота альвеолярной кости во фронтальном отделе верхней челюсти составляет от 11,2 мм до 22,5 мм. При этом ширина альвеолярного отростка в области фронтального сегмента в большинстве случаев варьирует от 5 мм до 6,8 мм, что встречается в 74% (74 человека) случаев, от 3 мм до 4,9 мм – 32% (32 человека), от 7,3 мм до 7,7 мм – 3% (3 человека), 2,7 мм – 1% (1 человек). Среди женщин в 1,25% (1 человек) случае определялась минимальная высота альвеолярного отростка во фронтальном сегменте, которая составила 6,1 мм, что свидетельствует о высокой степени атрофии данной области и необходимости реконструкции альвеолярного отростка перед выполнением имплантации. В подавляющем проценте встречалась высота альвеолярной кости верхней челюстной кости в пределах от 14,1 мм до 16,9 мм – 45% (36 человек), от 11,2 мм до 13,9 мм – 26,25 % (21 человек), от 17 мм до 19,9 мм – 25% (20 человек), от 20,1 мм до 25 мм – 2,5 % (2 человека). Из числа лиц женского пола в 71, 25% ширина альвеолярного отростка фронтального сегмента верхней челюсти составила от 4 мм до 5,9 мм, а в 17,5% случаев от 6,0 мм до 7,7 мм и минимальный процент – 11,25% наблюдался от 2,7 мм до 3,9 мм.

Рентгенологические показатели данных КЛКТ лиц мужского пола при изучении высоты альвеолярного отростка фронтального сегмента верхней челюсти показывают, что в 40% случаев встречалась высота от 15 мм до 16,8 мм, в 30% случаев – от 18 мм до 22,5 мм, в 25% - от 13,2 мм до 14,9 мм, а минимальная величина высоты у мужчин в данном сегменте составила 10,2 мм и определялась только у 1 человека, что составило 5% . При этом ширина альвеолярного отростка фронтального

отдела верхней челюстной кости у мужчин в 65% случаев составила от 4,5 мм до 5,9 мм, а в 35% случаев от 6,0 мм до 7,3 мм. В таблице 1 также представлены среднестатистические показатели высоты фронтального сегмента: у мужчин - $16,2 \pm 2,8$ мм, у женщин - $15,3 \pm 2,8$ мм и ширины – у мужчин - $5,7 \pm 0,74$ мм, у женщин – $5,1 \pm 0,9$ мм.

Таблица 1

**Показатели высоты и ширины фронтального сегмента
альвеолярного отростка верхней челюсти по данным
измерений КЛКТ (N = 100)**

Показатели:	Женщины (n = 80)	Мужчины (n = 20)
Высота альвеолярного отростка (мм)	$15,3 \pm 2,8$	$16,2 \pm 2,8$
Ширина альвеолярного отростка (м)	$5,1 \pm 0,9$	$5,7 \pm 0,74$

Рентгенологический анализ бокового сегмента альвеолярного отростка верхней челюсти показывает среди лиц женского пола с правой стороны в 35% случаев выявляется высота альвеолярной кости 10,1 мм – 11,9 мм, 22,5% - от 8 мм до 9,7 мм, 12,5% - от 6,4 мм до 7,8 мм, 16,25% - от 12,1 мм до 14,5 мм, 12,5 % от 15,0 мм до 17,8 мм – 12,5% и в 1,25% случаев определялась минимальная высота альвеолярного отростка – 5,3 мм, что свидетельствует о высокой степени атрофии костной ткани в данной области. С левой стороны бокового сегмента у женщин установлено, что в 28,75% выявлялась высота альвеолярного отростка верхней челюсти от 12,1 мм до 14,9 мм, в 25% случаев – от 8,3 мм до 9,9 мм, от 10,1 мм до 11,8 мм – 22,5% случаев, от 6,4 мм до 7,8 мм в 12,5%, от 15 мм до 16,1 мм – 8,75% и у 1 человека была установлена максимальная высота альвеолярного отростка с левой стороны – 17,9 мм, что составило 1,25% случаев.

Среди мужчин результаты КЛКТ показывают, что высота альвеолярного отростка верхней челюсти в боковом сегменте справа в 45% случаев составляет от 9,2 мм до 11,7 мм, от 12,2 мм до 14,5 мм – 35%, от 15 мм до 16,7 мм – 10%, минимальные показатели выявлены у 2-х человек и составили 4,3 мм – 5% и 6 мм – 5%, в боковом сегменте

слева – от 9,1 мм до 11,9 мм – 45% случаев встречаемости высоты альвеолярной кости, от 6,2 мм до 8,8 мм – 20%, от 15,9 мм до 17,3 мм – 20%, от 12 мм до 15 мм – 15%.

Результаты рентгенологической диагностики при помощи КЛКТ ширины альвеолярного отростка верхней челюсти справа стороны среди женщин показывают, что самый большой процент распространенности 43,75% составляет величина от 6,0 мм до 7,9 мм, 27,5% – от 8,0 мм до 9,8 мм, 12,5% – от 10 мм до 12,5 мм, 11,25% – от 4,5 мм до 5,9 мм, с левой стороны: 60% случаев встречаемости ширины альвеолярной кости в боковом сегменте у женщин 60% – от 6,1 мм до 7,9 мм; 23,75% – от 8,0 мм до 9,7 мм; 11, 25% – от 4,1 мм до 5,9 мм, 11,25% – от 10,1 мм до 12,7 мм и 2,5% – от 13,7 мм до 14,3 мм. В таблице 2 указаны среднестатистические размеры высоты и ширины со стандартным отклонением бокового сегмента альвеолярной кости верхней челюсти у женщин, справа и слева имеет одинаковую величину и составляет $11 \pm 2,7$ мм, у мужчин справа – $11,6 \pm 3$ мм, слева – $11,4 \pm 1,3$; ширина альвеолярного отростка в боковом отделе у женщин справа составляет $7,9 \pm 1,8$ мм, у мужчин – $8,7 \pm 1,3$ мм, у женщин слева – $7,8 \pm 1,8$ мм, у мужчин – $8,7 \pm 1,7$ мм и статистических значимых различий не имеет.

Таблица 2

Показатели высоты и ширины бокового сегмента альвеолярного отростка верхней челюсти по данным измерений КЛКТ (N = 100)

Показатели:	Женщины (n = 80)		Мужчины (n = 20)	
	Правая сторона	Левая сторона	Правая сторона	Левая сторона
Высота альвеолярного отростка (мм)	$11 \pm 2,7$	$11,1 \pm 2,7$	$11,6 \pm 3$	$11,4 \pm 1,3$
Ширина альвеолярного отростка (м)	$7,9 \pm 1,8$	$7,8 \pm 1,8$	$8,7 \pm 1,3$	$8,7 \pm 1,7$

При помощи функциональных возможностей КЛКТ были изучены показатели денситометрии для определения плотности костной ткани альвеолярного отростка верхней челюсти во фронтальном сегменте,

которые измерялись по шкале Хаунсфильда (НУ) и у женщин в апикальной части составили от 274 (НУ) - 399 (НУ) в 21,75% случаев, что соответствует кости типа D4, от 402 (НУ) - 587 (НУ) - 43,75% - D3, от 615 (НУ) - 900 (НУ) - 31,25% - D3, от 1016 (НУ) – 1023 (НУ) – D2; в маргинальной части – 339 (НУ) - 365 (НУ) – 2,5%, что соответствуют плотности костной ткани типа D4, от 435 (НУ) – 576 (НУ) 6,25% - D3, 644 (НУ) - 999 (НУ) – 32,5% - D3, самый большой процент 58,75% случаев выявляется с типом кости D2.

Показатели денситометрии костной ткани апикального отдела фронтального сегмента верхней челюсти показывают, что у 75% обследованных мужчин наблюдается тип плотности кости D3 – 420 (НУ) - 707 (НУ), а в 25% - D4 – 325(НУ) – 385 (НУ), а в маргинальной части среди мужчин в 60% выявляется тип кости D2 – 1020 (НУ) – 1454 (НУ), в 40 % - D3 – 443 (НУ) – 911 (НУ) (Таблица 3).

Таблица 3

**Денситометрические показатели фронтального сегмента
альвеолярного отростка верхней челюсти (среднее значение
и стандартное отклонение по Хаунсфильду (НУ) (N = 100)**

Показатели:	Женщины (n = 80)	Мужчины (n = 20)
Плотность апикальной части АО (НУ)	565 ± 187	522 ± 126
Плотность маргинальной части АО (НУ)	291 ± 303	952 ± 292

На основании результатов исследований зарубежных ученых доказано, что при остаточной высоте альвеолярного отростка <4 мм и плотность кости D4 данные показатели являются значимыми предикторами отказа от имплантологического лечения. Ширина гребня менее 5 мм также увеличивала риск развития периимплантита и не обеспечивает первичную стабильность имплантата. Подчеркивает критическую важность этих параметров при планировании и необходимость синус-лифтинга или альтернативных методов (например, скуловые имплантаты) при выраженной атрофии [6, с. 52].

Также были проведены денситометрические измерения плотности альвеолярной кости верхней челюсти в боковом отделе в апикальной и маргинальной части как среди лиц женского, так и мужского пола, и были установлены следующие статистические данные, которые показывают, что у женщин с правой стороны бокового сегмента в 62,5% случаев определяется кость типа D3 – 435 (HU) – 995 (HU), в 36,25% - D4 – 67 (HU) – 396 (HU) и 1,25% - D2 – 1054; с левой стороны в боковом сегменте в апикальной области альвеолярной кости в 62,5% выявляется тип кости D3 – 404 (HU) - 938(HU), в 37,5% случаев D4 – 121 (HU) - 387 (HU). В маргинальной части бокового сегмента альвеолярного отростка верхней челюсти справа среди женщин в 80% выявляется тип кости D3 – 427 (HU) - 993(HU), в 11,25% - D4 – 126 (HU) - 388 (HU) и в 8,75% - 1012 (HU) - 1229 (HU), что соответствует типу плотности кости - D2 по Хаунсфильду.

Среди мужчин при изучении показателей плотности кости по данным КЛКТ в области апикальной части бокового сегмента альвеолярного отростка верхней челюсти справа и левой стороны от 45% - 55% наблюдений определяется плотность кости 59 (HU) -373 (HU), что соответствует типу плотности костных структур - D4, и от 45% - 55% выявляется тип кости D3, что соответствует показателям 401 (HU) - 970 (HU). Плотность маргинальной части альвеолярного отростка бокового отдела верхней челюсти с левой и с правой стороны в 30% - 45% случаев соответствует кости типа D4 – 92 (HU) - 360 (HU) и от 55% - 75% - D3 – 480 (HU) – 970 (HU) (Таблица 4).

Таблица 4

**Денситометрические показатели бокового сегмента альвеолярного
отростка верхней челюсти (HU) (N = 100)**

Показатели:	Женщины (n = 80)		Мужчины (n = 20)	
	Правая сторона	Левая сторона	Правая сторона	Левая сторона
Плотность апикальной части АО (HU)	534,5 ± 237	494,5 ± 209	390,7 ± 148	427,7 ± 188

Продолжение таблицы 4

Плотность маргинальной части АО (HU)	534,5 ± 237	628,2 ± 185	532,7 ± 185	477,8 ± 185

По результатам исследований также обнаружена сильная корреляционная взаимосвязь между плотностью костной ткани, измеренной по КЛКТ (HU) и первичной стабильностью имплантата (ISQ), измеренной резонансным частотным анализом (RFA). При плотности кости D3-D4 определялись значительно более низкие значения первичной стабильности имплантата после инсталляции [7, с. 514].

Заключение.

Использование конусно-лучевой компьютерной томографии при планировании имплантологического лечения является золотым стандартом, так как это необходимо для точной оценки плотности (HU), объема кости, близости критических анатомических структур (пазуха, нос, нервы, сосуды) и морфологии гребня.

Плотность кости является критическим фактором первичной стабильности имплантата. Низкая плотность (D3/D4, HU < 350-500) напрямую связана с меньшей первичной стабильностью (низкий ISQ) и требует адаптированных протоколов (остеотомы, выбор имплантата с активной поверхностью, возможно, отсроченная нагрузка).

Также особенности анатомии верхней челюсти диктуют определенную стратегию при разработке предварительного плана имплантологического лечения, так как тонкая вестибулярная кость и сложная анатомия носового дна - основные риски (резорбция, перфорация, эстетика). Часто требуется одновременная реконструкция альвеолярного отростка.

В боковых сегментах альвеолярного отростка верхней челюсти важным моментом является остаточная высота альвеолярной кости под Гайморовой пазухой (<4-6 мм) и ширина гребня (<5-6 мм) - основные показания к синус-лифтингу или аугментации и плотность кости здесь часто изначально ниже.

Атрофия костной ткани альвеолярного отростка также усугубляет проблемы при имплантации, так как при потере зубов резорбция идет быстрее и сильнее на верхней челюсти, особенно в вестибулярном направлении и в области пазухи, ухудшая и без того сложные условия.

Персонализированный подход и трехмерное планирование на КЛКТ процесса имплантации позволяет с полной безопасностью определиться с выбором вида, размера и материалом имплантата, так как для тонкой кости и фенотипа десны для имплантации могут быть использованы керамические имплантаты из диоксида циркония, для повышенной эстетики и стабильности в проблемных зонах. Использование хирургических шаблонов, динамическая навигация становятся стандартом для безопасной и предсказуемой имплантации в сложной анатомии верхней челюсти.

Профилактика атрофии и сохранение объема гребня альвеолярного отростка и его плотности после удаления значительно облегчает последующую имплантацию.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта «Керамические дентальные имплантаты» программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» за счет средств регионального бюджета.

Список литературы

1. Chappuis, V., et al. The Nasal Floor in Anterior Maxillary Implant Dentistry: Anatomical Characteristics and Implications for Immediate Implant Placement. *Journal of Periodontology*. -2021. -92(10). - p. 1426–1434.
2. Avila-Ortiz, G., et al. Impact of Alveolar Bone Morphology and Density on Immediate Implant Placement Outcomes in the Esthetic Zone: A Prospective Cohort Study. *Journal of Clinical Periodontology*. -2023.-50(Suppl 24). - p.4–18.
3. Benic, G.I., et al. (2020). Bone Density at Dental Implant Sites in the Maxilla: A Comparative Analysis of D1-D4 Bone Using Micro-CT. *Clinical Oral Investigations*. -2020. -24(12). – p.4321–4330.
4. Morton, D., et al. Influence of Maxillary Alveolar Process Anatomy and Bone Density on the Accuracy of Static Computer-Assisted Implant

Surgery (sCAIS): A Prospective Clinical Study. Journal of Prosthetic Dentistry. [Online ahead of print]. - 2023. – p. 567-579.

5. Urban, I.A., et al. Ridge Preservation in the Posterior Maxilla: Impact on Bone Density and Dimensional Stability Assessed by CBCT at 6 Months. International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry. – 2022. - № 42(4). p.91-99.

6. Nickenig, H.-J., et al. Anatomical Risk Factors for Implant Failure in the Atrophic Posterior Maxilla: A Retrospective Analysis Based on CBCT. *Clinical Oral Implants Research. – 2024. -35(1). – p.45–55.

7. Tolstunov, L., et al. (2022). Correlation Between Preoperative Cone Beam Computed Tomography Bone Density Assessment and Implant Stability Quotient (ISQ) Values in the Posterior Maxilla. International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. – 2022. - 37(3). – p. 511–518.

© Лапина Н.В., Овчаренко Е.С.,
Коблов Д.А., Лапин В.В.

**РАЗДЕЛ IV. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
И КОММУНИКАТИВНЫЕ ПРАКТИКИ
В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ**

УДК 370

Глава 19.

**ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ ВОЕННО-
ИНЖЕНЕРНЫХ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ**

Паршин Анатолий Васильевич

профессор, к.ф.-м.н., профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Аннотация: В данной главе рассматривается обзор особенностей преподавания математических дисциплин на кафедре математики ВУНЦ ВВС «ВВА», которые позволяют повысить эффективность обучения курсантов математике. Отмечается, что приведенный опыт может быть полезен не только для обучения математике курсантов военно-инженерных вузов, но и для обучения студентов инженерно-технических вузов.

Ключевые слова: эффективность обучения, автоматизированный лабораторный комплекс, автоматизированные установочные консультации, обучающие программы, интенсификация, PowerPoint, Derive 6, MS Excel, видеосеть.

**FEATURES OF MATHEMATICAL TRAINING STUDENTS
MAJORING IN MILITARY ENGINEERING
AND ENGINEERING UNIVERSITIES**

Parshin Anatoly Vasilievich

Abstract: This chapter provides an overview of the features of teaching mathematical disciplines at the Department of Mathematics of the VUNC VVS «VVA», which make it possible to increase the effectiveness of teaching mathematics to cadets. It is noted that the above experience can be useful not only for teaching mathematics to cadets of military engineering universities, but also for teaching students of engineering and technical universities.

Key words: learning efficiency, automated laboratory complex, automated installation consultations, training programs, automation, PowerPoint, Derive 6, MS Excel, video network.

В соответствии с современными требованиями к профессиональной подготовке обучающихся военно-инженерных и инженерно-технических вузов требуется обучать будущих инженеров путем приложения базовых математических знаний к инженерно-техническим задачам и с использованием новейших информационно-компьютерных технологий. В целях повышения эффективности преподавания математики возникает вопрос об автоматизации и интенсификации учебного процесса, внедрении новых активных форм обучения, повышающих качество усвоения материала по математическим дисциплинам.

Под качеством образовательного процесса понимается сложная взаимодополняющая структура, включающая в себя следующие составляющие: образовательные программы; потенциал педагогического состава, задействованного в образовательном процессе; потенциал обучающихся; средства образовательного процесса (материально-технические и лабораторно-экспериментальные базы; учебно-методическое обеспечение; учебные помещения). К ним также относится одно из наиболее важных составляющих - эффективные образовательные технологии.

Организация процесса обучения в названных вузах сопровождается наличием некоторых проблем, требующих применение новых

информационных образовательных технологий. При таком подходе к учебному процессу должны быть тщательно продуманы новые методы обучения с целью преодоления трудностей при усвоении нового материала. Они связаны, прежде всего, с наукоемкостью изучаемых математических дисциплин (аналитическая геометрия и линейная алгебра, математический анализ, основы теории вероятностей и математической статистики), большим количеством определений, понятий, формул и теорем. Кроме того, слабо развитое визуальное восприятие мешает обучающимся быстро осваивать теоретический материал, связанный с различными изображениями на плоскости и в пространстве.

Формирование у курсантов потребности в профессионально-прикладных знаниях, имеющих направленность на получаемую специализацию по выбранному профилю должно являться одной из главных целей обучения на занятиях. На лекциях и некоторых практических занятиях по математике целесообразно использовать программу PowerPoint. Использование программной среды MS PowerPoint для разработки презентаций на лекционных и практических занятиях существенно повышает качество обучения курсантов математике. Такие лекции помогают повысить наглядность обучения, т.к. позволяют провести демонстрацию формул, таблиц, геометрических фигур и математических моделей различных инженерно-прикладных задач. При работе с мультимедийными программами обеспечивается обратная связь, осуществляется быстрый поиск необходимой информации, экономится время при многократных обращениях к гипертекстовым объяснениям. Наряду с приводимым текстом, объяснения сопровождаются демонстрацией анимационных эффектов.

Структурная организация, функциональные возможности, техническое оформление лекций, выполненных с помощью программы PowerPoint, являются одними из главных методов повышения качества образования. Такие лекции помогают курсантам быстро и качественно изучать новый теоретический материал, а система гиперссылок позволяет без потери времени переходить с выбранного слайда на другой

электронный ресурс. Результатом таких лекций является увеличение на 20-30% объема изученного материала и хорошие остаточные знания. Компонентами электронных лекций являются: презентационная составляющая (содержит основную информационную часть курса) и задания, способствующие закреплению полученных знаний.

Использование интерактивных досок совместно с презентациями, выполненными с помощью программной среды MS PowerPoint, способно преобразить формат преподавания и обучения, сделав учебный процесс более эффективным, заинтересовать обучающихся и, как следствие, повысить качество обучения по дисциплине. В связи с этим на кафедре математики ВУНЦ ВВС «ВВА» с целью повышения качества обучения курсантов в среде MS PowerPoint разработаны и внедрены в учебный процесс презентации для всех лекционных и части практических занятий (там, где это необходимо).

На практических занятиях, проводимых по математическим дисциплинам кафедрой математики, внедрены обучающе-контролирующие программы по изучаемому аппарату: «Автоматизированный оперативный тематический контроль знаний и умений по математике» и «Автоматизированный оперативный поурочный контроль знаний и умений по математике» [1]-[2]. Они позволяют оценивать на обзорных практических занятиях за 20 минут знания и умения курсантов по двенадцати крупным темам, а также дают возможность осуществить за 10 минут выходной и входной контроль на каждом практическом занятии. Курсанты также могут воспользоваться этими программными продуктами для самоконтроля во время самоподготовки.

Наблюдение показало, что большинство курсантов заинтересовал сам процесс решения задач с помощью информационно-технических средств обучения. Такие активные формы обучения способствуют проявлению большего интереса к изучаемому материалу и повышению работоспособности. Проявления самостоятельности, усиленный уровень изучаемого материала и его прикладной характер влечет повышение мотивации к обучению. Однако на некоторых практических и

лабораторных занятиях при освоении новых алгоритмов приходится выполнять большое количество вычислений или преобразований, приводящих к непроизводительным затратам учебного времени. Такие действия называются рутинными (помеховыми) действиями. Они отвлекают от изучения основной темы занятия и связанной с ней выработкой новых умений в соответствии с учебными целями занятия. В этом случае возникает необходимость в таком усовершенствовании методики проведения практического и лабораторного занятия по математике, которое позволило бы существенно снизить непроизводительные затраты учебного времени при достижении дидактической цели занятия за счет автоматизации рутинных действий с использованием персональных компьютеров (ПК), оснащенных соответствующими программными продуктами.

Для совершенствования подготовки курсантов на кафедре математики разработан «Автоматизированный учебный лабораторный комплекс по математике».

Автоматизированный учебный лабораторный комплекс представляет собой эффективное средство обучения алгоритмам численных методов математики в процессе выполнения обучаемыми лабораторных работ на персональных ЭВМ.

Автоматизированный учебный лабораторный комплекс обеспечивает:

- диалоговый режим обучения алгоритмам численных методов;
- автоматизацию выполнения необходимых математических действий;
- контроль правильности выполнения шагов изучаемого алгоритма;
- регистрацию количества ошибок, допускаемых обучаемым;
- визуально-графическое сопровождение выполнения лабораторной работы в виде графиков и диаграмм;
- предоставление справочной информации по изучаемым алгоритмам, разработанной в программной среде Help&Manual;

- предоставление полного учебно-методического сопровождения проведения лабораторных работ [3]-[4].

Отличительной особенностью предлагаемого вычислительного практикума является то, что в основу его организации и методики проведения заложен принцип минимизации непроизводительных затрат учебного времени за счет автоматизации рутинных действий при изучении алгоритмов численных методов. Эта автоматизация осуществляется путем использования специально разработанных на кафедре математики ВУНЦ ВВС «ВВА» обучающих программ для ЭВМ.

Комплекс разработан на основе прошедших государственную регистрацию в Роспатенте программ для ЭВМ [5]-[19].

Количество и содержание лабораторных работ вычислительного практикума сформированы из соображения минимальной достаточности на основе экспертного опроса.

Для совершенствования подготовки курсантов на кафедре математики разработан «Автоматизированный учебный комплекс установочных консультаций к лабораторному практикуму по численным методам математики».

Автоматизированный учебный комплекс установочных консультаций к лабораторному практикуму по численным методам математики представляет собой эффективное средство подготовки курсантов к последующему выполнению обучаемыми лабораторных работ на персональных ЭВМ.

Автоматизированный учебный комплекс установочных консультаций обеспечивает их проведение в автоматизированном режиме без присутствия преподавателя. Необходимо только наличие лаборанта.

Комплекс разработан на основе прошедших государственную регистрацию в Роспатенте программ для ЭВМ [20]-[32].

Был проведен сравнительный анализ компьютерных математических систем Mathematica, MatLAB, MathCAD, Maple, Derive на предмет возможности их использования для интенсификации проведения практических и лабораторных занятий по математике.

Доказано, что для этих целей наиболее подходящей компьютерной системой является Derive 6.

На кафедре математики проведены педагогические эксперименты, показавшие, что применение компьютерной математической системы Derive 6 совместно с компьютерной видеосетью [33]-[34] приводит к повышению эффективности обучения курсантов математике за счет:

автоматизации рутинных действий;

автоматизации промежуточных математических действий при освоении нового математического алгоритма;

полной автоматизации математических действий при освоении математических приложений;

автоматизации иллюстративно-графического сопровождения решения задач на практических занятиях.

Проведены также педагогические эксперименты, показавшие, что применение в учебном процессе табличного редактора MS Excel совместно с компьютерной видеосетью приводит к значительному повышению эффективности обучения курсантов:

вычислению определителей;

действиям над матрицами;

решению систем линейных уравнений размерности $n \times n$;

решению произвольных систем линейных уравнений.

Проведены педагогические эксперименты, показавшие, что применение компьютерной математической системы Derive 6 совместно с компьютерной видеосетью приводит к повышению качества обучения курсантов:

а. действиям с формулой Тейлора;

б. исследованию функций на монотонность, локальный и глобальный экстремумы;

в. исследованию функций на наличие вогнутости, выпуклости, точек перегиба и асимптот;

г. исследованию функций по общей схеме с целью построения эскиза ее графика.

Количество прорешиваемых на занятии задач с использованием системы Derive 6 или процессора MS Excel увеличивается в 2-3 раза. Успеваемость курсантов увеличивается на 30-40 процентов.

Одиннадцать отчетов о проведенных педагогических экспериментах находятся в методическом кабинете ВУНЦ ВВС «ВВА».

Для совершенствования подготовки курсантов на кафедре математики разработан и применен в учебном процессе автоматизированный комплекс практических занятий по математике на примере следующих четырех занятий по теории графов: «Нахождение наибольшего потока в двухполюсной сети», «Решение задачи о кратчайшем пути в графе», «Матричные и числовые характеристики неориентированных графов», «Матричные и числовые характеристики ориентированных графов».

Изучение математического аппарата отыскания наибольшего потока в двухполюсной сети с использованием алгоритма Форда - Фалкерсона входит в учебные программы математических дисциплин многих инженерно-технических вузов. Педагогическая практика показывает, что освоение этого аппарата путем решения учебных задач вручную является недостаточно эффективным. За два учебных часа, отводимых обычно на практическое занятие по обсуждаемой теме, из-за громоздкости алгоритма обычно удается решить одну – две учебные задачи. Этого, конечно, недостаточно для прочного усвоения изучаемого материала. Поэтому необходим новый подход для проведения такого рода практического занятия, основанный на использовании информационно-компьютерных технологий.

В связи с этим была поставлена задача разработать обучающую программу, которая позволит полностью автоматизировать и повысить эффективность проведения практического занятия по теме «Нахождение наибольшего потока в двухполюсной сети».

Разработанная обучающая программа содержит в себе:

- 1) теоретическую информацию об изучаемом алгоритме;
- 2) пример пошагового выполнения типового учебного задания в автоматизированном режиме с элементами диалога;

3) двадцать пять вариантов индивидуальных заданий, выполняемых на ПЭВМ в диалоговом режиме с автоматизацией всех рутинных вычислений, отвлекающих внимание обучаемых от освоения алгоритма изучаемого метода;

4) визуально-графическое сопровождение выполняемых заданий;

5) контроль правильности выполняемых обучающимся действий с фиксацией количества ошибок;

6) сопутствующие сообщения о ходе выполнения работы;

7) отображение результатов по окончании работы.

Для реализации поставленной задачи использовался язык Object Pascal в среде программирования Delphi 7.

Аналогичным образом разработана обучающая программа ко второму занятию «Решение задачи о кратчайшем пути в графе». Структура ее содержит те же самые 7 пунктов. По-прежнему использовался язык Object Pascal в среде программирования Delphi 7.

Обучающие программы, разработанные для проведения занятий «Матричные и числовые характеристики неориентированных графов», «Матричные и числовые характеристики ориентированных графов», по структуре отличаются только содержанием пункта 2. Вместо примера пошагового выполнения типового учебного задания введен модуль тестирования, осуществляющий проведение входного контроля знаний и умений курсантов по темам занятий. Это обусловлено спецификой содержания занятий и тем, что они идут первыми при изучении теории графов.

Проведенные педагогические эксперименты показали, что использование на практических занятиях по математике разработанных обучающих программ приводит к заметной интенсификации их проведения. Так количество решаемых на занятиях учебных задач увеличивается примерно в 3 раза по сравнению с занятиями, проводимыми в обычной форме. При этом качество усвоения изучаемого материала повышается примерно на 30-40 процентов.

Обучающие программы к этим занятиям зарегистрированы в Роспатенте и в фонде алгоритмов и программ ВУНЦ ВВС «ВВА» [35]-[38].

Имеются акты внедрения их в учебный процесс ВУНЦ ВВС «ВВА», констатирующие увеличение количества прорешиваемых задач в два раза и повышение качества усвоения учебного материала на 30-40 процентов.

Пакет прикладных программ (ППП) QSB (Quantitative Systems for Business) предназначен для решения широкого круга математических задач: задачи линейного программирования; целочисленного программирования; транспортная задача; задачи о назначениях; сетевое моделирование; динамическое программирование; управление запасами; теория очередей; теория массового обслуживания; вероятностная теория принятия решений; марковские процессы. Автоматизация рутинных действий, наряду с визуально-графическим сопровождением средствами ППП QSB с применением видеосети приводит к повышению качества обучения курсантов решению задач линейного программирования графическим методом и симплекс методом [39].

Анализ полученных исследований говорит о том, что применение ППП QSB для автоматизации вычислений дает заметный выигрыш в затратах учебного времени по сравнению с расчетами вручную (более чем в 3 раза). ППП QSB позволяет решать задачи с возможностью просмотра не только окончательных результатов, но и промежуточных, что обеспечивает возможность его использования для изучения представленных в нем алгоритмов. Эта особенность пакета позволяет изучать все представленные в нем алгоритмы *в автоматическом режиме*, что значительно сокращает непроизводительные затраты учебного времени и позволяет повысить эффективность проводимых занятий. Коэффициент успешности в экспериментальной группе по сравнению с контрольной группой повышается на 18%, а коэффициент качества - повышается на 37%.

Поэтому на практических занятиях, а также при выполнении курсовых работ целесообразно применять пакет прикладных программ QSB для повышения качества обучения курсантов линейному программированию.

Таким образом, предложенные программные продукты образуют достаточно большой электронный комплекс, позволяющий повышать

качество и успешность освоения математики курсантами такого военно-инженерного вуза, как ВУНЦ ВВС «ВВА» Его также можно рекомендовать для использования при преподавании математики и в гражданских инженерно-технических вузах.

Список литературы

1. Паршин А.В., Паршина Т.А. Автоматизированный оперативный тематический контроль знаний и умений по математике // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2012610034, зарегистрировано 10 января 2012г. – М.: Роспатент. – 32 с.

2. Паршин А.В., Паршина Т.А. Автоматизированный оперативный поурочный контроль знаний и умений по математике // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2011611414, зарегистрировано 14 февраля 2011г. – М.: Роспатент. – 69 с.

3. Паршин А.В. Математика. Основы автоматизированного вычислительного практикума: учебное пособие. – Воронеж: МО РФ. – 2008. – 332 с.

4. Паршин А.В. Лабораторный компьютерный практикум по математике. Электронное учебное пособие / А.В. Паршин, О.С. Федорова // ВУНЦ ВВС «ВВА»: НИЦ(ОиИТ). – Протокол № 4, рег.№ 5715 от 27.12.2023.

5. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа к вводному занятию автоматизированного вычислительного практикума по дисциплине «Математика» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613131, зарегистрировано 5 сентября 2006г. – М.: Роспатент. – 30 с.

6. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Автоматизированный вычислительный практикум по дисциплине «Математика». Часть I. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613130, зарегистрировано 5 сентября 2006 г. – М.: Роспатент. – 70 с.

7. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Автоматизированный вычислительный практикум по дисциплине «Математика». Часть II. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613132, зарегистрировано 5 сентября 2006 г. – М.: Роспатент. – 70 с.

8. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Метод Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611238, зарегистрировано 23 марта 2007 г. – М.: Роспатент. – 37 с.

9. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Численное решение алгебраических и трансцендентных уравнений» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611505, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 70 с.

10. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Численные методы вычисления определенных интегралов» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611502, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 43 с.

11. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611500, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 58 с.

12. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к

лабораторной работе «Численное решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа методом сеток» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611239, зарегистрировано 23 марта 2007 г. – М.: Роспатент. – 59 с.

13. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Обработка экспериментальных данных методом интерполирования» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611504, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 54 с.

14. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007615028, зарегистрировано 4 декабря 2007 г. – М.: Роспатент. – 42 с.

15. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Приближенное вычисление кратных интегралов методом Монте-Карло» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611501, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 46 с.

16. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Статистическая обработка экспериментальных данных» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611499, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 56 с.

17. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Прямые методы поиска функций одной

переменной» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611503, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 45 с.

18. Паршин А.В., Паршина Е.А., Лебедев А.В. Обучающая программа автоматизированного вычислительного практикума к лабораторной работе «Градиентный метод поиска экстремума функций нескольких переменных» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611506, зарегистрировано 10 апреля 2007 г. – М.: Роспатент. – 42 с.

19. Паршин А.В., Будаев Ю.И., Лебедев А.В. Численные методы математики. Лабораторный компьютерный практикум для инженерно-технических вузов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611071, зарегистрировано 14 марта 2007 г. – М.: Роспатент. – 70 с.

20. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Численные методы вычисления определенных интегралов» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618617, зарегистрировано 2 ноября 2011 г. – М.: Роспатент. – 70 с.

21. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Численное решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа методом сеток» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618623, зарегистрировано 2 ноября 2011г. – М.: Роспатент. – 69 с.

22. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618649, зарегистрировано 3 ноября 2011г. – М.: Роспатент. – 68 с.

23. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Обработка

экспериментальных данных методом интерполирования» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618713, зарегистрировано 9 ноября 2011г. – М.: Роспатент. – 68 с.

24. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Прямые методы поиска экстремума функций одной переменной» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618711, зарегистрировано 9 ноября 2011г. – М.: Роспатент. – 58 с.

25. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Градиентный метод поиска экстремума функций нескольких переменных» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618712, зарегистрировано 9 ноября 2011г. – М.: Роспатент. – 59 с.

26. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Численное решение алгебраических и трансцендентных уравнений» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618848, зарегистрировано 14 ноября 2011 г. – М.: Роспатент. – 69 с.

27. Паршин А.В., Паршина Т.А. Автоматизированные установочные консультации к вычислительному практикуму по дисциплине «Математика» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613630, зарегистрировано 2 июня 2010 г. – М.: Роспатент – 70 с.

28. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Выполнение операций на ПЭВМ в среде обучающей программной оболочки» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610850, зарегистрировано 19 января 2012г. – М.: Роспатент. – 68 с.

29. Паршин А.В., Паршина О.А., Паршина Т.А. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Метод Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений» //

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610649, зарегистрировано 10 января 2012г. – М.: Роспатент. – 70 с.

30. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов». // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610851, зарегистрировано 19 января 2012г. – М.: Роспатент. – 69 с.

31. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Приближенное вычисление кратных интегралов методом Монте-Карло» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610792, зарегистрировано 17 января 2012 г. – М.: Роспатент. – 69 с.

32. Паршин А.В., Паршина Т.А., Лебедев А.В. Автоматизированная установочная консультация к лабораторной работе «Статистическая обработка экспериментальных данных» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610852, зарегистрировано 19 января 2012 г. – М.: Роспатент. – 68 с.

33. Паршин А.В. Телекоммуникационная видеосеть на базе персональных ЭВМ и ее применение в образовательном процессе // Телекоммуникации. – 2003. – № 6. – С. 56-61.

34. Паршин А.В., Лебедев А.В. Опыт создания и использования телекоммуникационной видеосети в компьютерном классе // Телекоммуникации. – 2013. – №4. – С. 48-57.

35. Паршин А.В., Панюшкин В.Н., Малимон М.С. Автоматизированное практическое занятие «Матричные и числовые характеристики неориентированных графов» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613817, зарегистрирована 16 апреля 2013 г. М.: Роспатент. – 66 с.

36. Паршин А.В., Панюшкин В.Н., Малимон М.С. Автоматизированное практическое занятие «Матричные и числовые характеристики ориентированных графов» // Свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613865, зарегистрирована 17 апреля 2013 г. М.: Роспатент. – 66 с.

37. Паршин А.В., Панюшкин В.Н., Дьяченко А.С. Обучающая программа «Решение задачи теории графов о наибольшем потоке в двухполюсной сети» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2011619462, зарегистрировано 14 декабря 2011г. – М.: Роспатент. – 45 с.

38. Паршин А.В., Панюшкин В.Н., Петров Э.Я. Обучающая программа «Решение задачи о кратчайшем пути на графе» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2011618714, зарегистрировано 9 ноября 2011 г. – М.: Роспатент. – 52 с.

39. Паршин А.В. Линейное программирование на базе пакета прикладных программ QSB. Электронное учебное пособие / А.В. Паршин, С.С. Новикова, Е.Б. Филатов // ВУНЦ ВВС «ВВА»: НИЦ(ОиИТ). – Протокол № 2, рег.№ 4678 от 07.04.2022.

© Паршин А.В.

Глава 20.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ДИСЦИПЛИНЫ «РУССКИЙ ЯЗЫК И КУЛЬТУРА ОБЩЕНИЯ»**

Иконникова Яна Владимировна

к.филол.н.

Глазкова Марина Михайловна

к.филол.н., доцент

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет»

Аннотация: В статье представлен опыт применения информационно-коммуникационных технологий при изучении дисциплины «Русский язык и культура общения». Акцентируется возможность использования программных средств и интернет-ресурсов при организации как дистанционного обучения, так и самостоятельной работы студентов. Приводится таблица, объединяющая формы работы и необходимые средства обучения. Анализируется дидактический потенциал приведенных заданий в процессе формирования универсальной коммуникативной компетенции.

Статья посвящена вопросам эффективного внедрения современных информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в процесс изучения русского языка и культуры общения. Рассматриваются преимущества использования ИКТ в образовательном процессе, приводятся конкретные примеры инструментов и методик, способствующих развитию коммуникативных компетенций студентов. Особое внимание уделяется интерактивному обучению, применению мультимедийных ресурсов и цифровых платформ, обеспечивающих качественное усвоение материала.

Ключевые слова: русский язык и культура общения, универсальная коммуникативная компетенция, информационно-коммуникационные технологии, дистанционное обучение, самостоятельная работа студентов.

**THE USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE «RUSSIAN
LANGUAGE AND CULTURE OF COMMUNICATION»**

**Ikonnikova Yana Vladimirovna
Glazkova Marina Mikhailovna**

Abstract: The article presents the experience of using information and communication technologies in the study of the discipline "Russian language and communication culture". The possibility of using software and Internet resources in the organization of both distance learning and independent work of students is emphasized. A table is provided that combines the forms of work and the necessary training tools. The didactic potential of these tasks in the process of forming universal communicative competence is analyzed.

The article is devoted to the effective implementation of modern information and communication technologies (ICT) in the process of learning the Russian language and communication culture. The advantages of using ICT in the educational process are considered, and specific examples of tools and techniques that contribute to the development of students' communicative competencies are given. Special attention is paid to interactive learning, the use of multimedia resources and digital platforms that ensure high-quality learning of the material.

Key words: Russian language and communication culture, universal communicative competence, information and communication technologies, distance learning, independent work of students.

Современная система образования сегодня проходит период интенсивной трансформации, характеризующийся активным использованием информационных технологий практически во всех аспектах учебно-воспитательного процесса. Особое значение приобретает внедрение ИТ-инструментов в сферу изучения русского языка и формирования коммуникативной культуры личности, ведь именно здесь важно соблюдать особую аккуратность и точность подачи материала учащимся.

Использование современных цифровых решений оказывает значительное положительное влияние на образовательный процесс, повышая его эффективность, привлекательность и доступность для обучающихся любого уровня подготовки. Виртуальные платформы позволяют преподавателям разрабатывать инновационные методики проведения занятий, создавать мультимедийные учебные материалы, обеспечивать обратную связь с учениками и отслеживать прогресс каждого студента индивидуально.

Пандемия COVID-19 выступила мощным стимулом ускоренного перехода образовательных учреждений на дистанционный формат обучения и массового внедрения новейших способов трансляции знаний через цифровые каналы связи. Хотя концепция дистанционного обучения уже была известна и ранее применялась в ограниченных масштабах, именно карантинные меры заставили педагогов и учеников стремительно адаптироваться к новой реальности, потребовав значительного расширения спектра электронных курсов и веб-платформ для организации эффективного интерактивного взаимодействия участников образовательного процесса.

Применение информационно-коммуникационных технологий открывает студентам возможность тренировать разнообразные формы вербальной и письменной коммуникации, начиная от публичных презентаций и заканчивая групповыми проектами и виртуальными обсуждениями. Современные подходы способствуют развитию навыков совместной работы, критическому осмыслению окружающей действительности, формированию способности ясно формулировать и аргументированно отстаивать свою позицию, эффективному общению в цифровой среде. Все перечисленные умения играют ключевую роль в успешном личностном развитии молодежи и обеспечивают высокий уровень профессиональной конкурентоспособности выпускников в будущем.

Использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовательном процессе даёт целый ряд весомых преимуществ:

1. Современные интерактивные средства обучения превращают традиционное занятие в захватывающее приключение, пробуждая интерес даже у самой молодой аудитории. С помощью мультимедийных ресурсов информация воспринимается легче и быстрее запоминается учащимися;

2. Онлайн-платформы и электронные базы знаний стимулируют студентов к самообразованию, предоставляя неограниченные возможности поиска необходимой информации;

3. Интерактивные ресурсы предоставляют широкие возможности для постоянного развития различных сторон владения языком: устной речи, письменной передачи идей и восприятия живой русской речи. Постоянное использование таких платформ существенно способствует быстрому продвижению учащихся.

4. Электронные курсы и задания с возможностью адаптации позволяют студентам самостоятельно регулировать скорость освоения учебного материала, плавно продвигаясь от базовых ступеней до продвинутых, принимая во внимание личные качества и уровень подготовки каждого учащегося;

5. Использование информационных технологий способствует развитию ключевых надпредметных компетенций, включая способность самостоятельно планировать свою учебу, эффективно управлять временем, формулировать учебные цели и объективно анализировать полученные достижения. Эти навыки помогут молодым людям успешно решать повседневные жизненные задачи после окончания школы.

Для лучшего понимания рассмотрим несколько примеров удачного внедрения ИКТ в изучение русского языка и культуры общения:

Электронные библиотеки предоставляют свободный доступ к огромному количеству классических произведений литературы, справочной информации и энциклопедий.

Образовательные порталы представляют собой удобные площадки для освоения грамматики, лексики и практических навыков общения на русском языке посредством специализированных курсов и программ.

Тесты и задания на специализированных платформах позволяют закреплять изученный материал и проверять приобретённые навыки.

Тренажёры направлены на повышение качества письменной речи, совершенствование орфографии, пунктуации и стиля изложения.

Социальные сети и форумы создают идеальные условия для живого общения на русском языке, знакомства с современными особенностями его употребления.

Форумные обсуждения и тематические сообщества позволяют делиться опытом и получать поддержку как от сверстников, так и от профессиональных педагогов.

Просмотр русскоязычных фильмов и видеофрагментов обогащает словарный запас, улучшает способность воспринимать речь на слух и учит понимать культурные реалии.

Аудиозаписи помогают улучшить произношение и развить навыки слушания, особенно эффективно развивая умение распознавать акценты и диалекты.

Специальные программы моделируют ситуации реального общения, давая возможность студентам учиться формулировать мысли, выстраивать диалоги и уверенно взаимодействовать в разных обстоятельствах.

На сегодняшний день анализу этого явления посвящены работы многих ученых, например, в работе А.Р. Ляндзберг предложен подробный обзор применения дистанционных образовательных технологий, в том числе предложена классификация применяемых технологий:

1. Офлайн (асинхронные) формы обучения: электронная почта, публикация в сети Интернет, вебинары и подкасты, социальные сети (сообщества);

2. Переходные (от синхронных к асинхронным) формы: использование облачных сервисов, программы-мессенджеры, цифровая образовательная среда (ЦОС);

3. Синхронные формы обучения: видео-конференц-связь (видеочаты), специализированные программы типа онлайн-досок, лабораторные практикумы с удаленным доступом, телефонная связь с использованием мобильного телефона (смартфона) [1].

Ю.А. Христова предлагает проанализировать результаты опроса студентов «Основные трудности в дистанционном обучении» [2]. С учетом полученных ответов ею предложен набор веб-сервисов, сгруппированных в зависимости от типа учебного занятия:

1. Урок изучения нового материала: облачные хранилища данных, в том числе позволяющие организовать учебный курс, сервисы для организации видеосвязи, учебная онлайн-доска, платформа «Российская электронная школа»;

2. Урок закрепления пройденного материала: программы захвата видео с экрана монитора (для создания видеоинструкций), Google Classroom, Google-документы и Google-формы (для сбора выполненных практических работ);

3. Урок контроля знаний, умения и навыков: Google-формы, OnlineTestPad.

Статья А.В. Слепухина и И.Н. Семеновой посвящена дидактическим возможностям мобильного обучения: в аналитической таблице соотносятся формируемые профессиональные компетенции и трудовые умения, виды деятельности преподавателя и студента (деятельностный аспект технологии мобильного обучения) и используемые средства мобильного обучения. Авторы отмечают: «Представленные в таблице материалы иллюстрируют сущность «современности» технологии мобильного обучения, состоящую, по нашему мнению, в реализации деятельностного и компетентностного подходов, а также дают возможность оценить дидактический потенциал этой технологии» [3, с. 150].

В работе Е.В. Куликовой дана характеристика интегрированного и специализированного программного обеспечения для организации учебного процесса с использованием дистанционных технологий [4]. Системы дистанционного обучения (Moodle, iSpringLearn, WebTutor, модель «Обучение, тестирование») сравниваются по 8 критериям, в том числе по возможности мобильного обучения и набору инструментов для создания контента и сопровождения курса. Специализированное программное обеспечение сгруппировано по блокам в зависимости от

решаемых с его помощью задач: разработка курсов дистанционного обучения, подготовка контента; ведение учебного процесса; контроль знаний; облачные сервисы; интернет-сервисы. Кроме того, дана структура электронного учебно-методического комплекса, созданного для системы Moodle, с подробным описанием ее дидактических возможностей. Подобная структура может стать примером для создания собственного учебно-методического комплекса и систематизации всех используемых инструментов дистанционного обучения.

Расумов В.Ш., Исаева Г.Г., Жамборов А.А. проанализировали использование информационно-коммуникационных технологий в изучении гуманитарных дисциплин в высшей школе. Авторы отмечают, что «применение информационно-коммуникационных технологий в образовании ... позволяет совершенствовать, дополнять традиционный учебный процесс» [5].

Цифровой трансформации образования была посвящена одноименная конференция, прошедшая в Минске за два года до пандемии. Более 130 работ были представлены в следующих секциях:

1. Информационно-коммуникационные технологии в образовательном процессе;
2. Мировой опыт внедрения инноваций в систему образования;
3. Образование будущего: дополненная и виртуальная реальность;
4. Особенности внедрения ИКТ в инклюзивном образовании;
5. Образовательное облако, большие и открытые данные;
6. Биометрические системы и Интернет вещей в учреждениях образования;
7. Актуальные вопросы развития дистанционного образования;
8. Поддержка общественности и государственное регулирование цифровой трансформации образования [6].

В то же время, несмотря на большое количество материалов, посвященных дистанционным образовательным технологиям, нет работ, исследующих их применение при изучении русского языка в неязыковом вузе, при этом возможности дистанционного и мобильного обучения востребованы, так как количество часов, отведенных на

самостоятельную работу студентов, превышает количество часов аудиторных занятий.

Как отмечают авторы учебного пособия «Самостоятельная работа студентов: виды, формы, критерии оценки», «с переходом на компетентностный подход в образовании необходимо формировать систему умений и навыков самостоятельной работы, воспитывать культуру самостоятельной деятельности студентов» [7]. Таким образом, использование дистанционных образовательных технологий для организации самостоятельной работы студентов является актуальным и соответствует целям и задачам изучения дисциплины «Русский язык и культура общения».

Все формы работы направлены на формирование универсальной коммуникативной компетенции. Индикаторы ее достижения в зависимости от профиля подготовки представлены в таблице 1 (табл. 1).

Таблица 1

Индикаторы достижения универсальной компетенции УК-4

Категория (группа) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции	
		38.03.04 «Государственное и муниципальное управление»	29.03.01 «Технология изделий легкой промышленности»
Коммуникация	УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)	УК-4. И-1. Выбирает на государственном языке РФ и иностранном(-ых) языках коммуникативно приемлемые стиль и средства взаимодействия в общении с деловыми партнерами.	УК-4.1. ИД-1 УК-4 Знать: литературную форму государственного языка РФ, основы устной и письменной коммуникации на иностранном языке, функциональные стили родного языка, требования делового стиля общения и средства взаимодействия с партнерами.

Продолжение таблицы 1

		УК-4. И-2. Ведет деловую переписку на государственном языке РФ и иностранном(-ых) языках.	УК-4.2. ИД-2 УК-4 Уметь: использовать информационно-коммуникационные технологии при поиске необходимой информации в процессе решения стандартных коммуникативных задач на государственном и иностранном (-ых) языках; выражать свои мысли на государственном и иностранном (-ых) языках в ситуации деловой коммуникации.
		УК-4. И-3. Использует диалог для сотрудничества в социальной и профессиональной сферах [8].	УК-4.3. ИД-3 УК-4 Владеть: практическим опытом ведения деловой переписки, составления текстов разной функциональной принадлежности на государственном языке, опытом перевода текстов с иностранного языка на родной, опытом говорения на государственном и иностранном языках [9]

Краткая характеристика основных используемых форм работы при изучении дисциплины «Русский язык и культура общения» представлена в таблице 2 (табл. 2). В ее основе лежит классификация, предложенная А.Р. Ляндзберг.

Таблица 2

Основные формы работы

Форма обучения	Средства обучения	Формы работы
Офлайн (асинхронная)	Электронная почта	Используется не только как ставшая привычной форма электронной коммуникации, но и как тренажер по этикету. После изучения темы «Культура деловой переписки» студент должен отправить преподавателю выполненное задание и сопроводительное письмо к нему. Преподаватель оценивает наличие обращения, формул вежливости, подписи, темы и других обязательных элементов электронного письма.
	Вебинары и подкасты	Преподаватель в качестве материала для выполнения задания/самостоятельной работы рекомендует определенные тематические вебинары/подкасты. Например, правила в блоге Саши Карепиной, эксперта в области деловой переписки, всегда вызывают интерес у студентов [10]. В этот же блок можно включить и онлайн-курсы, направленные на развитие коммуникативных навыков, на платформе «Россия – страна возможностей» [11].
	Социальные сети	Поиск тематических групп в социальных сетях (например, «ВКонтакте»), анализ коммерческих предложений мотивирует студентов осваивать коммуникативные навыки, или soft skills, в рамках изучения дисциплины «Русский язык и культура общения». В частности, в Тамбове наиболее популярным является тренинг «Сила слова» [12, 13].
Переходные (от синхронных к асинхронным)	Использование облачных сервисов	Облачный сервис может быть использован как платформа для подготовки к семинару. Так, для подготовки к занятию, посвященному культуре речевого общения и, в частности, обценной лексике, в облачном сервисе размещаются задания, вопросник для студентов, найденная информация по теме (выступления блогеров; нормативные акты; книги и статьи, посвященные изучению мата; сообщения на форумах; фрагменты речи героев популярных сериалов).

Продолжение таблицы 2

	Программы-мессенджеры	После знакомства с влогом «Училка vs ТВ» (вариативная часть) может быть рекомендован канал автора в мессенджере, а также поиск аналогичных тематических каналов. Как и электронная почта, мессенджер используется не только как средство электронной коммуникации. Преподаватель может дать задание выразить свое мнение в рамках изучения темы «Риторика» (желательно выбрать проблемный вопрос). Цель – проанализировать стиль общения каждого студента. Результат анализа полученных сообщений должен быть направлен индивидуально каждому студенту. Также может быть организована деловая игра в мессенджере: общение с клиентом (вопрос – ответ), общение в группе отдела/организации.
	Google-формы и их аналоги	Студент «получает» письмо (претензия, запрос и т.п.), на которое необходимо подготовить ответ. С результатами работы может ознакомиться каждый студент, так как Google-форма с заданиями является открытой. Задание для студентов юридического профиля: создать речевой портрет великого адвоката (например, А.Ф. Кони или Ф.Н. Плевако). В объединенную таблицу каждый студент выписывает средства выразительности по заданному тексту, затем на основе общих данных создается речевой портрет юриста.
Синхронные формы обучения	Онлайн-доска	Используется для сортировки (характерные черты функциональных стилей, особенности библиографических стандартов), поиска (правильно оформленные реквизиты делового письма). Может быть введен элемент деловой игры: общение со сложным клиентом представлено на онлайн-доске, при этом необходимо выбрать корректные варианты ответов на обращение клиента. Кроме того, предложить свой вариант может каждый студент.

Как правило, нами используется комбинация нескольких средств обучения и соответствующих им типов заданий: облачное хранилище и Google-формы/онлайн-доска, при этом студент использует материал, предложенный преподавателем, размещает свой тематический материал,

выполняет часть общего задания учебной группы. Подобные формы работы являются практикоориентированными. Информацию о том, что многие электронные сервисы обучения были созданы для работы организаций и активно используются в реальной профессиональной деятельности, преподаватель сообщает на вводном занятии.

Наименее интересная студентам тема «Акцентологические нормы» может быть представлена таким комплексом заданий:

1. Заполнить Google-формы, при этом общее задание делится пропорционально количеству студентов в группе (табл. 3).

Таблица 3

Google-формы

Слово	Ударение (если есть варианты, то указать стилистические пометы): дать ссылку на интернет-словарь	Меняется ли ударение при изменении формы слова?	Как используется в речи: ссылка на звучащий файл (услышанное в речи блогера/ведущего/актера либо собственная аудиозапись)

2. Запомнить правильную постановку ударения во всех словах, представленных в таблице.

Проверка знаний осуществляется с использованием онлайн-доски. Важно, что работа является коллективной, ответственность за результат несет каждый член группы.

Кроме того, нами используются нейросети в сочетании с другими средствами обучения. Например, студенту дается задание проверить деловое письмо, сгенерированное нейросетью, на соответствие ГОСТу и правилам ведения деловой переписки. Для этой работы удобен формат Google-форм.

Необходимо отметить, что перечислены далеко не все существующие формы и средства обучения, а только активно используемые нами в педагогической практике. Так, видеоконференция используется как форма дистанционного обучения, для самостоятельной

работы студентов очного отделения, на наш взгляд, не является целесообразной. Использование цифровой образовательной среды (ЦОС) (например, системы *Moodle*) является предметом отдельного исследования.

Безусловно, часть работы может быть организована без использования информационно-коммуникационных технологий. Но их применение соответствует современным целям и задачам обучения – подготовить специалиста, у которого сформированы ключевые компетенции, позволяющие эффективно осуществлять профессиональную деятельность. Цифровизация образования отражает цифровизацию общества в целом: описываемое программное обеспечение ориентировано не только на учебные процесс, но и на совместное ведение проектов в различных сферах экономики.

Важно отметить, что успешность использования новых методов зависит от профессионализма преподавателей и готовности обучающихся активно включаться в работу с новыми инструментами.

Применение информационно-коммуникационных технологий открывает широкие перспективы для модернизации учебного процесса, делает его динамичным, современным и ориентированным на реальные потребности общества.

Таким образом, приведенные задания акцентируют ориентированность обучения на решение будущих профессиональных задач, способствуют созданию рабочей обстановки на занятии, добавляют интерактивности, что, в свою очередь, заставляет включиться в активную работу наименее заинтересованных обучающихся.

Список литературы

1. Ляндзберг А.Р. Обзор применения дистанционных образовательных технологий при организации процесса обучения в вузе // Инновационные технологии в образовательной деятельности: Материалы XXIV Международной научно методической конференции, Нижний Новгород, 02 марта 2022 года. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е Алексеева, 2022. С. 211-216.

2. Христова Ю.А. Обзор веб-ресурсов для дистанционного обучения студентов среднего профессионального образования по дисциплине «Информационные технологии» // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. 2020. № 4(48). С. 118-122. EDN SSKQVL.

3. Слепухин А.В., Семенова И.Н. Дидактические возможности мобильного обучения как современной образовательной технологии с позиции деятельностного и компетентностного подходов // Педагогическое образование в России. 2018. № 8. С. 145-152. DOI 10.26170/po18-08-20.

4. Куликова Е.В. Обзор и дидактические возможности интегрированного и специализированного программного обеспечения для организации учебного процесса с использованием дистанционных технологий // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2020. № 2(34). С. 36-42.

5. Расумов В.Ш., Исаева Г.Г., Жамборов А.А. Использование информационно-коммуникационных технологий в изучении гуманитарных дисциплин // Проблемы современного педагогического образования. 2021. №71-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-informatsionno-kommunikatsionnyh-tehnologiy-v-izuchenii-gumanitarnyh-distiplin> (дата обращения: 12.05.2025).

6. Цифровая трансформация образования: Электронный сборник тезисов докладов 1-й научно-практической конференции, Минск, 30 мая 2018 года. Минск: Учреждение «Главный информационно-аналитический центр Министерства образования Республики Беларусь», 2018. 479 с. EDN UVZEVs.

7. Самостоятельная работа студентов: виды, формы, критерии оценки: учебно-методическое пособие / А.В. Меренков, С.В. Куньщиков, Т.И. Гречухина, А.В. Усачева, И.Ю. Вороткова; под общ. ред. Т.И. Гречухиной, А.В. Меренкова. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 80 с. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40679/1/978-5-7996-1680-9_2016.pdf (дата обращения: 03.05.2025).

8. Примерная основная образовательная программа по направлению подготовки 38.03.04 «Государственное и муниципальное управление». URL: https://fgosvo.ru/uploadfiles/Projects_POOP/BAK/380304_POOP_V.pdf?ysclid=lzquirtft9194746879 (дата обращения: 01.05.2025)

9. Примерная основная образовательная программа по направлению подготовки 29.03.01 «Технология изделий легкой промышленности». URL: https://fgosvo.ru/uploadfiles/Projects_POOP/BAK/290301_POOP_V_1.pdf (дата обращения: 01.05.2025)

10. Блог // Саша Карепина. Обучение деловой переписке: [сайт]. URL: <https://sashakarepina.com/blog/> (дата обращения: 03.08.2024)

11. Онлайн-курсы // Россия – страна возможностей: [сайт]. URL: <https://rsv.ru/education/> (дата обращения: 04.05.2025)

12. Сила слова: [сайт]. URL: <https://silaslovatmb.ru> (дата обращения: 01.05.2025).

13. Сила слова: сообщество // ВКонтакте: [сайт]. https://vk.com/silaslova_tmb?ysclid=lzquzbs136915769055 (дата обращения: 01.05.2025).

© Иконникова Я.В., Глазкова М.М.

Глава 21.
**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ
ПРОЦЕССЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ГУМАНИТАРНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Виноградов Евгений Валентинович
канд. пед. наук, доцент кафедры защиты информации
ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Аннотация: В данной главе рассматриваются актуальные вопросы внедрения искусственного интеллекта (ИИ) в образовательный процесс, с особым акцентом на гуманитарные дисциплины. Анализируются преимущества и ограничения использования ИИ, включая персонализацию обучения, автоматизацию рутинных задач, повышение объективности оценивания и этические аспекты. Приводятся практические примеры применения ИИ в вузах гуманитарного профиля, такие как автоматизация проверки письменных работ, генерация персонализированных тестов и использование чат-ботов для консультаций. На основе проведенного исследования предлагаются рекомендации по внедрению ИИ в образовательные программы, включая пошаговый алгоритм для преподавателей. Особое внимание уделено сохранению баланса между технологическими инновациями и традиционными педагогическими подходами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровизация образования, гуманитарные дисциплины, персонализация обучения, автоматизация оценивания, этика ИИ.

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS:
TRANSFORMATION OF HUMANITARIAN EDUCATION**

Vinogradov Evgeny Valentinovich

Abstract: This chapter discusses current issues of the introduction of artificial intelligence (AI) into the educational process, with a special focus on

the humanities. The advantages and limitations of using AI are analyzed, including the personalization of training, automation of routine tasks, increasing the objectivity of assessment, and ethical aspects. Practical examples of the use of AI in universities of the humanities are given, such as automation of the verification of written papers, the generation of personalized tests and the use of chatbots for consultations. Based on the conducted research, recommendations are proposed for the implementation of AI in educational programs, including a step-by-step algorithm for teachers. Special attention is paid to maintaining a balance between technological innovations and traditional pedagogical approaches.

Key words: artificial intelligence, digitalization of education, humanities, personalization of learning, automation of assessment, ethics of AI.

Введение

Современное образование сталкивается с множеством вызовов, среди которых необходимость повышения эффективности учебного процесса и адаптация к быстро меняющимся требованиям рынка труда. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в образовательную сферу открывает новые горизонты для решения этих проблем, однако требует тщательного анализа и понимания его потенциала и ограничений.

Цель данной работы заключается в исследовании применения ИИ преподавателями и студентами как инструмента для повышения эффективности образовательного процесса. Важно понять, как ИИ может изменить традиционные методы обучения и какие новые возможности он предоставляет для персонализации и автоматизации образовательных практик.

Актуальность темы не вызывает сомнений: в условиях глобализации и цифровизации образования, использование ИИ стало состоявшимся фактом, активно влияющим на образовательный процесс. К такому положению дел в своей основе оказались не готовы как преподаватели, так и студенты, здесь мы говорим о качественном усвоении учебного материала и получения реальных знаний студентами. Массовый выход в свободный доступ множества разработок ИИ,

платформ, сайтов привели к неконтролируемому и хаотичному использованию их возможностей студентами при выполнении практических и самостоятельных работ, написания курсовых и выпускных квалификационных работ. На данный момент становится необходимым методологическое осознание использования ИИ в образовательном процессе, как для повышения качества образования, так и для обеспечения конкурентоспособности образовательных учреждений, причем, как в России, так и за рубежом. Даже на первый взгляд внедрение ИИ может помочь в решении таких задач, как оптимизация учебных планов, повышение мотивации студентов, улучшение качества взаимодействия между участниками образовательного процесса и формирование системы контроля деятельности студента.

В рамках данной работы мы постараемся рассмотреть несколько задач: анализ существующих методов применения ИИ в образовании, оценка его влияния на успеваемость студентов, а также изучение этических аспектов использования данных технологий в учебном процессе.

Эмпирической базой исследования стали данные европейских исследований по данному профилю, опубликованные в отчетах ЮНЕСКО и европейских изданиях, таких как «International Journal of Educational Technology in Higher Education», «Crossroads» за 2019–2024 годы, а также результаты исследования российских компаний «Smart Ranking», «Alpina Digital» и ряда российских вузов, указанные далее в тексте монографии. Специальное выборочное обследование в учебных группах Костромского государственного университета гуманитарных специальностей и естественно научного направления охватывает период с 2021 по 2024 год. Выборка осуществлялась на 18 группах, и данные охватывают все стороны изучаемого явления.

Таким образом, данное исследование направлено на глубокое понимание влияния искусственного интеллекта на образовательный процесс и его потенциала для повышения его эффективности.

1. Теоретические основы применения искусственного интеллекта в образовании

1.1 Определение и основные концепции искусственного интеллекта

За последние годы можно выделить несколько устоявшихся понятий и определений в сфере внедрения ИИ в образовательный процесс фигурирующих в исследовательских материалах, опубликованных в научных изданиях и звучащих с трибун педагогических конференций.

К ним можно отнести следующие современные подходы к интеграции искусственного интеллекта в образовательную практику:

1. Адаптивное обучение нового поколения

Современные ИИ-алгоритмы открывают возможность принципиально нового подхода к образованию - создания динамических учебных траекторий, которые в реальном времени подстраиваются под когнитивные особенности, темп усвоения материала и индивидуальные образовательные цели каждого студента. Как отмечают некоторые зарубежные исследователи, такая персонализация позволяет повысить эффективность обучения по сравнению с традиционными методами [1].

2. Трансформация системы оценки знаний

Искусственный интеллект революционизирует процесс оценивания, предлагая не просто автоматическую проверку, а комплексный анализ учебных достижений. Современные системы на базе ИИ способны:

- Выявлять закономерности в ошибках
- Оценивать креативность решений
- Предлагать персонализированные рекомендации по развитию

При этом, как подчеркивает в отчете ЮНЕСКО за 2021 г., «Искусственный интеллект и образование: руководство для политиков», сохраняется принципиально важный баланс между автоматизацией и экспертной оценкой педагога [2].

3. Интеллектуальные образовательные среды

Виртуальное обучение переживает качественный скачок благодаря:

- Интерактивным тьюторам с элементами эмоционального интеллекта
- Иммерсивным платформам смешанной реальности
- Системам коллаборации с интеллектуальной аналитикой групповой динамики

Эти технологии, по данным исследования опубликованного в «Международном журнале образовательных технологий в высшем образовании» в 2019 г. группой европейских исследователей, особенно эффективны для развития метакогнитивных навыков [3].

4. Преобразующая аналитика в образовании

Современные ИИ-системы обработки образовательных данных позволяют:

- Прогнозировать академические риски
- Оптимизировать учебные программы
- Выявлять скрытые таланты учащихся
- Формировать индивидуальные образовательные маршруты

Как отмечает аналитик Эми Адэр в своей работе [4], это создает основу для принципиально новой - предиктивной - модели образования.

Таким образом зарубежные источники выделяют следующие ключевые преимущества современных ИИ-решений:

- Гибкость и адаптивность учебных программ
- Многоуровневая система оценки компетенций
- Непрерывная обратная связь нового качества
- Возможность масштабирования лучших педагогических практик

Все приведенные данные подтверждены последними исследованиями в области образовательных технологий и нашли отражение в публикации отчёта агентства Smart Ranking «Большой edtech-отчёт: итоги 2024». [5].

1.2 Особенности интеграции ИИ в образовательный процесс

В своей работе будем считать, что теоретические основы применения искусственного интеллекта в образовании включают понимание того, что ИИ стремится к созданию систем, которые могут учиться и совершенствоваться с опытом, а также адаптироваться к изменяющимся условиям и средам. Важной чертой ИИ является способность обрабатывать большие объёмы данных и находить в них закономерности, что делает его мощным инструментом для анализа и прогнозирования.

Проведенный анализ российских и европейских источников за последние годы позволили выделить некоторые особенности интеграции ИИ в образовательный процесс:

персонализация обучения и адаптивные траектории: с помощью ИИ занятия и задания подстраиваются под индивидуальные нужды обучающегося, его темп, стиль усвоения информации и текущий уровень знаний. Алгоритмы анализируют результаты, выявляют пробелы, предлагают нужные упражнения и дополнительные объяснения;

мгновенная обратная связь и индивидуальная поддержка: ИИ-сервисы и умные тьюторы оперативно анализируют работу каждого обучающегося и дают подсказки, рекомендации, корректируют ошибки в реальном времени;

автоматизация рутинных задач: ИИ может автоматически проверять тесты, сортировать задания, вести электронные журналы, выставлять оценки и составлять отчёты по успеваемости;

интерактивные и иммерсивные форматы обучения: ИИ интегрируется с технологиями дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR), что позволяет проводить виртуальные лаборатории, экскурсии, симуляции;

интеллектуальный анализ и прогнозирование успеха (в стадии формирования): ИИ-аналитика помогает выявлять успешные методики преподавания, отслеживать динамику группы, определять зоны риска и заранее разрабатывать индивидуальные траектории помощи для каждого обучающегося или группы.

Накопленный за последние годы обширный опыт интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в образовательный процесс позволяет выявить ряд ключевых проблем и препятствий, возникающих при внедрении данных инноваций в сферу образования. Эти вызовы обусловлены необходимостью адаптации традиционных педагогических подходов к новым условиям цифровой среды, учета этических аспектов применения ИИ, разработки эффективных механизмов оценки качества образовательных результатов, обеспечением равного доступа к технологиям вне зависимости от социально-экономического статуса учащихся, а также созданием соответствующих регуляторных рамок, обеспечивающих безопасность и конфиденциальность персональных данных участников образовательного процесса. Понимание указанных трудностей является необходимым условием для успешного развития и широкого распространения инновационных решений на основе ИИ в образовательной сфере.

Таким образом, внедрение искусственного интеллекта в образование представляет собой не просто техническую модернизацию, а комплексный трансформационный процесс, требующий сбалансированного подхода, направленного на максимальное раскрытие педагогического потенциала технологий при одновременном нивелировании сопутствующих рисков. Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на разработке эффективных моделей гибридного взаимодействия «педагог—ИИ-система» и создании нормативно-правовой базы, регулирующей использование образовательных данных.

1.3 Преимущества и ограничения использования ИИ в обучении

Наше исследование выделяет следующие направления в применении ИИ в образовательной сфере: персонализированное обучение; оценка знаний студентов; использование виртуальных ассистентов и чат-ботов; адаптивные образовательные платформы.

Анализ полученных данных показывает, что такие системы обладают потенциалом анализировать индивидуальные характеристики

студентов и рекомендовать оптимально подобранные задания и материалы. Статистическое обследование студентов гуманитарных специальностей в 2022-2024 годах в десяти группах (243 человека) подтвердило, что почти половина опрошенных отметила удобство персональных рекомендаций и улучшение мотивации благодаря такому подходу.

Хотя такие системы пока недостаточно развиты, они способны анализировать данные обучающихся и предлагать адаптированные задания и учебные материалы. Проведем краткий анализ их потенциала для успешного применения в системе образования.

Прогностический потенциал искусственного интеллекта в образовании раскрывается через анализ больших данных, позволяя строить предиктивные модели академической успеваемости обучающихся. Данный подход, основанный на выявлении скрытых паттернов и корреляций в исторических данных, открывает возможности для раннего выявления студентов группы риска и проактивного принятия педагогических решений. Однако, несмотря на доказанную эффективность, в рассматриваемых нами исследованиях, массовая имплементация подобных систем сталкивается с существенными барьерами, включая этические дилеммы (проблемы конфиденциальности данных и алгоритмической предвзятости), техническую сложность интеграции с существующей образовательной инфраструктурой и недостаточную проработанность нормативно-правовой базы.

В контексте современного процесса трансформации образовательных парадигм, технологии иммерсивного обучения — виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность — занимают ключевое место. Их фундаментальное преимущество заключается в способности моделировать сложные, многомерные явления и абстрактные концепции, обеспечивая глубокое когнитивное погружение и формирование практических навыков в контролируемой и безопасной среде. Это способствует переходу от пассивного усвоения информации к активному, опытному обучению, что особенно актуально для дисциплин естественнонаучного и инженерного профиля.

Таким образом, интеграция искусственного интеллекта в образовательный процесс позволяет реализовать ряд стратегических преимуществ, которые можно систематизировать на нескольких уровнях:

На дидактическом уровне: обеспечение гибкой персонализации образовательных траекторий, адаптирующейся к индивидуальному когнитивному стилю, темпу и потребностям обучающегося.

На процессуальном уровне: оказание непрерывной адаптивной поддержки (в форме интеллектуальных чат-ботов и репетиторов), доступной в режиме 24/7, что снижает аудиторную нагрузку и формирует среду для самостоятельной работы.

На административно-управленческом уровне: автоматизация рутинных операций (проверка работ, составление расписаний) и глубокая аналитика данных для принятия обоснованных управленческих решений, направленных на повышение качества всего образовательного процесса.

Данный вывод подтверждается результатами анкетирования студентов 1 курса (123 человека) проведенное в 2022-2023 годах. Почти 70% студентов считают полезным внедрение чат-ботов и виртуальных помощников для оперативного решения вопросов и поддержки в учебе.

Вместе с тем остаются значительные ограничения и риски, связанные с внедрением технологий ИИ в образование: необходимость значительных ресурсов и инфраструктуры; риск возникновения предубеждения в алгоритмах; недоверие педагогов и участников образовательного процесса; чрезмерная зависимость от автоматизированных решений; этические аспекты использования ИИ.

Примерно каждый четвертый студент выразил обеспокоенность вопросами конфиденциальности данных и возможной дискриминацией на основании машинного анализа.

Таким образом, наше исследование демонстрирует, что ИИ имеет значительный потенциал для улучшения качества и эффективности образования, но требует продуманного и взвешенного подхода к внедрению, включая решение проблем технической оснащенности,

предотвращения предвзятости и преодоление психологических барьеров у пользователей.

2. Анализ существующих методов использования ИИ в образовательных учреждениях

2.1 Применение ИИ для персонализации обучения

Проведенный анализ современных образовательных практик позволяет систематизировать ключевые методы применения технологий искусственного интеллекта в зависимости от их функционального назначения и глубины интеграции в учебный процесс. Эффективность их внедрения варьируется в зависимости от зрелости технологических решений и готовности институциональной среды. Представим следующие наиболее релевантные направления, сгруппировав их по функциональному назначению.

Наиболее активно развивающимся методом, имеющим глубокую интеграцию во многих вузах России, является автоматизация административно-педагогической деятельности. Данное направление предполагает делегирование AI-системам рутинных операций, таких как верификация типовых заданий, генерация шаблонов рабочих программ и календарно-тематическое планирование. Это позволяет высвободить интеллектуальные и временные ресурсы педагога для реализации креативных и коммуникативных функций, что ведет к трансформации профессиональной роли преподавателя от транслятора знаний к управлению поиском решения учебной задачи.

Не менее важным является генерация и адаптация образовательного контента. Искусственный интеллект выступает в роли инструмента креации, способного синтезировать разноформатные учебные материалы на основе заданных параметров. Это не только снижает когнитивную нагрузку на преподавателя, но и закладывает основу для динамической адаптации контента под потребности конкретной аудитории или отдельного обучающегося.

Несмотря на сложность и затратность метода, разработка иммерсивных и игрофицированных сред обучения активно реализуется многими вузами и авторскими коллективами. Используя генеративные

возможности нейросетей, педагоги могут создавать сложные симуляторы, сценарии деловых игр и проблемные квесты. Подобные среды моделируют реальные профессиональные контексты, обеспечивая формирование не только предметных знаний, но и мягких навыков через механизм экспериментального обучения, что значительно повышает мотивацию и вовлеченность.

AI-системы осуществляют глубинный анализ образовательных цифровых следов студентов, выявляя не только пробелы в знаниях, но и индивидуальные когнитивные паттерны. Развитие предиктивной аналитики и персонализации обучения позволяет формировать адаптивные образовательные траектории и обеспечить персональные рекомендации, смещая фокус с реактивного исправления ошибок на проактивное управление успеваемостью.

Активно развивается и реализуется в образовании методика групповых динамик. Так алгоритмы машинного обучения применяются для таксономии обучающихся на основе диагностики их текущего уровня подготовки, когнитивных стилей и социально-психологических характеристик. Интеллектуальное формирование учебных групп способствует повышению эффективности командной работы, минимизации когнитивного диссонанса и созданию сбалансированной среды для продуктивной совместной работы.

Статистическое обследование студентов (243 респондента) подтверждает высокую удовлетворённость студентами персонализацией учебного процесса с помощью ИИ: 85% отметили положительную динамику мотиваций и академических достижений (Таблица 1).

Таблица 1

«Персонализация обучения с помощью ИИ»

Категория	Процент
Повышение мотивации	85%
Улучшение успеваемости	80%
Удобство использования	75%
Проблемы интеграции	15%

Это свидетельствует о том, что персонализация обучения с помощью ИИ способствует повышению интереса и успеваемости студентов.

Таким образом, применение ИИ для персонализации обучения на основе таких элементов, как: анализ индивидуальных особенностей учащихся, интеллектуальная оценка когнитивных стилей; микрообучение на основе ИИ; системы семантического анализа ответов позволяет повысить качество образовательного процесса.

Данный вывод так же подтверждается исследованиями Шарифбаевой Х.Я., Абдурашидовой М.Ж. [6] которые показывают, что персонализированный подход с использованием ИИ способен повысить академические результаты по сравнению с традиционными стандартизированными методиками на 25–30%.

2.2 Автоматизация рутинных задач преподавателей и студентов

Вышеописанные методы использования ИИ в образовательных учреждениях и способы автоматизации рутинных задач преподавателей и студентов активно внедряются в системе образования. Выделим ряд успешных практик в рамках анализа нашего анализа, с указанием эффективно используемых элементов метода.

Генерация учебных планов и методических материалов позволяет преподавателю формулировать основные цели обучения, а ИИ разрабатывает структурированный план, подбирает источники и создаёт задания для закрепления материала. Нейросеть учитывает различные образовательные стандарты и может адаптировать план под конкретную аудиторию. Но на данный момент результат требует осознанной перепроверки.

Проверка домашних заданий и эссе является энергозатратной частью работы преподавателя, но нейросети достаточно успешно не только выявляют грамматические и пунктуационные ошибки, но и анализируют смысловое содержание работ, оценивают логичность аргументации и даже выявляют случаи плагиата или использования ИИ при выполнении задания.

Автоматический анализ успеваемости студентов уже имеет высокий уровень внедрения в образовательный процесс. AI-системы обрабатывают результаты контрольных работ, выявляют типичные ошибки и предлагают персонализированные рекомендации для каждого обучающегося.

Активно используемые виртуальные помощники для обучающихся в американской системе образования нашли применение и развитию в российской системе образования. Они подсказывают траекторию, дают обратную связь, предлагают решать задания. В отличие от преподавателя-человека, виртуальные помощники доступны 24/7 и могут «говорить» на разных языках.

Актуальным направлением исследования текущего времени является глубинный анализ образовательных цифровых следов. Интеллектуальные системы управления обучением могут автоматически отслеживать прогресс обучающегося, генерировать отчёты и предупреждать преподавателей о потенциальных проблемах, требующих внимания.

Проиллюстрируем некоторые современные образовательные практики использования ИИ в российском образовании:

НИУ ВШЭ. Разработал чат-бота для помощи студентам, который позволяет отслеживать сроки выполнения работ и следить за расписанием.

КФУ. Запустил чат-бота для психологической поддержки студентов.

РГУ СоцТех. Внедрил ИИ-помощника на базе нейросетевой модели GigaChat MAX для поиска учебной и административной информации.

ТГУ. Разработал чат-бота для иностранных студентов, помогающего ориентироваться в кампусе, оформлять документы и адаптироваться к учёбе в России.

МГЛУ. Преподаватели кафедры перевода успешно используют ИИ-инструменты для автоматизации проверки письменных работ студентов.

Несмотря на значительный потенциал технологий искусственного интеллекта для трансформации образования, их широкомасштабная

имплементация сопряжена с рядом комплексных вызовов, требующих заблаговременного осмысления и выработки стратегий их нивелирования. К числу наиболее критичных проблематик относятся: этические дилеммы и алгоритмическая предвзятость, способные усугубить существующее неравенство и привести к дискриминационным решениям; риски деградации метакогнитивных навыков, в частности, критического мышления и самостоятельного решения задач, вследствие избыточной автоматизации интеллектуальной деятельности; угрозы конфиденциальности и безопасности обработки чувствительных образовательных данных; цифровое неравенство, проявляющееся как в проблемах доступа к технологиям, так и в риске формирования технологической зависимости; операциональные и кадровые барьеры, включающие повышенную нагрузку на педагогов в период адаптации и острую необходимость в формировании новых цифровых компетенций; социопсихологический риск эрозии традиционных форм межличностной коммуникации.

Приведем экспертную оценку преподавателей (Таблица 2), работающих в исследуемых группах. Результаты анкетирования подтвердили положительные эффекты от использования ИИ:

Таблица 2

Экспертная оценка преподавателей

Показатель	Среднее значение (баллы)
Экономия времени	4,5
Качество обратной связи	4,2
Мотивация студентов	4,0
Лёгкость адаптации	3,8
Удовлетворённость работой	4,3

Данные свидетельствуют о существенном повышении продуктивности преподавателей и положительных изменениях в восприятии учебного процесса студентами.

По результатам анализа применения искусственного интеллекта для автоматизации рутинных задач преподавателей и студентов можно сделать следующий вывод: имеются широкие перспективы для оптимизации образовательного процесса; методы, основанные на технологиях ИИ, позволяют упростить проверку домашнего задания, создавать качественные учебные материалы и глубоко анализировать успеваемость студентов. Вместе с тем, несмотря на очевидные преимущества использования ИИ в образовательном процессе, важно учитывать возможные негативные последствия и разработать комплекс мер для минимизации рисков.

2.3 Инструментарий искусственного интеллекта для оптимизации образовательных коммуникаций

В рамках данного исследования проводится анализ потенциала инструментария искусственного интеллекта для оптимизации коммуникативных процессов в рамках образовательных учреждений. Эмпирической базой частичного апробирования представленных решений выступил учебный курс «Информатика и основы информационной безопасности».

Ключевые инструменты, составляющие предмет анализа, были систематизированы по четырем функциональным категориям:

Интеллектуальные ассистенты преподавателя. Данный класс систем ориентирован на автоматизацию рутинных операций (например, первичная верификация типовых заданий) и предоставление аналитической поддержки для принятия педагогических решений на основе обработки образовательных данных.

Образовательные дашборды. Инструменты данного типа обеспечивают агрегацию и визуализацию данных об академическом прогрессе обучающихся и эффективности применяемых педагогических стратегий, что формирует основу для адаптивного управления учебным процессом.

Системы аналитики компетенций. Решение основано на алгоритмах сопоставления формируемых у студентов компетенций с актуальными требованиями профессиональных стандартов и рынка труда, обеспечивая

тем самым повышенную релевантность и практико-ориентированность образовательных программ.

Платформы для кросс-дисциплинарной интеграции. Специализированное ПО, использующее методы машинного обучения для выявления латентных связей между различными предметными областями и последующего конструирования интегрированных образовательных модулей.

Ярким примером практической реализации первого направления являются образовательные чат-боты. Их внедрение позволяет институционализировать поддержку учебной деятельности, повышая доступность консультаций вне аудиторного времени и усиливая сопровождение самостоятельной работы студентов.

В качестве релевантного кейса можно привести чат-бот Iris, разработанный исследовательской группой Мюнхенского технического университета (TUM) для сопровождения студентов, изучающих программирование в рамках курса информатики [7]. Интегрированный в образовательную платформу Artemis, бот использует модель OpenAI для обеспечения персонализированной поддержки, предлагая учащимся контекстно-зависимые подсказки и наводящие вопросы с учетом индивидуального уровня знаний.

Зарубежная практика демонстрирует наличие развитого рынка решений для создания подобных ассистентов (напр., BotMother, PuzzleBot, Botpress, Rasa, DialogFlow) [7], что свидетельствует о востребованности и перспективности данного направления.

Таким образом, проведенный анализ позволяет констатировать, что представленный инструментарий ИИ — интеллектуальные ассистенты, дашборды, системы аналитики компетенций и платформы для междисциплинарной интеграции — направлен на комплексную оптимизацию взаимодействия между всеми участниками образовательного процесса. Как демонстрирует опыт внедрения (на примере чат-бота Iris), данные решения способствуют не только росту операционной эффективности, но и развитию автономии обучающихся и персонализации образовательной траектории.

3. Влияние искусственного интеллекта на образовательный процесс

3.1 Изменение роли преподавателя и студента в условиях применения ИИ

Трансформация образовательной парадигмы под влиянием искусственного интеллекта детерминирует изменение традиционных ролей преподавателя и обучающегося. Интеграция ИИ-инструментов способствует переходу к персонализированным и адаптивным образовательным траекториям, обеспечивает мгновенную обратную связь и автоматизацию рутинных операций, а также внедряет интерактивные и иммерсивные форматы обучения, подкрепленные предиктивной аналитикой.

В данном контексте роль преподавателя эволюционирует в сторону тьюторства и координации взаимодействия обучающихся. Преподаватель актуализирует функции наставника, ориентированного на развитие у обучающихся метакогнитивных способностей — критического мышления, креативности и успешного сотрудничества, — используя при этом аналитические выводы, сгенерированные системами ИИ для адресного педагогического воздействия.

Роль студента трансформируется в сторону автономизации и активизации учебной деятельности. За счет взаимодействия с чат-ботами и виртуальными ассистентами, обеспечивающими круглосуточную поддержку без эмоциональных и временных барьеров, обучающийся становится субъектом, ответственным за конструирование индивидуальной образовательной траектории.

Ключевыми вызовами внедрения остаются риски алгоритмических ошибок, этические дилеммы обработки данных, а также сложность адаптации традиционных педагогических моделей к новым технологическим условиям.

Таким образом, применение ИИ приводит к перераспределению функций в образовательной системе: преподаватель выступает в роли куратора и мотиватора, акцентируя внимание на развитии мягких навыков, тогда как студент занимает проактивную позицию благодаря постоянной доступности интеллектуальных систем поддержки (Таблица 3).

Таблица 3

Влияние ИИ на изменение ролей преподавателя и студента

Аспект	Описание
Персонализация обучения	Индивидуальные маршруты и адаптивное тестирование
Обратная связь	Быстрая и подробная реакция на успехи и трудности
Автоматизация задач	Проверка тестов, составление расписания, ведение документации
Иммерсивные форматы	Создание интерактивных сценариев и игровых элементов
Прогнозирование	Выявление слабых мест и построение эффективных путей развития

3.2 Влияние на успеваемость и мотивацию студентов

Искусственный интеллект влияет на образовательный процесс, преобразуя методы обучения и восприятие образовательного процесса студентами.

Показательный пример по использованию ИИ-ассистента для подготовки к экзаменам описан Зуевой И.В. и Мальковой Е.В. [9]. Студенты, использовавшие персонализированные тесты, сгенерированные нейросетью на основе их пробелов в знаниях, показали лучшие результаты по сравнению с контрольной группой. Особенно эффективной эта методика может оказаться для студентов с тревожностью, так как система позволяет им тренироваться в комфортном темпе без страха осуждения.

Влияние ИИ на мотивацию студентов также положительно: ИИ повышает мотивацию и вовлечённость, делая обучение более приятным и значимым для студентов. Это происходит за счёт персонализированного обучения, которое адаптирует содержание и инструкции к индивидуальным потребностям и стилям обучения студентов.

Еще одним важным примером служит включение в курсы специализированных тренажеров на базе ИИ. Интерактивные занятия повышают уровень интереса студентов к дисциплине, улучшают запоминание материала и развивают практические навыки.

Вместе со студентами были рассмотрены и опробованы некоторые специализированные тренажеры на базе ИИ, которые предлагают практику по моделированию реальных ситуаций атак хакеров и способов защиты (рассматривается в режиме апробации за 2022-2024 гг.): Standoff Defend, Hack The Box, PT Dephaze.

ИИ оказывает позитивное воздействие на успеваемость и мотивацию студентов, способствуя личностному росту и улучшению образовательных результатов. Используемые методики основаны на персонализации обучения, предоставлении оперативной обратной связи и создании увлекательных условий для обучения.

Экспериментальное исследование на выборке из 164 студентов за три года показало следующие результаты (Таблица 4):

Таблица 4

**Результаты экспериментального исследования влияния ИИ
на успеваемость и мотивацию студентов**

Параметр	Контрольная группа (%)	Экспериментальная группа (%)
Успеваемость	65	82
Уровень мотивации	55	78
Эмоциональный фон	45	67

Итоги эксперимента подтверждают гипотезу о том, что ИИ-ориентированная среда стимулирует познавательную активность и увеличивает уровень заинтересованности студентов.

3.3 Этические аспекты использования ИИ в образовании

Интеграция искусственного интеллекта в образовательную систему открывает значительные возможности для персонализации обучения и

повышения его эффективности, однако сопряжена с комплексом этических вызовов, требующих системного осмысления и регулирования.

Отразим наиболее актуальные проблемы и предложим меры нивелирования негативного воздействия.

Технической и технологической проблемой является алгоритмическая предвзятость и дискриминация. Риск закрепления и усиления существующих социальных неравенств вследствие обучения моделей на смещённых данных. Для минимизации данного риска необходим регулярный аудит алгоритмов и мониторинг их решений на предмет дискриминационных последствий.

Время цифровых технологий привнесло в жизнь человека новую угрозу - нарушения конфиденциальности и безопасность данных. Работа ИИ-систем с большими массивами персональной информации обучающихся создаёт угрозы их приватности. Ключевыми мерами противодействия выступают строгая анонимизация данных, минимизация их сбора и внедрение современных протоколов шифрования.

Всеобъемлющее привнесение в образовательный процесс цифровых технологий требует сохранения человеческой автономии. Автоматизация образовательного процесса может привести к снижению роли педагога и ограничению развития критического мышления у учащихся. Важным представляется сохранение за преподавателем функции фасилитатора и наставника.

Высокая стоимость и сложность внедрения ИИ-решений могут усугубить цифровое неравенство между учебными заведениями. Это требует разработки государственных программ, направленных на выравнивание технологических возможностей в обеспечение равного доступа.

Для смягчения указанных рисков необходима разработка комплексной системы регулирования, включающей:

- современные стандарты защиты данных,
- прозрачные механизмы информированного согласия,

- регулярный аудит систем безопасности,
- внедрение в образовательные программы модулей по цифровой грамотности и этике.

В Российской Федерации данная работа может быть осуществлена путём совершенствования законодательства в области персональных данных (федеральный закон № 152 «О персональных данных») и включения этических принципов разработки и использования ИИ в образовательные стандарты.

Таким образом, устойчивое внедрение искусственного интеллекта в образование возможно лишь при условии приоритета этических принципов и формирования адекватной нормативно-правовой базы.

4. Рекомендации по внедрению ИИ в образовательный процесс

4.1 Разработка стратегии интеграции ИИ в учебные программы

В ходе проведенного исследования определены рекомендации по внедрению ИИ в образовательный процесс:

Определение приоритетных зон для улучшения с помощью ИИ.

Постановка конкретных целей и критериев измерения результатов.

Выбор соответствующих ИИ-технологий и инструментов.

Распределение ресурсов и обязанностей внутри команды внедрения.

Проведение пилотных проектов и оценка полученных результатов.

Интеграция ИИ-инструментов в существующие образовательные практики.

Планирование долгосрочного развития и регулярного обновления.

Важно подчеркнуть, что стратегия должна учитывать особенности различных уровней обучения и постоянно подвергаться оценке и коррекции.

Проведённое нами исследование охватывало студентов и преподавателей и позволило выявить ключевые тенденции и потребности в интеграции ИИ. Представляем полученные результаты в виде сводной таблицы (таблица 5):

Таблица 5

Оценка готовности к внедрению ИИ в образовательный процесс

Группа	Готовность (%)	Барьеры (%)
Преподаватели	68	32
Студенты	74	26

Полученные данные указывают на высокий уровень готовности обеих групп к внедрению ИИ, но при этом присутствуют объективные сложности и сомнения.

В итоге отметим, что развитие стратегии интеграции ИИ в образовательные программы — задача сложная, многогранная и требующая систематического подхода. Необходимо точно определять цели, выбирать подходящие инструменты и своевременно корректировать стратегию. Важно помнить, что внедрение ИИ — это длительный процесс, который требует постоянного мониторинга и оценки.

Отмечая растущую популярность таких инструментов, как ChatGPT, YandexGPT, Scalenut, DeepL, MathGPT, Symbolab, GigaChat, 01Математика, Kandinsky, «Шедеврум», Gamma, Tome, Adobe Podcast и Zvukogram, мы видим, что сфера ИИ-образования развивается стремительно, предлагая множество полезных решений. Тем не менее важно поддерживать сбалансированный подход, учитывая интересы всех участников образовательного процесса.

4.2 Практические примеры использования ИИ в курсе «Информатика и основы информационной безопасности»

Приведем несколько практических примеров использования ИИ в курсе «Информатика и основы информационной безопасности», как результат совместного творчества преподавателя и студентов в ходе освоения данного курса:

Обнаружение и предотвращение вторжений: ИИ анализирует сетевой трафик и выявляет аномалии, которые могут указывать на попытки вторжения. Пример — платформа Darktrace, использующая ИИ для самообучения и адаптации к поведению сети.

Защита конечных точек: ИИ применяется для обнаружения и блокировки вредоносных программ на устройствах пользователей. Например, антивирус Cylance использует ИИ для превентивного выявления угроз без сигнатур.

Управление уязвимостями: ИИ помогает приоритизировать и устранять бреши путём анализа данных из различных источников. В частности, платформа Kenna Security применяет машинное обучение для оценки рисков.

Реагирование на инциденты: ИИ ускоряет анализ данных и помогает командам безопасности реагировать быстрее. Так, IBM Resilient использует ИИ Watson для автоматизации процессов реагирования.

Борьба с мошенничеством: ИИ выявляет мошеннические транзакции в режиме реального времени, анализируя паттерны поведения пользователей. Пример — платформа Feedzai для обнаружения финансового мошенничества на основе ИИ.

Пример 1: Для студентов первого курса было создано приложение на основе ИИ, которое генерирует персонализированные тесты по основным понятиям криптографии и сетевых протоколов. Приложение регулярно обновляется, учитывая прогресс каждого студента, и предлагает задания разной сложности, обеспечивая гибкость и постоянную проверку усвоенных знаний.

Также будут полезны некоторые сервисы на основе ИИ для генерации тестов. Список получен из опроса студентов по применению и использованию ИИ: Doctrina AI, GPT Exams, ruGPT, GPT-Chats.io, ruGPT, GPT-tools.

Пример 2: Еще один проект включает разработку интеллектуальной рекомендательной системы, основанной на глубоком обучении, которая оценивает компетенции студентов по основам программирования и создает планы дополнительной подготовки для тех, кому необходимы дополнительные ресурсы для изучения материалов курса.

Обе инициативы демонстрируют, насколько эффективно использование ИИ может способствовать развитию цифровых компетенций будущих специалистов в области IT и обеспечить более эффективное освоение базовых понятий информационного пространства.

Часто в работах студентов используется платформа Stepik, где используется искусственный интеллект (ИИ) для оценки заданий, в том числе задач по программированию.

Активный интерес у студентов вызвал цифровой сервис Student Success Plan, который создаёт рекомендательные индивидуальные планы успешности обучения для каждого студента. Сервис использует данные из различных источников, таких как регистрационная система, электронные журналы, система управления обучением и другие.

Практические примеры использования искусственного интеллекта в курсе «Информатика и основы информационной безопасности» наглядно демонстрируют широкий спектр возможностей, предоставляемых современными инструментами на основе ИИ. Эти технологии помогают повышать качество и эффективность образовательного процесса, содействуют развитию профессиональных компетенций и углублению знаний в области информационных технологий.

Используя платформы, студенты знакомятся с методами защиты сетей и устройств, обнаружениями вторжений и реакциями на инциденты. Помимо этого, развиваются собственные инновационные решения, такие как персонализированные тесты и рекомендательные системы, что делает обучение более динамичным и доступным.

Также важную роль играют цифровые сервисы, позволяющие оперативно оценивать знания студентов и строить индивидуальные планы развития.

Все перечисленное подчёркивает значимость дальнейшего расширения и углубления интеграции ИИ в образовательный процесс, особенно в рамках курса «Информатика и основы информационной безопасности».

4.3 Рекомендации по внедрению ИИ в образовательный процесс

Работа над данным материалом позволила нам сформулировать некоторые рекомендации для успешной интеграции ИИ в образовательный процесс:

Ставить обучающихся на первое место. Технологии должны дополнять, а не заменять человеческое взаимодействие в образовании.

Понимать потребности в применении ИИ преподавателей и студентов, своевременно реагировать на запрос. Один из вариантов проведения оценки потребностей представлен ниже.

Анкета для оценки потребностей преподавателей в использовании ИИ-инструментов

1. Общая информация:

- Ваш стаж преподавания: ____ лет
- Преподаваемые дисциплины: _____
- Уровень цифровой грамотности (оцените от 1 до 5): 1 2 3 4 5

2. Опыт использования ИИ в преподавании:

– Используете ли вы ИИ-инструменты в профессиональной деятельности?

- ☐ Да (укажите какие: _____)
- ☐ Нет

– Если нет, что является основной причиной?

- ☐ Недостаток информации
- ☐ Отсутствие необходимости
- ☐ Технические сложности
- ☐ Другое: _____

3. Потребности в автоматизации:

Оцените необходимость автоматизации следующих процессов (1 - минимальная, 5 - максимальная):

- Проверка письменных работ: 1 2 3 4 5
- Составление тестовых заданий: 1 2 3 4 5
- Генерация учебных материалов: 1 2 3 4 5
- Анализ успеваемости студентов: 1 2 3 4 5

– .Индивидуальные консультации: 1 2 3 4 5

4 Ожидаемые результаты от внедрения ИИ:

Какие преимущества вы ожидаете от использования ИИ-инструментов? (можно выбрать несколько)

- ☐ Экономия времени
- ☐ Повышение качества обучения
- ☐ Улучшение обратной связи для студентов
- ☐ Персонализация обучения
- ☐ Другое: _____

Быть внимательным к изменениям. Регулярно оценивать, как использование ИИ влияет на успеваемость, вовлечённость и благополучие обучающихся. Справиться с данной задачей поможет разработанная с привлечением студентов методика - «Методика оценки эффективности ИИ-инструментов».

Методика оценки эффективности ИИ-инструментов

1. Критерии оценки:

- Функциональность (0-10 баллов):
- Широта возможностей
- Точность выполнения задач
- Интеграция с существующими системами
- Удобство использования (0-10 баллов):
- Интуитивность интерфейса
- Время освоения
- Доступность инструкций
- Влияние на образовательный процесс (0-10 баллов):
- Экономия времени преподавателя
- Улучшение результатов студентов
- Удовлетворенность пользователей

2. Методы сбора данных:

- Хронометраж времени выполнения задач
- Сравнительный анализ успеваемости

- Опросы преподавателей и студентов
- Экспертная оценка результатов работ

3. Формула расчета интегрального показателя:

$$\text{ИП} = (0.4 \times \text{Функциональность}) + (0.3 \times \text{Удобство}) + (0.3 \times \text{Влияние})$$

Интерпретация:

- 8-10 баллов: инструмент рекомендуется к широкому внедрению
- 5-7 баллов: требует доработки
- 0-4 балла: не рекомендуется к использованию

Развивать «ИИ-грамотность». Изучать основы работы с ИИ и делиться этими знаниями с обучающимися.

Следовать этическим принципам. Убедиться, что использование искусственного интеллекта не нарушает права обучающихся на личную жизнь и не создаёт неравенства.

Выбирать понятные инструменты. Отдавать предпочтение ИИ-системам, которые могут объяснить свои решения.

Сочетать ИИ и экспертные знания. Использовать ИИ как помощника, а не замену профессиональному суждению.

Для оценки эффективности внедрения ИИ в образовательный процесс можно использовать следующие показатели:

Эффективность учебного процесса. Например, уменьшение времени на проверку работ, точность оценок.

Качество учебных материалов с использованием ИИ. Следует оценивать соответствие учебных материалов современным стандартам и требованиям, наличие персонализированных учебных материалов для разных уровней подготовки.

Оценка результатов обучающихся. Нужно отслеживать улучшение успеваемости обучающихся благодаря использованию ИИ, увеличение интереса обучающихся к предмету, повышение самостоятельности и ответственности обучающихся.

Использование ИИ для анализа данных. Следует анализировать успеваемость и прогресс обучающихся с помощью ИИ, использовать ИИ для прогнозирования и коррекции учебных программ, внедрять ИИ для автоматизированного анализа результатов тестов и заданий.

Заключение

Использование ИИ преподавателями и студентами может повысить эффективность образовательного процесса, так как ИИ позволяет автоматизировать рутинные задачи, персонализировать обучение, анализировать данные и выявлять проблемы на ранних стадиях. Ниже представлены несколько примеров, позволяющих показать подобный эффект.

Примеры учебных заданий с использованием ИИ

1 Задание по лингвистике (анализ текста):

Используя ChatGPT, проанализируйте предложенный текст:

1. Введите текст в ИИ-систему с запросом «Проанализируй стилистические особенности данного текста»

2. Сравните результаты ИИ-анализа со своим собственным

3. Выявите расхождения и обсудите их на семинаре

2 Задание по истории (работа с источниками):

С помощью инструмента Elicit:

1. Сформулируйте исследовательский вопрос по теме

2. Получите подборку релевантных исторических источников

3. Проведите критический анализ предложенных ИИ материалов

3 Задание по психологии (кейс-стади):

Используя Character.ai:

1. Создайте диалог с виртуальным «пациентом»

2. Проанализируйте ответы ИИ с точки зрения:

– Вербальных паттернов

– Возможных когнитивных искажений

– Эмоционального содержания

3. Предложите стратегию коррекции

4. Критерии оценки заданий:

– Глубина анализа (0-5 баллов)

– Критическое осмысление результатов ИИ (0-5 баллов)

– Творческий подход (0-5 баллов)

– Академическая честность (обязательное указание

использованных ИИ-инструментов)

5. Рекомендации по использованию:

- Сочетайте ИИ-анализ с традиционными методами
- Обязательно обсуждайте ограничения ИИ
- Используйте разные инструменты для сравнения результатов
- Фокусируйтесь на развитии критического мышления

Некоторые выводы, которые можно сделать на основе использования ИИ в образовании:

Экономия времени преподавателей. Освобождаются часы для творческой работы и общения с обучающимися.

Индивидуальный подход. Обучение становится более эффективным, так как учитывает особенности и темп каждого обучающегося.

Доступность 24/7. Студенты могут получать помощь или доступ к учебным материалам в любое время.

Инклюзивность. Искусственный интеллект помогает людям с ограниченными возможностями.

Повышение объективности. При проверке стандартизированных заданий с чёткими критериями ИИ менее подвержен субъективным факторам, чем человек.

Разнообразие форматов. ИИ помогает создавать интерактивные задания, обучающие игры, сложные визуализации, повышая мотивацию и делая обучение более увлекательным.

Однако использование ИИ в образовании также имеет свои ограничения. Среди них — возможность чрезмерной зависимости от систем искусственного интеллекта, необходимость в инфраструктуре и ресурсах, опасения по поводу конфиденциальности и безопасности данных студентов.

Таким образом, внедрение ИИ в образование может значительно улучшить качество образования, но требует тщательной подготовки как со стороны педагогов, так и со стороны обучающихся.

Список литературы

1. Selwyn, N. Should robots replace teachers? AI and the future of education. Cambridge: Polity Press, 2019. с.180

2. UNESCO. AI and education: guidance for policy-makers. Paris: UNESCO, 2021. с.48
3. Zawacki-Richter O., Marín V.I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education - where are the educators? // International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2019. Vol. 16, No 1. с. 1-27. DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0, (дата обращения: 12.08.2025).
4. Adair A.G. Teaching and Learning with AI: How Artificial Intelligence is Transforming the Future of Education. Crossroads, 2023, 29(3), 7–9. <https://doi.org/10.1145/3589252>, (дата обращения: 12.08.2025).
5. Большой edtech-отчёт: итоги 2024. Smart Ranking, <https://smartranking.ru/ru/researchshop/edtech/edtech2024/>, (дата обращения: 12.08.2025).
6. Шарифбаева Х.Я., Абдурашидова М.Ж. Применение ИИ для персонализации обучения студентов вузов // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2024. 11(128). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18692> (дата обращения: 12.08.2025).
7. Baker T., Smith L. Educ-AI-tion Rebooted? Exploring the Future of Artificial Intelligence in Schools and Colleges. London: Nesta, 2022. с.89
8. Башлыков Р.В., Макабаев М.К., Ключева Е.Г., Коккоз М.М. Разработка ИИ-ассистента для подготовки к единому национальному тестированию// Научное обозрение. Технические науки. 2025. № 3. С. 32-37; URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1511> (дата обращения: 12.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/srts.1511>
9. Зуева И.В., Малькова Е.В., Применение нейросетей в практике обучения английскому языку в техническом вузе// Журнал "Научный аспект", 2024, № 3, <https://na-journal.ru/3-2024-pedagogika/9679-primenenie-nejrosetej-v-praktike-obucheniya-anglijskomu-yazyku-v-tekhnicheskom-vuze>, (дата обращения: 12.08.2025).

© Виноградов Е.В.

Глава 22.

**РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ
МАГИСТРАНТОВ – БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ В УСЛОВИЯХ
ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕГО НАУЧНОГО СЕМИНАРА**

Серёжникова Раиса Кузьминична

д.п.н., профессор, профессор кафедры педагогики
ГОУ ВО МО «Государственный
гуманитарно-технологический университет»

Аннотация: Рассматривается проблема повышения качества научно-исследовательской деятельности магистрантов-будущих педагогов в условиях научно-образовательной среды, способствующей активизации развития исследовательских умений студентов. Особенности научно-образовательной среды представлены содержанием разработанной модели, обеспечивающей организацию и реализацию постоянно действующего научного семинара как инструмента активизации развития исследовательских умений будущих педагогов. Модель представлена совокупность взаимосвязанных блоков: теоретико-методологический, операционно-деятельностный и критериально-оценочный, определение которых было обосновано требованиями, предъявляемые обществом к специалистам педагогической сферы, а также структура и содержание системы развития исследовательских умений студентов, структура включения будущих педагогов в исследовательскую деятельность.

Организационно-управленческая составляющая исследовательской деятельности магистрантов рассматривается в качестве технологии активизации развития исследовательских умений, в условиях постоянно действующего научного семинара в образовательном Государственного гуманитарно-технологического университета.

Ключевые слова: исследовательская деятельность, развитие исследовательских умений, магистрант – будущий педагог, постоянно действующий научный семинар.

**DEVELOPMENT OF RESEARCH SKILLS
OF UNDERGRADUATES-FUTURE TEACHERS
IN A PERMANENT SCIENTIFIC SEMINAR**

Serezhnikova Raisa Kuzminichna

Abstract: The article considers the problem of improving the quality of research activities of undergraduates-future teachers in a scientific and educational environment that promotes the development of students' research skills. The features of the scientific and educational environment are represented by the content of the developed model, which ensures the organization and implementation of a permanent scientific seminar as a tool to enhance the development of research skills of future teachers. The model presents a set of interrelated blocks: theoretical and methodological, operational and activity, and criteria-based assessment, the definition of which was justified by the requirements imposed by society on specialists in the pedagogical field, as well as the structure and content of the system for developing students' research skills, the structure of the inclusion of future teachers in research activities.

The organizational and managerial component of undergraduates' research activities is considered as a technology to enhance the development of research skills in a permanent scientific seminar at the Educational State University of Humanities and Technology.

Key words: research activity, development of research skills, graduate student-future teacher, permanent scientific seminar.

Научно-исследовательская деятельность (НИД) является приоритетным видом деятельности в процессе обучения в магистратуре. Данный ориентир, регламентированный нормативными документами, выделяет важность подготовки высококвалифицированного компетентного педагога, конкурентоспособного на современном рынке труда, который бы хорошо ориентировался в смежных областях знаний,

владел навыками проектной и научно-исследовательской деятельности и был готов к постоянному профессиональному росту [1]. Обозначенные задачи предъявляют новые требования к подготовке магистра-будущего педагога, предполагающие не только вооружение его знаниями по учебным дисциплинам, но и формирование умений и навыков научно-исследовательской деятельности, исследовательской компетентности. Однако сегодня, на различных уровнях научных дискуссий, обсуждается проблема снижения мотивации научно-исследовательской деятельности магистрантов, низкое качество результатов НИД [2]. Это обуславливает поиск новых и обновление имеющихся подходов к организации образовательного процесса в высшем образовании, способствующего развитию исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов.

Целью исследования выступает теоретическое обоснование и моделирование развития исследовательских умений будущих педагогов, практическая активизация которых представлена в условиях постоянно действующего научного семинара.

Рассматривая особенности НИД в научно-образовательной подготовке в магистратуре, отметим, «научно-исследовательская деятельность будущих магистров позволяет наиболее полно проявить индивидуальность, творческие способности, готовность к самореализации личности. Важно отметить, что процесс исследования индивидуальный и ценностный как в образовательном, так и в личностном понимании» [3, с. 140].

Исследование проблем научно-исследовательской деятельности в процессе обучения, представлено в работах ученых: Е.А. Володарской, Ю.В. Соляникова, Л.А. Шевелевой и др.). Ученые отмечают необходимость совершенствования системы НИД в университете, на основе не только реализации идеи единства науки и образования, но и личностного развития студента. «Специфика научно-исследовательской деятельности определяется тем, что её целью и результатом являются изменения самого субъекта исследования, которые заключаются в овладении им определёнными способами действий, а не в изменении функций и приёмов...» [4, с. 107].

Подготовка студентов к научно-исследовательской работе отражена в исследованиях Ф.Ш. Галиуллиной [5], М.М. Гладышевой [6], В.Н. Сухоруков [7] и др. В данных исследованиях отмечается необходимость совершенствования системы НИД в процессе обучения в магистратуре, в основу которой должна быть положена идея единства науки и образования. Вместе с тем анализ литературы свидетельствует о небольшом количестве работ, раскрывающих интеграционные процессы между основными сферами жизни современного общества – образованием и наукой. Это позволило выделить противоречие между широкими возможностями образовательного процесса в университете к организации и проведению научных исследований, воспитанию педагога-исследователя и ограниченностью научно-исследовательской работы учебными программами в образовательном процессе.

Необходимо отметить, что в условиях повышения профессионализма исследовательские умения будущего педагога являются наиболее престижными, экономически целесообразными сторонами его профессиональной деятельности, существенно обогащающими общую культуру личности, ее интеллектуальный потенциал и в значительной степени способствующей социальному прогрессу общества в целом. В связи с этим, возникает потребность смоделировать особенности развития исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов.

Необходимо акцентировать внимание на интерпретации понятия «моделирование», понимаемое в педагогике как метод научного исследования, с помощью которого предмет исследования совмещается с построением логических конструкций и абстракций. На основе анализа научных источников можно выделить несколько подходов к интерпретации данного термина. Так, В. Штофф рассматривает модель как форму и как метод научного познания, называя ее системой, которая существует реально или в воображении и соотносится с другой системой – оригиналом, объектом или натурой [8]. В.И. Михеев отмечает практическую ценность модели, отражающую ее адекватность исследуемым сторонам объекта, а также правильность учёта в процессе моделирования основных его принципов (наглядность, определенность,

объективность). «Все это определяет возможности и тип модели, ее функции в педагогическом исследовании» [9, с. 206].

В.П. Безпалько характеризует модель личности как «диагностическое описание... всех существенных для жизнедеятельности в современном мире сторон, свойств и качеств личности» [10, с. 38]. Мы согласны с утверждением С.И. Брызгаловой, что «модель – это знаковая система, с помощью которой можно воспроизвести дидактический процесс как предмет исследования, показать в целостности его структуру, функционирование и сохранить эту целостность на всех этапах исследования» [11, 31]. Ученый утверждает, что наличие научно-обоснованной модели процесса позволяет прогнозировать его развитие.

Существующее противоречие между потребностью будущих педагогов, понимающих роль и значение исследовательских умений в своей профессиональной деятельности, способных грамотно осуществлять исследовательские действия, и возможностями организаций высшего образования обеспечить соответствующую подготовку будущих педагогов обуславливает потребность в разработке модели развития исследовательских умений магистрантов - будущих педагогов. Определим, прежде всего, что включает в себя понятие «исследовательские умения магистрантов - будущих педагогов».

По мнению С.И. Брызгаловой исследовательские умения – способ реализации «отдельной деятельности» [11]. А.П. Тряпицына, Н.Н. Савина выделяют следующие исследовательские умения: умение формулировать гипотезу; сравнивать разные данные; выделять существенное альтернативный поиск; вести дискуссию; отвергать второстепенное, несущественное; вести и т.д. [12].

По мнению ученых [13], в соответствии с методологией психолого-педагогического исследования, исследовательские умения условно можно подразделить на три группы:

«I группа – методологические (общетеоретические) умения: анализировать теоретические явления, обосновывать проблему

исследования, применять теоретические знания на практике, находить выход и принимать научно обоснованное решение.

II группа – методические умения: проводить педагогические исследования, использовать методы научного исследования, строить систему операций исследования.

III группа – технические умения: пользоваться библиографическим, справочным, указательным каталогами, иллюстрировать таблицы, схемы, чертежи, рисунки и др., цитировать литературу» [13, с. 203].

Опираясь на работы Е.А. Володарской [14], Ю.В. Соляникова [15], выделили классификацию исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов с учетом видов поисковой деятельности: организационно-поисковые умения (научно-исследовательский поиск научной и справочной литературы, обобщение результатов исследования посредством таблиц, схем, диаграмм, диагностика уровня готовности к исследовательской деятельности); когнитивно-операционные умения (владение операциями анализа и синтеза, умение абстрагировать и конкретизировать, сравнивать, выделять главное, сопоставлять новые факты и явления, актуализировать приобретенные знания); проектно-технологические умения (планирование работы, создание модели научного исследования, составление и решение педагогических задач, получение теоретических результатов и их экспериментальная проверка); коммуникативно-рефлексивные умения (участие в дискуссиях, обобщение материала в докладе, регулирование и самоанализ собственной педагогической деятельности, самооценка).

Отметим, что развитию исследовательские умений будущих педагогов способствуют решение педагогических задач, а также проведении научных поисков. «Для их использования исследователь строит свою деятельность в соответствии с общими правилами эвристического поиска:

- а. анализ педагогической ситуации (диагноз);
- б. проектирование результата в соответствии с исходными данными (прогноз);
- в. обеспечение совокупности средств, необходимых для экспериментальной проверки теоретического результата;

г. конструирование и реализация учебно-воспитательного процесса;

д. критическая оценка полученных результатов;

е. формирование новых задач» [16, с. 205].

Как свидетельствуют теоретические исследования и анализ практики педагогической деятельности, уровень подготовки магистров-будущих педагогов как специалистов-исследователей значительно повысится, если методически обеспечить:

- разработку теоретической модели и программы активизации развития исследовательских умений;

- отбор оптимальной совокупности форм и методов организации НИД, что оказывает положительное влияние на их профессиональную подготовку;

- последовательную реализацию отобранной совокупности форм и методов;

- групповое взаимодействие участников образовательного процесса;

- постоянная корректировка усвоенных компонентов исследовательской культуры» [17, с. 63].

На уровне методологии в решении поставленной проблемы основным является системный подход, заключающийся в рассмотрении развития исследовательских умений как системы, которая подчиняется принципам структурирования, целостности, иерархичности и взаимозависимости системы и внешней среды.

На уровне теоретического обоснования механизма развития исследовательских умений основным является деятельностный подход, заключающийся в осуществлении познавательной и исследовательской деятельности будущих педагогов, в процессе которой у них формируются исследовательские умения.

На уровне практической реализации процесса развития исследовательских умений мы используем информационный, контекстный и мотивационный подходы. Информационный подход является научно-исследовательским инструментом для формирования

исследовательских умений, связывающих различные дисциплины, предметом которых являются информация и информационные технологии. Контекстный подход состоит в том, что все приемы, методы и формы деятельности преподавателя направлены на профессиональное становление специалиста, которое невозможно в настоящее время осуществить без высокой степени сформированности исследовательских умений. Мотивационный подход состоит в разработке психологического стимула к поиску действий и способов ориентации в обстановке. Выделенные методологические подходы не исключают и другие, которые, в свою очередь, дополняют основные.

Мы считаем, что основой развития исследовательских умения будущих педагогов должно быть учение П.Я. Гальперина, Н.Ф. Талызиной, А.Н. Леонтьева о поэтапном формировании умственных действий. В соответствии с обозначенным, выделяем следующие этапы развития исследовательских умений будущих педагогов: выявление интереса к исследовательской деятельности; развитие способностей личности к самоорганизации своей деятельности; формирование исследовательских умений в университете; ценностное осмысление роли исследовательского поиска в будущей профессиональной деятельности; готовность будущих педагогов к самостоятельной исследовательской педагогической деятельности.

Изучение уровня проявления развития исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов свидетельствует о том, что 50% из них не умеют выделять объект и предмет исследования, сформулировать гипотезу, спрогнозировать ожидаемые результаты, достаточно поверхностно способны охарактеризовать сущность своих поисков, не знают сущности новых дидактических и очерченных педагогических идеи. На основе самооценки мы обнаружили, что только 7% студентов обладают исследовательскими умениями на высоком уровне, 9% – на достаточном, 15% – на недостаточном, а 69% – на низком уровне. Результаты проведенного анализа полученных данных позволяет сделать вывод о низком уровне сформированности исследовательских умений у студентов и недостаточном активизации интегрирующих факторов педагогической и специальной (методологической) их подготовки.

Анализ теоретических исследований и результаты оценивания развитие исследовательских умений магистрантов, сориентировал на разработку модели, представляющей структуру процесса развития исследовательских умений будущих педагогов в условиях постоянно действующего научного семинара. Разработанная модель включает три блока: теоретико-методологический, операционно-деятельностный и критериально-оценочный, которые взаимообусловлены (рис.1).

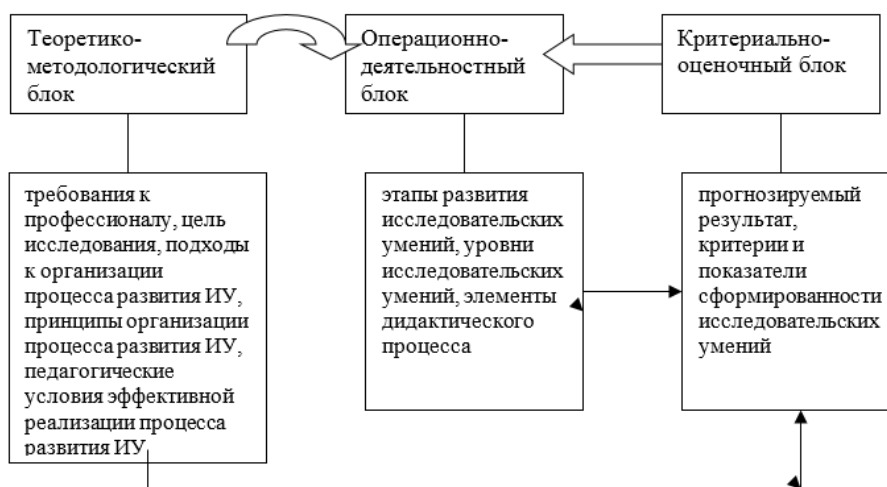


Рис. 1. Структурная модель развития исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов

При построении модели развития исследовательских умений магистрантов-будущих педагогов были учтены: 1) требования, предъявляемые обществом к специалистам данного уровня; 2) структура и содержание системы развития исследовательских умений будущих педагогов и взаимосвязи элементов системы; 3) структура включения студентов в исследовательскую деятельность.

Опыт организации научной работы с магистрантами в университете позволяет нам утверждать, что НИД в соответствии с магистерскими программами имеет четкую связь научной работы с учебным процессом, но реализует не весь потенциал образовательного процесса. Поэтому было принято решение об активизации возможностей использования такой формы организации НИД будущих педагогов постоянно действующий научный семинар (ПДНС) в процессе университетской подготовки.

В структуре ПНДС были выделены фазы: познавательно-эмоциональная, регулятивная, ценностно-эстетическая с содержательно-личностной направленностью. Данная структурированность позволила дополнить традиционную технологию НИД магистрантов методом – диалог с авторами научных текстов (аннотирование научных статей).

К результативности деятельности магистрантов в ПНДС необходимо отнести рост их самостоятельности в НИД, чему способствовала разработанная нами технология активизации развития исследовательских умений в системе научно-образовательной подготовки магистров педагогического образования (см. рис. 2).

Содержательно-смысловое наполнение технологии является проекцией теоретических положений на практическую деятельность. Важным условием постепенного перехода теоретического исследования в практическую (экспериментальную) плоскость является самостоятельная деятельность, способствующая формированию исследовательской компетентности студентов.



Рис. 2. Технология активизации развития исследовательских умений магистрантов в системе научно-образовательной подготовки будущих педагогов

В наиболее обобщенном виде результаты исследовательского обучения в рамках ПДНС предполагают, что магистранты ставят проблему, которую необходимо решить, формулируют гипотезу, находят возможные варианты решения проблемы, проверяют их, на основе полученных данных делают выводы и обобщения.

В работе ПДНС, вслед за Ю.В. Солянниковым, выделили следующие основания для разработки исследовательских задач:

- анализ современной науки и практики;
 - программное содержание учебного материала и межпредметной связи;
 - профессиональные функции;
 - сферы профессиональной деятельности;
 - операционный состав профессиональных действий и т.д.»
- [18, с. 112].

На занятиях ПДНС магистрантами определялись задачи, носящие массовый характер и, направленные на совершенствование образовательного процесса в общеобразовательной организации на основании:

- анализа научных источников, в т.ч. в сети Интернет, с конкретными научными проблемами и подготовка аннотации, реферата;
- сравнения свои взглядов на конкретную научную проблему с результатами других авторов (аннотация, статья);
- обоснование практической значимости педагогической деятельности и определение перспективы развития работы (подготовка конкурсных работ);
- разработка научно-методического материала для использования результатов работы в общеобразовательной организации и т.д. (доклады на конференции, научные статьи).

Посредством решения исследовательских задач, подготовки аннотаций на научную статью, рефератов, статей, докладов для выступления на конференциях, развиваются исследовательские умения магистрантов, способность самостоятельно анализировать профессиональные задачи и научно их оформлять.

Выступления с сообщениями и докладами по тематике задач исследовательского характера, учебных, научных проектов способствуют развитию навыков решения научных проблем и приобретению опыта защиты собственного мнения. На наш взгляд, каждого студента необходимо привлекать к разработке единой комплексной проблемы в рамках выполнения определенных проектов на протяжении обучения. Для реализации этой цели важно использовать не отдельные, а системные меры включения магистрантов, в научно-исследовательскую работу, в том числе, во внеучебное время.

Работа магистрантов по единой научной проблеме, которая определяется в программе ПДНС, предполагает создание организационных условий, позволяющих раскрыть каждому молодому исследователю особенности восприятия проблемы и поиска путей ее решения. Научно-исследовательская деятельность в ПДНС организована так, что, с одной стороны, она ориентирована на решение поставленной задачи, а с другой – способствует проявлению личной заинтересованности, активности. В то же время, каждый магистрант имеет возможность выбора исследовательских задач в соответствии со своими интересами и знаниями, что затем отражается в подготовке статей, конкурсных работ, магистерских проектов.

Приведем пример организации деятельности ПДНС с магистрантами направления подготовки педагогическое образование в 2024-2025 учебном году. Общая проблема ПДНС – Интегративная оценка субъектного становления обучающихся как способ управления качеством непрерывного педагогического образования, включала темы: современная педагогическая деятельность: проблема оценивания качества; субъектное становление будущих педагогов: проблемы современной науки и образования; инновационные технологии субъектной самореализации будущего педагога; интегративная оценка управления качеством педагогического образования в пространстве субъектного взаимодействия. Результаты научно-исследовательской деятельности магистрантов - будущих педагогов, под руководством Р.К. Серёжниковой, отражены в подготовке научных работ на Всероссийский конкурс «Интеграция», которые отмечены медалью и

дипломами победителей; научный статей, представленных в сборнике «Субъектное становление будущих педагогов: проблемы современной науки и образования: сборник научных статей студенческой Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции (9 декабря 2024 г.) / под общей редакцией Серёжниковой Р.К. – Орехово-Зуево: ГГТУ, 2025. – 289 с.» и т.д.

Научно-практическая конференция, круглый стол, дискуссии, проводимые по результатам исследовательской деятельности магистрантов, способствуют трансформации теории в практику. Для нас интересной кажется позиция, что самостоятельные исследования магистрантов в условиях ПДНС – своеобразные целенаправленные попытки молодых ученых упорядочить субъективный педагогический опыт, выявить смысл и закономерности в его явлениях, что очень важно для деятельности будущего педагога.

Таким образом, самостоятельная научная деятельность в условиях реализации ПДНС выступает одним из важнейших средств интеграции научного и обучающего процессов, является существенной частью самостоятельной работы магистрантов. Поэтому считаем, что научные исследования в процессе реализации ПДНС должны быть планируемой работой, выполняемой по заданию и в соответствии с методическим сопровождением руководителя ПДНС. При таких условиях ПДНС может выступать, потенциальным ресурсом, обеспечивающим развитие исследовательских умений будущих педагогов.

Резюмируем, основным фактором совершенствования профессиональной подготовки будущих педагогов, в рамках обучения по магистерской программе, должно стать образование через науку, то есть единство исследовательской деятельности и обучения, когда учебный процесс основывается на научных исследованиях, выполняемых преподавателями совместно с магистрантами, в том числе и во внеучебное время. Организация и реализация постоянно действующего научного семинара выступает залогом эффективной подготовки будущих педагогов, обладающих высоким уровнем исследовательской культуры, творческим потенциалом, реализуемым в педагогическом творчестве при решении сложных практических задач.

Список литературы

1. Серёжникова Р.К., Воротилкина И.М. Роль имиджа науки в процессе подготовки магистров к исследовательской деятельности// Вестник Государственного гуманитарно-технологического университета. 2024. № 3. С. 139-145.
2. Серёжникова Р.К. Подготовка будущих магистров педагогического образования к научно-исследовательской деятельности: содержательный анализ // В сборнике: Служение педагогическому делу 2023. Сборник статей II Международного профессионально-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 2023. С. 66-76.
3. Серёжникова Р.К., Воротилкина И.М. Роль имиджа науки в процессе подготовки магистров к исследовательской деятельности// Вестник Государственного гуманитарно-технологического университета. 2024. № 3. С. 139-145.
4. Рогова В.С., Барвинок А.С. Роль конкурентоспособности в научно-исследовательской деятельности студентов-магистрантов инженерного профиля // Научная сокровищница образования Донетчины. 2020. № 1. С. 104-107.
5. Галиуллина Ф. Ш. Формирование навыков научно-исследовательской деятельности у студентов педагогического вуза: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Галиуллина Фарида Шамилевна. – Казань, 2003. – 171 с.
6. Гладышева М.М., Романов П.Ю. Моделирование системы формирования исследовательских умений будущих инженеров-программистов // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. Челябинск, 2007. С. 150-161.
7. Сухоруков В.Н. Обоснование педагогических условий формирования исследовательской компетентности курсантов в процессе научно исследовательской работы // «Глобальный научный потенциал» научно-практический журнал. № 11 (116) 2020 С.194-199.
8. Левитес Д.Г. Теоретические основы моделирования образовательных технологий в условиях последиplomного образования педагогов. – СПб.: Ленингр. Пед. Ин-т, 1998. – 122 с.

9. Михеев В.И. Моделирование и методы теории измерений в педагогике. – М.: Прогресс, 1971. – 381 с.
10. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. – М.: Ин-т ПО М-ва образования России, 1995. – 266 с.
11. Брызгалова С.И. Формирование в вузе готовности учителя к педагогическому исследованию: теория и практика: Монография. – Калининград, 2004. – 245 с.
12. Савина Н. Н. Научно-педагогический поиск студентов // Педагогика. 2005. № 7. С. 117–119.
13. Педагогика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений/ В.А. Сластенин, И.Ф. Исаев, Е.Н. Шиянов; Под ред. В.А. Сластенина. – М.: Академия, 2002. – 576 с.
14. Володарская Е. А. Динамика имиджа науки в процессе развития исследовательских умений студентов // Психологический журнал. 2009. № 1. С. 14–31.
15. Соляnnиков Ю.В. Обеспечение качества подготовки магистров педагогического университета к научно-исследовательской деятельности: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08 / Соляnnиков Юрий Владимирович. – Санкт-Петербург, 2003. – 169 с.
16. Педагогика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений/ В.А. Сластенин, И.Ф. Исаев, Е.Н. Шиянов; Под ред. В.А. Сластенина. – М.: Академия, 2002. – 576 с.
17. Проектная деятельность как составляющая часть научно-исследовательской деятельности студентов в вузе / Плотникова И.В., Редько Л.А., Шевелева Е.А., Ефремова О.Н.// Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. С. 61-69
18. Соляnnиков Ю. В. Обеспечение качества подготовки магистров педагогического университета к научно-исследовательской деятельности: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08 / Соляnnиков Юрий Владимирович. – Санкт-Петербург, 2003. – 169 с.

© Серёжникова Р.К.

Глава 23.

**ИММЕРСИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ВУЗЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ
В МЕТОДИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ**

Бекшаев Илья Алексеевич

преподаватель кафедры педагогики

ГОУ ВО МО «Государственный

гуманитарно-технологический университет»

Аннотация: В материалах главы приводится исследование особенностей применения иммерсивных образовательных технологий в вузе. Целью исследования является изучение методических аспектов применения иммерсивных образовательных технологий в теории и практике работы современных вузов. По результатам исследования установлено, что виртуальная реальность трансформирует университетское образование, предлагая беспрецедентные возможности для его совершенствования. Создавая эффект полного погружения, обеспечивая безопасное пространство для практических занятий, открывая двери к уникальным знаниям и стимулируя творческое мышление, VR становится инновационной образовательной технологией современного вузовского обучения. Хотя существуют определенные сложности, потенциал VR настолько велик, что будущее университетов немыслимо без его активного применения.

Ключевые слова: высшее образование, виртуальная реальность, педагогика высшей школы, инновационные образовательные технологии, компетентностный подход.

**IMMERSIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN UNIVERSITY:
THEORY AND PRACTICE OF APPLICATION IN THE
METHODOLOGICAL ASPECT**

Bekshaev Ilya Alekseevich

Abstract: The materials of the chapter present a study of the features of the use of immersive educational technologies in a university. The purpose of the study is to examine the methodological aspects of the use of immersive educational technologies in the theory and practice of modern universities. The results of the study show that virtual reality is transforming university education, offering unprecedented opportunities for its improvement. By creating a fully immersive experience, providing a safe space for hands-on learning, opening doors to unique knowledge and stimulating creative thinking, VR is becoming an innovative educational technology for modern university education. Although there are certain difficulties, the potential of VR is so great that the future of universities is unthinkable without its active use.

Key words: Higher education, virtual reality, higher education pedagogy, innovative educational technologies, competence-based approach.

Введение. Современная реформа российского образования оказывает значительное влияние на все аспекты обучения и воспитания студентов, включая преподавание отдельных предметов. Особенно заметны изменения в области профессионального педагогического образования.

Актуальность данного исследования обусловлена потребностью отечественной педагогики в разработке и применении инновационных технологий, которые являлись бы стимулом для раскрытия всего спектра разносторонних способностей студентов.

Прогресс в области информационных технологий и средств обучения, а также их интеграция в учебный процесс, открывают широкие возможности для совершенствования преподавания и повышения уровня педагогической грамотности студентов, которые готовятся вступить на профессиональный путь педагога. Однако анализ

текущей ситуации показывает, что большинство применяемых информационных технологий и средств используются неоптимально.

Причинами неоптимального использования информационных технологий в образовательном процессе занималось не одно поколение ученых-методологов современной дидактической науки. Первая группа причин связана с тем, что используемые образовательные технологии не подходят под цели обучения: их содержание и то, как они построены, часто не совпадают с тем, что нужно на конкретном учебном занятии.

Вторая группа причин неоптимального использования информационных технологий связана с тем, что обычно они просто помогают – показывают что-то наглядно или делают учебное занятие интереснее через игру, но не всегда хорошо применяются под обычный его ход проведения.

Третья группа причин – не дают полной картины и образовательного эффекта: они не охватывают все важные части изучаемых тем.

Результаты исследований влияния информационных технологий на учебный процесс согласуются с особенностями предлагаемых в рамках их использования учебных заданий и упражнений. Эти упражнения, как правило, нетипичны, имеют явную игровую составляющую и нацелены в первую очередь на развитие, а не на непосредственное образовательное влияние.

Анализ совокупности применяемых заданий и задач в области педагогического образования выявляет отсутствие выраженной логической структуры применения инновационных образовательных технологий. Слабая корреляция и зависимость между отдельными заданиями приводит к снижению эффективности информационных средств и технологий обучения. Следовательно, существует насущная потребность в теоретическом осмыслении особенностей предлагаемых учебных заданий и их структурных построений, используемых при разработке и конструировании информационных образовательных средств, в частности, иммерсивных образовательных технологий.

Первоочередной задачей подобной инновационной деятельности является теоретическое осмысление и описание специфики конструирования информационного наполнения иммерсивных образовательных технологий в области педагогики. Это предполагает определение его дидактических возможностей и организационно-методических предпосылок для интеграции в образовательный процесс, а также характеристику ключевых элементов содержания и общей структуры предмета. Такой подход позволит выявить специфику заданий и их конструктивных решений, которые будут составлять основу информационного контента в процессе обучения студентов.

Проанализировав теоретические основы и специфику формирования информационного контента, а также опираясь на современные технологии обучения и их применение в различных педагогических дисциплинах вуза, мы ориентировались на четкие образовательные цели и эффективное применение информационно-коммуникационных технологий. Это включает в себя особенности поисково-познавательных задач, разнообразие используемых материалов и требования к оформлению заданий в информационном контенте.

Одной из центральных идей при внедрении Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) высшего образования является компетентностный подход. Он предполагает, что в процессе обучения студенты должны приобрести определенные компетенции. Под компетенцией понимается комплексная способность, включающая знания, умения и личностные качества, которые позволяют успешно действовать в конкретной области. Таким образом, этот подход ориентирован на практическое применение информации, а не только на ее освоение и преобразование, с целью использования в различных жизненных ситуациях.

В соответствии с ФГОС, вузам необходимо методически скорректировать образовательные программы. Это позволит повысить качество подготовки специалистов за счет создания эффективных механизмов, направленных на формирование у них компетенций, необходимых для их будущей профессиональной деятельности.

Компьютерные технологии, ставшие неотъемлемой частью нашей жизни за последние годы, предоставляют огромные возможности для обработки информации. Их быстроедействие и функциональность делают их естественным и важным элементом современного высшего образования.

Целью данного исследования является изучение методических аспектов применения иммерсивных образовательных технологий в теории и практике работы современных вузов.

Практическая значимость настоящего исследования определяется возможностью применения его результатов педагогическими кадрами, включая преподавателей, педагогов дополнительного образования и методистов, для интеграции инновационных образовательных технологий в условиях вуза. В частности, работа демонстрирует потенциал использования иммерсивных образовательных технологий в рамках университетского курса педагогики.

Изложение основного материала. Сегодня, когда цифровые технологии окружают нас повсюду, вопрос их применения в образовании приобретает особую актуальность. Современный педагог, идущий в ногу со временем, должен владеть цифровыми образовательными технологиями, поскольку они играют решающую роль в модернизации учебного процесса. Использование этих технологий позволяет сделать обучение более привлекательным, расширить горизонты познания и повысить мотивацию студентов.

Цифровые технологии – это не просто набор инструментов, а новая экосистема, в которой развивается человек (рис. 1). Они служат катализатором глубоких изменений [1], проявляющихся в следующем:

- Образование обретает всеобъемлющую доступность, стирая границы места и времени.
- Открывается путь к формированию индивидуальных образовательных траекторий, максимально отвечающих потребностям каждого ученика.
- Учащиеся получают возможность стать не только потребителями цифрового контента, но и его активными создателями.

• Чем более разнообразен арсенал цифровых инструментов в распоряжении учителя, тем более творческим и инновационным становится его преподавание.

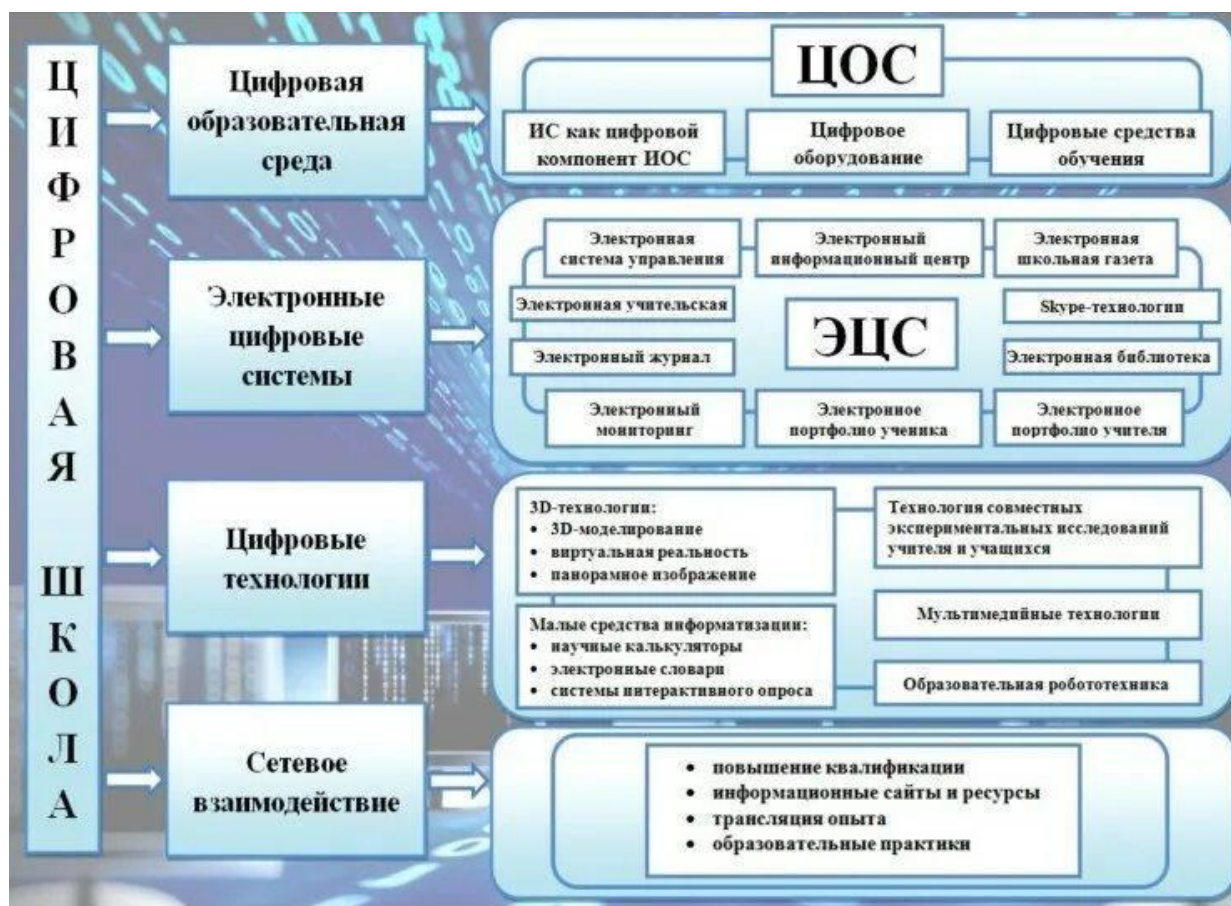


Рис. 1. Современные цифровые технологии в образовании

Современные образовательные платформы претерпели трансформацию: они стали не просто цифровыми инструментами, а полноценными экосистемами для обучения. В них гармонично сочетаются все преимущества цифровых технологий, специально адаптированных для образовательной сферы.

Их можно разделить на несколько основных категорий:

А) Платформы для дистанционного обучения, позволяющие создавать курсы, проводить тестирование, отслеживать успеваемость студентов, проводить лекции и семинары в режиме реального времени.:

- MOOC-платформы (Coursera, Stepik);

- Корпоративные системы (Moodle, Google Classroom);
- Платформы для проведения вебинаров – виртуальные классы (Zoom, Microsoft Teams).

Б) Интерактивные образовательные ресурсы, которые делают процесс обучения более увлекательным и эффективным:

- Обучающие игры (Nearpod, Quizizz);
- Виртуальные лаборатории (VR Labs, Virtual ChemLab);
- Симуляторы (SimCity, Flight Simulator, Medical Simulations);
- Электронные учебники («Российский учебник», Sway - для создания собственных);
- Интерактивные рабочие листы (Wizer, Formative, Teacher Made - сервисы для создания рабочих листов);
- Видеоуроки.

Эти платформы создают условия для глобального сотрудничества. Они позволяют студентам и преподавателям из разных уголков планеты налаживать контакты и работать вместе, что способствует более глубокому и многогранному образованию за счет обмена культурными и профессиональными знаниями.

В) Системы управления обучением (СУО) выделяются среди других образовательных инструментов своей способностью создавать единую экосистему для всего учебного процесса. Они обеспечивают централизованное управление контентом, автоматизированную оценку, аналитику успеваемости, персонализированные учебные планы и интеграцию с другими сервисами:

- Электронный документооборот (Дневник.ру, ЭлЖур)
- Системы оценивания (TestPad)
- Платформы для создания учебных материалов (Microsoft Teams for Education, Google Workspace for Education).

В рамках образовательного процесса информационные технологии могут быть задействованы как эффективные инструменты для стимулирования и поддержания учебной мотивации у современных школьников и студентов.

Современные школьники и студенты демонстрируют повышенную мотивацию к обучению, когда в образовательном процессе активно применяются информационные технологии.

В сфере образования все чаще используется геймификация – технология, основанная на применении игровых механик и принципов в неигровом контексте обучения. Геймификация направлена на адаптацию учебного материала к практическим ситуациям и повышение эффективности усвоения знаний за счет вовлечения обучающихся в процесс, аналогичный игровому.

Учебный процесс поддерживается системой оценки, градацией достижений, поощрениями и элементами соперничества, что стимулирует вовлеченность студентов и повышает их стремление к обучению.

Для повышения активности и мотивации учащихся разработан методический инструментарий, включающий систему баллов, градацию успеваемости, систему поощрений и соревновательные механики.

Методический подход основан на использовании балльной системы, уровней достижений, наград и соревновательных элементов, призванных активизировать учебный процесс и укрепить мотивацию студентов.

Онлайн-курсы представляют собой еще одно направление в сфере цифрового образования. Они охватывают широкий спектр тем, включая подготовку к экзаменам, изучение иностранных языков, получение высшего образования и развитие творческих навыков.

Виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность (рис. 2) – это ведущие цифровые технологии, позволяющие глубоко погрузиться в искусственные миры.

VR переносит пользователя в иную реальность, воздействуя на его органы чувств через технические средства. AR же обогащает наше восприятие реального мира, добавляя к нему цифровую информацию.

Обе технологии считаются передовыми и отлично подходят для наглядного представления сложных идей. Их практическое применение очевидно, например, в подготовке хирургов, которые могут

практиковаться на виртуальных пациентах, или инженеров, испытывающих свои разработки в виртуальных средах.



**Рис. 2. Виртуальная (VR), дополненная (AR)
и смешанная (MR) реальность**

Как VR меняет образование: практические примеры.

1. Перемещение во времени и пространстве: VR позволяет совершать виртуальные экскурсии, превращая уроки истории и литературы в увлекательные приключения. Студенты смогут не просто узнать о событиях, но и почувствовать себя их частью, словно перенесясь в прошлое.

2. Эксперименты без страха: на занятиях по физике и химии «Виртуальная лаборатория» предлагает безопасное пространство для проведения самых сложных и потенциально опасных опытов. Это отличный способ развить практические навыки, исключив любые риски.

3. Глубокое погружение в знания: VR обеспечивает иммерсивное обучение, где ученики полностью погружаются в учебную среду. Этот подход, использующий новейшие технологии, создает ощущение реального присутствия. Так, при изучении языков можно оказаться в аутентичной языковой среде и активно практиковать диалоги, что значительно ускоряет прогресс в обучении [5].

Влияние VR- и AR-технологий на качество образования характеризуется значительным позитивным потенциалом:

1. Технологии способны подстраиваться под темп обучения, уровень знаний и когнитивные способности каждого ученика. Это

позволяет эффективно работать как с одарёнными детьми, так и с теми, кто нуждается в дополнительной поддержке.

2. Повышение доступности образования реализуется через различные форматы обучения. Появилась возможность получать образование независимо от географического местоположения, что особенно важно для малонаселённых пунктов.

3. Развивающиеся при работе с технологиями компетенции востребованы в современном цифровом обществе и необходимы для успешной профессиональной деятельности.

4. Мотивация учащихся повышается благодаря интерактивности и геймификации образовательного процесса. Использование мультимедийных материалов, виртуальных лабораторий и симуляторов делает обучение более увлекательным. Игровые элементы, система достижений и рейтингов стимулируют здоровую конкуренцию и повышают интерес к учёбе.

5. Объективность оценивания обеспечивается автоматизированными системами проверки знаний. Электронные тесты и задания с автоматической проверкой минимизируют субъективный фактор при оценке, обеспечивают единые критерии для всех учащихся.

В совокупности эти факторы способствуют повышению качества образования, делая его более эффективным, доступным и соответствующим требованиям современного информационного общества.

Однако стоит отметить и существующие по сей день минусы внедрения подобных цифровых технологий в образовательный процесс:

- 1) Необходимость технической подготовки педагогов
- 2) Проблемы с цифровой грамотностью
- 3) Риски информационной безопасности
- 4) Разрыв в доступе к технологиям
- 5) Снижение живого общения
- 6) Негативное влияние на здоровье обучающихся [6].

Основные компоненты технологии виртуальной реальности представлены на рисунке 3.

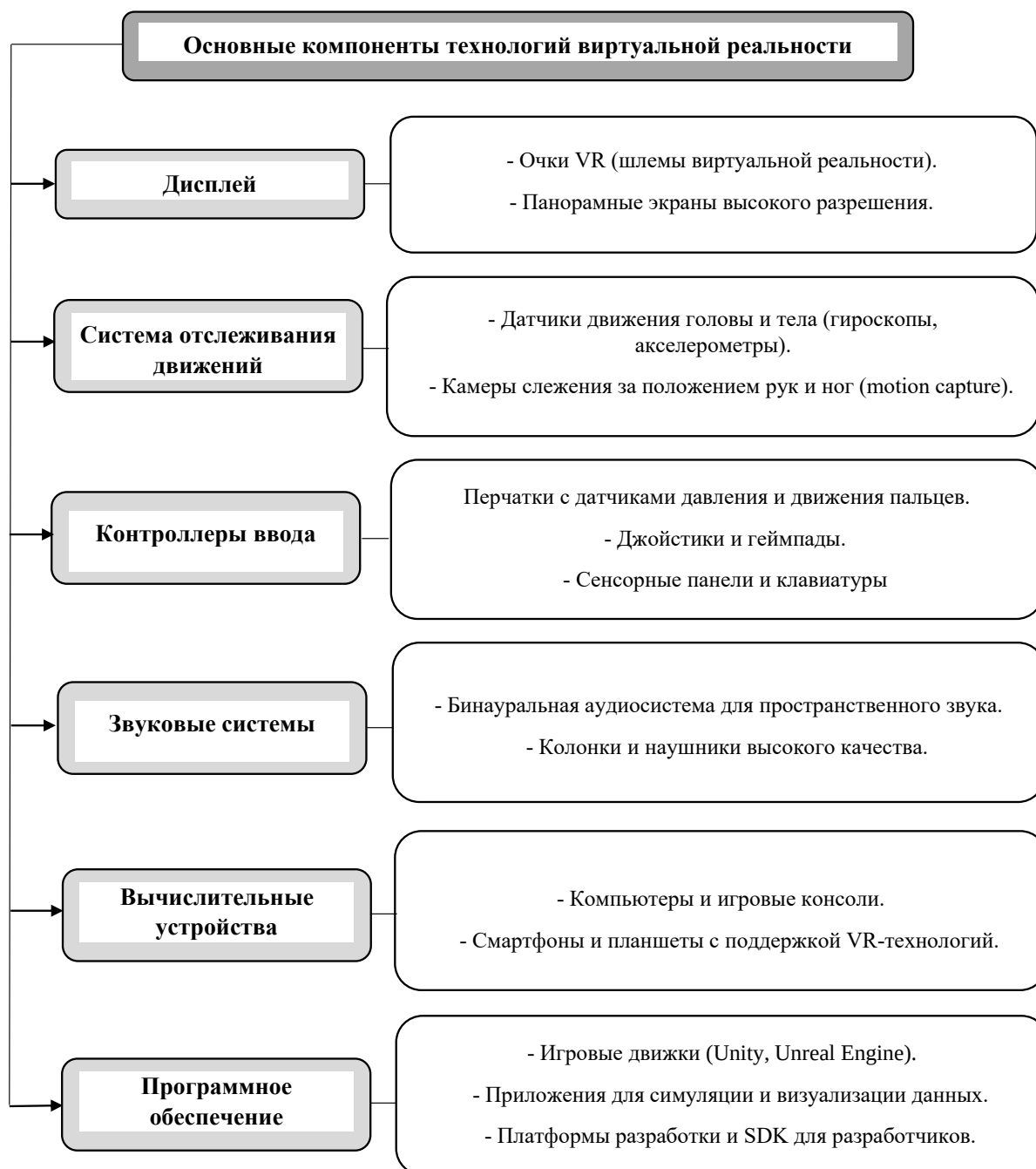


Рис. 3. Основные компоненты технологий виртуальной реальности

Благодаря слаженной работе этих компонентов, пользователь испытывает полное погружение в виртуальную реальность, воспринимая объекты как настоящие и имея возможность активно взаимодействовать с виртуальным окружением.

Иммерсивный звуковой опыт в виртуальной реальности достигается благодаря использованию продвинутых методов обработки звука, которые воссоздают объемное звучание и ощущение присутствия. Ключевые принципы, определяющие, как звук передается в VR, включают:

1. Объемный звук (Spatial Audio):

Технология пространственного звука располагает каждый звуковой элемент в трехмерном пространстве относительно вас. Благодаря этому вы можете точно определить направление и удаленность каждого источника звука, погружаясь в реалистичную звуковую картину.

2. Бинауральное звучание (Binaural Sound):

Принцип бинауральной записи заключается в использовании стереопары микрофонов, размещенных на расстоянии, имитирующем меж ушное расстояние. Такой подход воспроизводит пространственное звучание, обеспечивая слушателю естественное восприятие звуковой картины, близкое к тому, как мы слышим в реальном мире.

3. Отраженный звук (Reverberation):

Реалистичность звука достигается путем моделирования отражений, которые имитируют акустические свойства как открытых, так и закрытых пространств. Это позволяет, например, воспроизвести эхо в просторных помещениях или приглушенность звука в ограниченных пространствах, добавляя окружению глубину и достоверность.

4. Звук, следующий за пользователем:

Система VR в реальном времени определяет, где находится и куда смотрит пользователь. Затем звук мгновенно адаптируется к этим изменениям, создавая ощущение, что звуковая сцена движется вместе с ним. Это позволяет добиться естественных переходов и полной гармонии между звуком и тем, что видит и делает пользователь.

Подводя итог рассмотрению образовательных технологий, отметим, что цифровые технологии открывают новые возможности для современного образования, но их эффективное использование требует системного подхода и постоянной адаптации к меняющимся условиям.

Заключение. Университетское образование переживает трансформацию благодаря виртуальной реальности, которая предоставляет уникальные возможности для его улучшения. VR обеспечивает глубокое погружение студентов, создает безопасную среду для отработки навыков, открывает доступ к редким знаниям и способствует развитию творческого потенциала. Таким образом, VR становится ключевым элементом в современном вузовском обучении. Несмотря на некоторые препятствия, потенциал VR настолько значителен, что будущее университетов немыслимо без его активного внедрения.

Список литературы

1. Айвазова, Ю.А. Виртуальная реальность в образовании - реальность? / Ю.А. Айвазова, Н.Ш. Козлова // Студент и наука. - 2019. - № 4(11). - С. 39-43.

2. Бекшаев, И.А. Интерактивные VR-технологии в формировании профессиональных компетенций студентов-будущих учителей / И.А. Бекшаев // Проблемы педагогической инноватики в профессиональном образовании : Сборник научных статей XXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля наук РФ Александра Александровича Макаренко, Санкт-Петербург, 24–26 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. – С. 221-226.

3. Бекшаев, И.А. Теоретические предпосылки формирования профессиональных компетенций будущих педагогов средствами технологий виртуальной реальности / И.А. Бекшаев // Проблемы современного педагогического образования. – 2025. – № 87-1.

4. Бекшаев, И.А. Использование технологий виртуальной реальности на уроках: научно-теоретический аспект / И.А. Бекшаев // Современное профессионально-педагогическое образование: опыт, проблемы, перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Орёл, 04–05 октября 2022 года. – Воронеж:

Воронежский государственный педагогический университет, 2022. – С. 34-39.

5. Игошина, О.А. Цифровизация образования как неизбежный процесс трансформации образовательной среды и важный навык безопасности в информационном обществе / О.А. Игошина // Педагогика, психология, общество: актуальные исследования: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 19 марта 2021 года. - Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский дом "Среда", 2021. - С. 17-19.

6. Легостаев, Б.Л. Виртуальная реальность в оценке качества образовательных достижений обучающихся / Б.Л. Легостаев // Глобальный научный потенциал. - 2020. - № 11(116). - С. 43-45.

7. Сережникова, Р.К. Организационно-методические аспекты оценивания результатов обучения будущих педагогов / Р.К. Сережникова, И.А. Бекшаев // Проблемы современного педагогического образования. – 2025. – № 87-1. – С. 260-264.

© Бекшаев И.А., 2025

Глава 24.
**ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ
РЕАЛЬНОСТИ В ВЫСШЕМ ПЕДАГОГИЧЕСКОМ
ОБРАЗОВАНИИ**

Бекшаев Илья Алексеевич
преподаватель кафедры педагогики
ГОУ ВО МО «Государственный
гуманитарно-технологический университет»

Аннотация: В данной главе рассматривается применение виртуальной и дополненной реальности в педагогическом образовании. Цель работы – выявить специфику использования VR/AR технологий в рамках подготовки педагогических кадров в вузе. В процессе исследования применялся набор теоретических и эмпирических методов. Теоретический анализ включал обобщение, сопоставление и анализ информации о применении иммерсивных средств в образовательной среде университетов. Эмпирическая часть была реализована через эксперимент, в рамках которого элементы виртуальной реальности интегрировались в процесс обучения будущих преподавателей.

Центральная часть работы посвящена изучению цифровой трансформации и технологизации высшего образования в России. Подчеркивается важность проведения комплексных фундаментальных исследований в области развития компетенций будущих педагогов, обуславливающих потребность в подготовке специалистов, способных к обоснованному и критическому применению современных цифровых технологий в обучении. Данные навыки охватывают уверенное и критическое применение современных технологий для поиска релевантной информации, результативного взаимодействия и решения типовых задач в цифровом социуме. Результаты исследования показали,

что цифровая трансформация образовательной деятельности способствует улучшению профессиональных компетенций учителей в области цифрового образования, предоставляя им возможность успешно адаптироваться к динамично меняющейся образовательной среде. Также отмечается положительное влияние на мотивацию студентов педагогических вузов, открывающее возможности для их автономного, креативного развития и профессиональной самореализации.

Ключевые слова: подготовка педагогов, высшее педагогическое образование, практическое обучение, виртуальная реальность, дополненная реальность, цифровые технологии, информационно-коммуникационные технологии.

VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN HIGHER PEDAGOGICAL EDUCATION

Bekshaev Ilya Alekseevich

Abstract: This chapter examines the use of virtual and augmented reality in pedagogical education. The purpose of the work is to identify the specifics of using VR/AR technologies in the training of teaching staff at a university. A set of theoretical and empirical methods was used in the study. The theoretical analysis included generalization, comparison and analysis of information on the use of immersive tools in the educational environment of universities. The empirical part was implemented through an experiment, in which elements of virtual reality were integrated into the training process of future teachers.

The central part of the work is devoted to the study of the digital transformation and technologization of higher education in Russia. The importance of conducting comprehensive fundamental research in the field of developing the competencies of future teachers is emphasized, which

determines the need to train specialists capable of reasonably and critically applying modern digital technologies in teaching. These skills cover the confident and critical use of modern technologies to search for relevant information, effective interaction and solving typical problems in a digital society. The results of the study showed that the digital transformation of educational activities contributes to the improvement of teachers' professional competencies in the field of digital education, giving them the opportunity to successfully adapt to the dynamically changing educational environment. A positive impact on the motivation of students of pedagogical universities is also noted, opening up opportunities for their autonomous, creative development and professional self-realization.

Key words: teacher training, higher pedagogical education, practical training, virtual reality, augmented reality, digital technologies, information and communication technologies.

Введение. Сегодня цифровые образовательные технологии занимают ключевую позицию в подготовке будущих педагогов. Они представляют собой обширный и незаменимый ресурс учебной информации, доступный широкому кругу учащихся.

Внедрение федерального проекта "Цифровая образовательная среда" (национальный проект "Образование") с 1 октября 2018 года по всей России делает данную тему особенно актуальной (рисунок 1). Проект предполагает существенные изменения в образовательной сфере, направленные на создание современной и безопасной цифровой среды, которая будет способствовать формированию у обучающихся стремления к саморазвитию и самообразованию. Эти изменения включают в себя обновление ИТ-инфраструктуры, повышение квалификации педагогов и разработку федеральной цифровой платформы.



**Рис. 1. Целевая модель цифровой образовательной среды
в Российской Федерации (условия внедрение федерального проекта
«Цифровая образовательная среда» национального проекта
«Образование», до 31 декабря 2024 г.)**

Следует отметить, что современные учащиеся педагогических специальностей показывают слабое знание цифровых технологий в сфере образования. Эти актуальные ресурсы являются базой для работы с большими объемами информации, они важны для любой работы на компьютере, а также значительно влияют на науку, обучение, администрирование, автоматизированное конструирование и создание систем, использующих искусственный интеллект. Неимение указанных компетенций у дипломированных специалистов повлечет за собой их серьезное отставание в соревновании с более подготовленными и сведущими кадрами. Таким образом, внедрение цифровых технологий в образование — это главное направление развития образовательной системы в период после пандемии.

Высшее образование должно развиваться, учитывая актуальные общественные и геополитические тренды. Университетам важно идти в

ногу со временем, учитывая, как меняется общество и геополитическая обстановка. В этом контексте ключевую роль играет всеобъемлющая информатизация, которая представляет собой как разработку и применение образовательных систем, нацеленных на формирование навыков самостоятельного получения знаний с помощью современных технологий, так и модернизацию управления образованием через автоматизированные информационные ресурсы и повышение общей цифровой компетентности (рисунок 2).

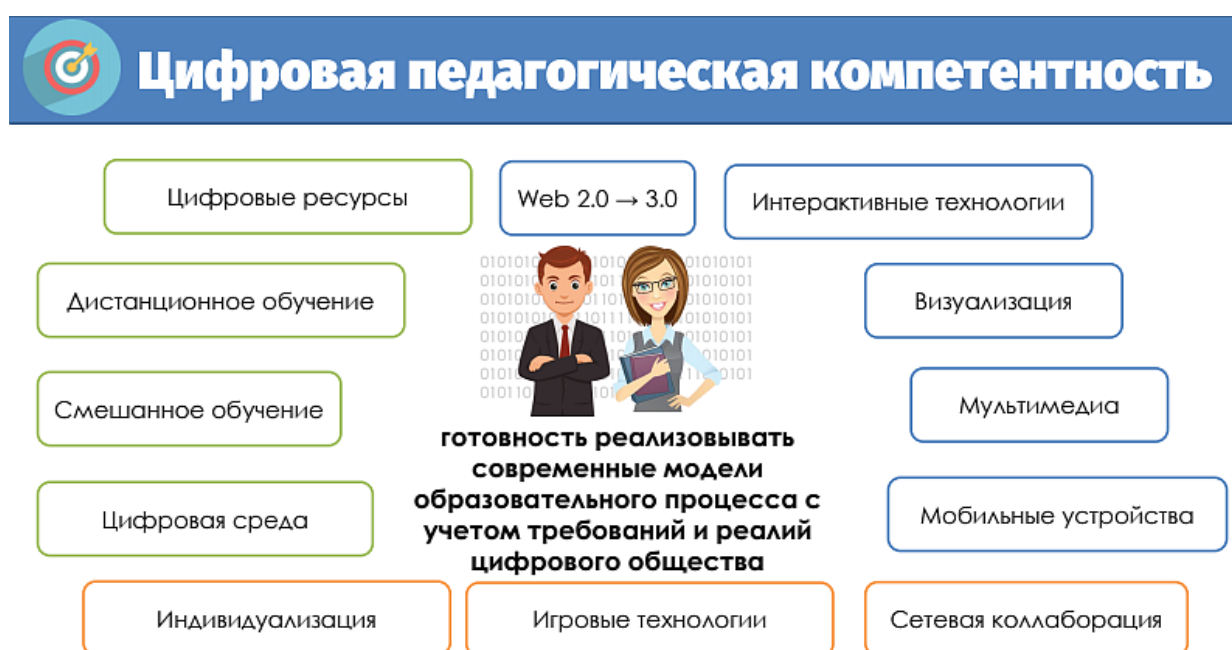


Рис. 2. Цифровая педагогическая компетентность, проявляющаяся в готовности реализовывать современные модели образовательного процесса с учетом требований и реалий цифрового общества (по П.С. Ломаско, 2019) [9]

Особого внимания требуют комплексные исследования, посвященные развитию ключевых навыков будущих учителей. Актуальность комплексных фундаментальных исследований в области формирования компетенций будущих педагогов обусловлена необходимостью подготовки специалистов, способных к уверенному и критическому использованию современных технологий. Эти навыки

включают в себя уверенное и критическое применение современных технологий для поиска надежной информации, эффективного общения и решения повседневных задач в условиях цифрового общества. Основой для этого служат базовые знания в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), такие как работа с информацией на компьютере (поиск, оценка, хранение, создание, представление и обмен). Хотя владение информацией в целом является важным, именно цифровая грамотность приобретает первостепенное значение, поскольку большая часть информации сегодня существует в цифровом формате (рисунок 3).



**Рис. 3. Цифровая педагогическая компетентность
(по П.С. Ломаско, 2019) [9]**

Цель исследования – изучить особенности использования технологий виртуальной и дополненной реальности в условиях высшего педагогического образования.

Материалы и методы. В исследовании применялся комплекс теоретических и практических методов. Теоретическая часть включала анализ, синтез и сравнение данных, касающихся внедрения

иммерсивных технологий в университетское образование. Практическая часть была представлена эмпирическим экспериментом, в ходе которого компоненты виртуальной реальности интегрировались в процесс подготовки будущих учителей.

Изложение основного материала. В России процессы цифровизации и технологической модернизации высшего образования становятся все более интенсивными, вовлекая в этот процесс все большее количество университетов и оказывая значительное влияние на их функционирование. Эти преобразования коренным образом меняют процесс подготовки специалистов в различных областях, включая педагогическое образование. Российские высшие учебные заведения активно интегрируют технологические и цифровые инновации, что влечет за собой глубокие изменения в их деятельности.

С одной стороны, отмечаются положительные результаты в образовательной сфере, такие как повышение активности и продуктивности обучения благодаря использованию онлайн-ресурсов, мультимедийных средств и интерактивных платформ. С другой стороны, возникают и негативные последствия: студенты проявляют меньшее доверие к информации, чаще ставят под сомнение достоверность фактов, демонстрируют высокий уровень критицизма и нигилистические настроения. Это обусловлено переизбытком информации, наличием множества альтернативных источников знаний и снижением значимости преподавательского авторитета.

В последние годы наблюдается стремительный рост популярности иммерсивных образовательных технологий. Одним из ярких представителей этого направления является виртуальная реальность (VR) (рисунок 4). Эта технология создает эффект полного погружения пользователя в специально разработанные виртуальные образовательные среды, что открывает новые возможности для более эффективного обучения и постижения сложных закономерностей.

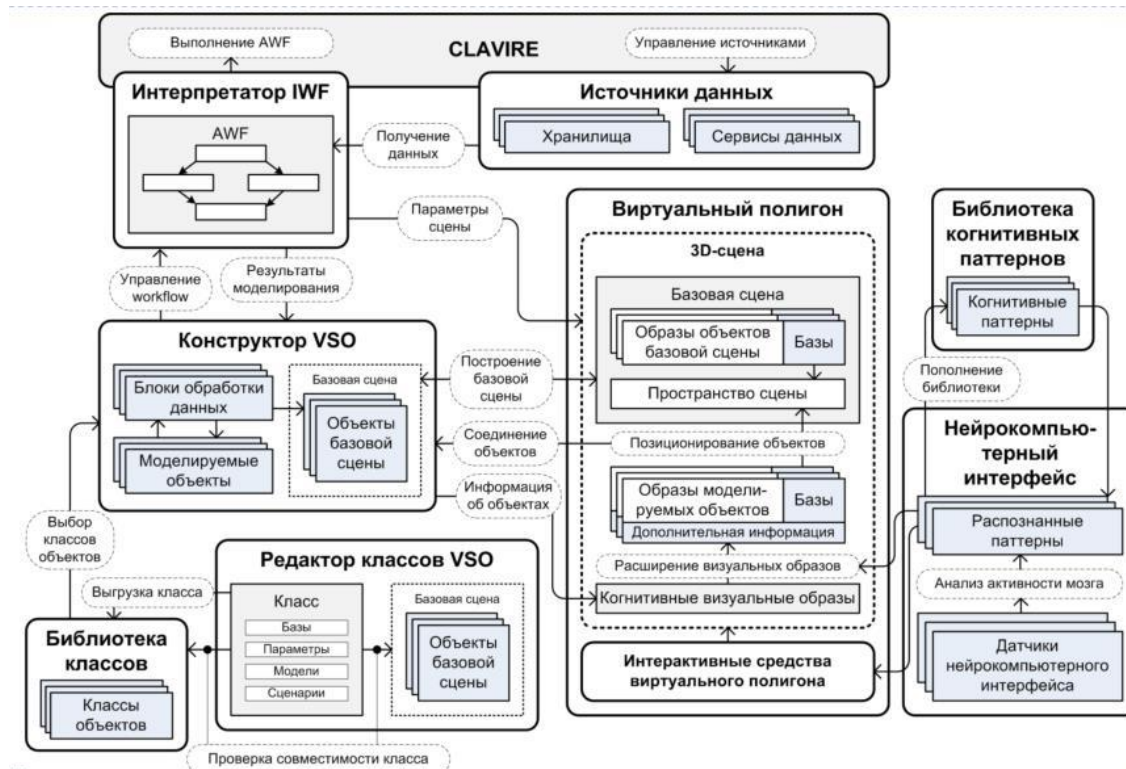


Рис. 4. Системы виртуальной реальности
(по С.В. Ковальчук , А.В. Бухановскому) [7]

В настоящее время в образовательном процессе активно используются различные программные обеспечения, базирующиеся на современных технологиях. Среди наиболее популярных решений можно выделить следующие:

- Engage Education – платформа, ориентированная на повышение эффективности обучения студентов посредством вовлечения иммерсивных технологий в образовательный процесс.
- Google Expeditions – продукт компании Google, представляющий собой образовательную среду, построенную на основе виртуальной и дополненной реальности. Инструмент позволяет обогатить учебный процесс за счет организации виртуальных путешествий и экскурсий.
- zSpace – образовательная платформа, направленная на улучшение усвоения учебного материала, стимулирование креативности при выполнении заданий, повышение вовлеченности студентов в процесс обучения и формирование готовности к дальнейшей профессиональной деятельности.

Внедрение технологий виртуальной реальности успешно продемонстрировано на примере практической подготовки будущих педагогов. В рамках базовой части учебного плана «Ядра высшего педагогического образования» студенты проходят технологическую практику, используя для этого возможности «Лаборатории виртуальной и дополненной реальности» Промышленно-экономического колледжа. Этот колледж является частью Государственного гуманитарно-технологического университета, расположенного в Орехово-Зуево Московской области (рисунок 5).

Студенты физико-математического, биолого-химического, филологического факультетов и факультета иностранных языков ГГТУ проходят учебную практику. Интеграция виртуальной реальности в подготовку будущих учителей делает обучение более увлекательным и понятным. Цифровые инструменты позволяют преподавателям разрабатывать разнообразный контент, предлагать интерактивные задания и адаптировать учебный процесс под каждого студента.



Рис. 5. Фрагмент занятия со студентами в рамках технологической практики на базе «Лаборатории виртуальной и дополненной реальности»

Будущие педагоги, обучающиеся сегодня, часто испытывают трудности в уверенном и критическом использовании цифровых инструментов в образовании, что крайне важно для их профессионального развития.

Повышение цифровой компетентности студентов делает обучение более интересным, продуктивным и разнообразным. Это помогает им не только получать новые знания, но и осваивать актуальные образовательные технологии, которые станут важным преимуществом в их будущей работе.

Следует уделить внимание особенностям построения учебных планов для будущих учителей, которые характеризуются широким спектром дисциплин и модулей. В дополнение к основному содержанию, в учебные программы недавно были введены компоненты «Ядра высшего педагогического образования». Этот федеральный документ, представленный в форме методических рекомендаций, устанавливает требования к структуре и содержанию программ подготовки педагогических кадров.

Внедрение иммерсивных образовательных методик несет в себе как очевидные плюсы, так и значимые минусы. Среди главных преимуществ виртуальной реальности выделяется способность создавать интересный и хорошо усваиваемый учебный материал, а также улучшение понимания информации благодаря эффекту погружения в виртуальное пространство.

Однако к ключевым недостаткам относится проблема материального обеспечения, заключающаяся в обязательной потребности в специализированном оборудовании. Это обстоятельство способно серьезно ограничить распространенность и доступность технологии для широкой аудитории обучающихся.

На основе педагогического опыта использования технологий виртуальной реальности в процессе подготовки будущих учителей, мы выделяем четыре ключевых принципа их внедрения в образовательный процесс (рисунок 6).

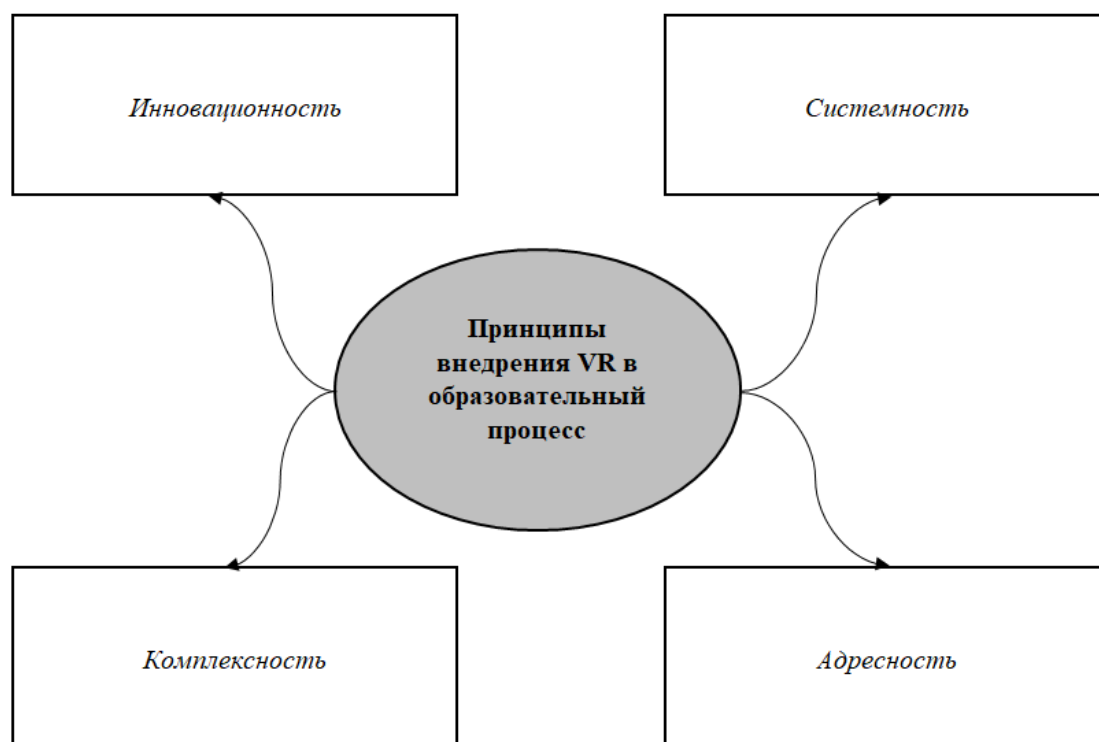


Рис. 6. Принципы внедрения технологий виртуальной реальности в образовательный процесс

Охарактеризуем каждый принцип подробнее.

1) **Инновационность** – отражает характер перестройки образовательного процесса университета через организационное решение преподавания с использованием виртуальных сред;

2) **Системность** – характеризует степень вовлеченности студентов университета в процесс обучения, где сложные вопросы дидактики выносятся за грань тривиальных подходов преподавания, а приоритетное место занимают технологии виртуальной реальности.

3) **Комплексность** – устанавливает охват студентов университета, процесс подготовки которых включает использование иммерсивных образовательных технологий;

4) **Адресность** – учитывает индивидуально-типологические особенности личности каждого отдельно взятого студента академической группы, где встает вопрос модернизации учебного процесса через внедрение подобных технологий.

Заключение и выводы. Цифровая эпоха требует от студентов готовности, которая закладывается через освоение информационных технологий и развитие навыков работы с ними. В контексте подготовки студентов к цифровой реальности, ключевым является освоение информационных технологий и развитие умений работы с ними. Это требует от современного учителя готовности к интеграции цифровых средств в образовательный процесс и их эффективному применению.

Таким образом, резюмируя, следует подчеркнуть, что цифровая трансформация образовательного процесса ведет к совершенствованию профессиональных навыков учителей в сфере цифрового образования, позволяя им успешно ориентироваться в постоянно меняющемся образовательном ландшафте. Цифровизация образования тем самым повышает профессиональные навыки учителей в сфере цифровых технологий, помогая им приспособиться к быстро меняющимся условиям. Это также повышает интерес студентов педагогических вузов к учебе, открывая пути для их самостоятельного, творческого роста и профессионального самоопределения.

Список литературы

1. Айвазова, Ю.А. Виртуальная реальность в образовании - реальность? / Ю.А. Айвазова, Н.Ш. Козлова // Студент и наука. - 2019. - № 4(11). - С. 39-43.
2. Бекшаев, И.А. Внедрение компонентов технологий виртуальной реальности в процесс подготовки будущих педагогов / И.А. Бекшаев // Цифровая трансформация образования: современное состояние и перспективы : Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции, Курск, 13–14 декабря 2024 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 61-66.
3. Бекшаев, И.А. Интерактивные VR-технологии в формировании профессиональных компетенций студентов-будущих учителей / И.А. Бекшаев // Проблемы педагогической инноватики в профессиональном образовании : Сборник научных статей

XXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля наук РФ Александра Александровича Макареви, Санкт-Петербург, 24–26 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. – С. 221-226.

4. Бекшаев, И.А. Теоретические предпосылки формирования профессиональных компетенций будущих педагогов средствами технологий виртуальной реальности / И.А. Бекшаев // Проблемы современного педагогического образования. – 2025. – № 87-1.

5. Бекшаев, И.А. Использование технологий виртуальной реальности на уроках: научно-теоретический аспект / И.А. Бекшаев // Современное профессионально-педагогическое образование: опыт, проблемы, перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Орёл, 04–05 октября 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, 2022. – С. 34-39.

6. Игошина, О.А. Цифровизация образования как неизбежный процесс трансформации образовательной среды и важный навык безопасности в информационном обществе / О.А. Игошина // Педагогика, психология, общество: актуальные исследования: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 19 марта 2021 года. - Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский дом "Среда", 2021. - С. 17-19.

7. Ковальчук, С.В., Бухановский, А. В. Облачные вычисления второго поколения: композитные приложения, интерактивные системы и семантические технологии / С.В. Ковальчук, А. В. Бухановский / НИИ Наукоемких компьютерных технологий, СПб НИУ ИТМО, Санкт-Петербург. Режим доступа: <https://fr.slideserve.com/darryl/4166178> (дата обращения: 30.08.2025).

8. Легостаев, Б.Л. Виртуальная реальность в оценке качества образовательных достижений обучающихся / Б.Л. Легостаев // Глобальный научный потенциал. - 2020. - № 11(116). - С. 43-45.

9. Ломаско, П.С. О сущности цифровой трансформации высшего образования с позиций ключевых изменений в профессиональной педагогической деятельности / П.С. Ломаско, А.Л. Симонова // Инновационные технологии в медицинском образовании : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Красноярск, 06–07 февраля 2019 года / Главный редактор С.Ю. Никулина. – Красноярск: Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф.Войно-Ясенецкого, 2019.

10. Сержникова, Р.К. Организационно-методические аспекты оценивания результатов обучения будущих педагогов / Р.К. Сержникова, И.А. Бекшаев // Проблемы современного педагогического образования. – 2025. – № 87-1. – С. 260-264.

© Бекшаев И.А., 2025

Глава 25.
ФАСЦИНАЦИОННЫЕ ТЕХНИКИ
НЕЙРОЛИНГВИСТИЧЕСКОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ В КИНОДИСКУРСЕ

Головко Ольга Васильевна

к.филол.н., доцент

кафедра лингвистических дисциплин

и межкультурных коммуникаций

УО «Брестский государственный технический университет»

Аннотация: Работа посвящена исследованию фасцинационных техник нейролингвистического программирования в англоязычном кинодискурсе. Адресант с интенцией fascinate своего собеседника прибегает к использованию калибровки и подстройки. Калибровка предусматривает постоянное уточнение и детализацию информации относительно наблюдения за адресатом. Для успешной фасциации своего собеседника, говорящий применяет подстройки: к физиологии, к голосу, к речи и характеру мышления, к убеждениям и ценностям, к личному опыту, к дыханию. Fascinating своего собеседника, адресант использует визуальные (жесты, фотографии, красный цвет), аудиальные (конкретные звуки, слова, звонок) и кинестетические (прикосновения) якоря нейролингвистического программирования.

Ключевые слова: фасцинация, кинодискурс, адресант, адресат, нейролингвистическое программирование, калибровка, рапорт, подстройка, якоря НЛП.

**FASCINATION TECHNIQUES OF NEUROLINGUISTIC
PROGRAMMING IN CINEMATIC DISCOURSE**

Golovko Olha Vasilevna

Abstract: The research reveals the investigation of fascination techniques of neuro-linguistic programming in English cinematic discourse.

The speaker with the intention to fascinate his listener, resorts to the use of calibration and adjustment. Calibration involves constant clarification and detailing of information regarding observation of the addressee. For successful fascination of his interlocutor, the speaker applies adjustments: to physiology, to voice, to speech and the nature of thinking, to convictions and values, to personal experience, to breathing. Fascinating his interlocutor, the addresser uses visual (gestures, photographs, red color), auditory (specific sounds, words, bell), kinesthetic (touches) anchors of neurolinguistic programming.

Key words: fascination, cinematic discourse, addresser, addressee, neuro-linguistic programming, calibration, report, adjustment, NLP anchors.

В современном языкознании особую актуальность получило рассмотрение коммуникативного процесса в ракурсе нейролингвистического программирования [1; 2; 3; 4; 7], предметом исследования которого выступают когнитивные структуры, связанные с поведенческими комплексами человека, что предусматривает привлечение психологического, лингвистического и нейрофизиологического аспектов.

Научное направление нейролингвистического программирования (далее НЛП) – это специфическая область знаний, которая изучает структуру субъективного опыта людей, разрабатывает методы и язык его описания, раскрывает механизмы и способы моделирования опыта, позволяя усовершенствование и широкое применение определённых моделей в общественную практику. В начале третьего тысячелетия практика НЛП катализируется взаимодействием целого перечня таких наук, как психология, когнитология, компьютерная лингвистика, комплекс наук о сложных структурах, социология, культурология, антропология и много других, постепенно приобретая признаки широкого научно-прикладного движения.

Истоки этого лингвистического движения связаны напрямую с постановкой вопроса: как мы организуем собственную модель мира, на основе которой строим свое поведение. Понятие НЛП и центральная идея направления принадлежит Р.Бендлеру и Д.Гриндеру [1; 2], работы которых положили начало развитию движения НЛП в двух направлениях,

дополняющих друг друга. В русле первого это движение развивается в рамках разработки моделей мастерства, адаптированных к конкретной области человеческой деятельности, в русле второго оно нацелено на изготовление деталей более эффективных способов мышления и коммуникации.

Словосочетание «нейролингвистическое программирование» синтезирует в себе три базовых идеи. Компонент «нейро» в этом понятии передает фундаментальную мысль: в основе поведения человека лежат неврологические процессы, которые позволяют видеть, слышать, чувствовать запахи, вкус, объекты прикосновения. Человек получает представление об окружающем мире благодаря пяти органам чувств. Он как бы вытягивает «содержание» из чувственной информации и получает возможность руководствоваться им. Неврология человека объединяет не только невидимые умственные процессы, но и видимые физиологические реакции на события, действия и мысли. Просто одни из них есть отображение других на физическом уровне, поскольку тело и ум представляют нераздельное единство – человеческую сущность.

Лингвистический компонент термина НЛП, фиксирует следующий факт: участники коммуникации используют язык и речь с целью упорядочить свои мысли и поведение, а также для общения с другими людьми. Слово «программирование» в термине НЛП обозначает специфику способов, которые люди применяют для организации своих идей и действий и достижения желаемых результатов. Исследователей [2; 3; 4; 7], изучающих его структуру, интересуют практические вопросы: как именно мы организуем то, что видим, слышим, чувствуем и как фильтруем и рецензируем с помощью чувств информацию, полученную из внешнего мира. Практика НЛП исследует также и то, каким способом мы описываем все это в языке и как (сознательно или невольно) действуем, чтобы получить желаемый результат. Таким образом, слово «программирование», использованное в название НЛП, практически является метафорой, оно как будто предусматривает возможность программирования людей. НЛП содержит в себе процедуры определения, экспликации и прагматического использования

стереотипов, паттернов, моделей успешного человеческого поведения, которые прослеживаются в исторической практике известных представителей таких сфер деятельности, как психотерапия, образование, наука, бизнес, реклама.

Технологии НЛП направлены прежде всего на оптимизацию коммуникативных процессов, они базируются на глубинном исследовании субъективных рефлексий, анализе и идентификации составных внутреннего мира человека и определяются умением конструировать позитивные модели коммуникативного поведения. Технологии НЛП дают возможность: 1) улучшить личные отношения; 2) умело переубедить собеседника; 3) поменять мировоззрение на позитивное; 4) достичь успехов в общении, поскольку НЛП «является набором моделей, умений, технологий, направленных на то, чтобы мыслить и действовать эффективно в мире» [3, с. 14]. Таким образом, НЛП позволяет делать коммуникацию успешной.

Отсутствие исследований в современной лингвистике посвященных фасцинационным техникам НЛП в кинодискурсе обусловило **актуальность** нашей работы. **Цель** данного исследования – проанализировать техники НЛП применяемые адресантом с намерением фасцинировать своего собеседника – предопределила следующие **задачи**: идентифицировать технологии НЛП, с помощью которых выстраиваются стратегии эффективного фасцинационного общения; описать особенность применяемой калибровки и параметры подстройки; выявить в коммуникации якоря НЛП, используемые говорящим для фасциации адресата. **Материал** исследования – эпизоды-контексты вербальной и невербальной экспликации фасциации, выбранные методом сплошного отбора из киносценариев [8] англоязычных разножанровых фильмов.

Фасцинацию рассматриваем как действие сигнала, при котором ранее аккумулированная информация полностью или частично стирается [5, с. 49]. Фасцинационное общение нацелено на создание в слушателе такого впечатления, которое позволит адресанту ему понравиться, завоевать его, покорить, соблазнить, очаровать, привязать к себе.

Возможностью управлять таким поведением собеседника на основе методов фасцинационного влияния владеет нейролингвистическое программирование. Существует ряд нейролингвистических приемов, которые применяются в коммуникации для создания фасцинации. В частности, с этой целью используются заблаговременно подготовленные шаблоны – предложение, вопрос или история, которые применяются, чтобы завести разговор с незнакомцем или с группой незнакомых людей. Например:

Jordan: *“You know, ones I almost lost all my money in a casino – it was in Monte Carlo. But I realized one important thing: to win you have to play by the rules and know when to stop.”*

Stranger: *“Wow, that’s sounds intense. Did you manage to turn the things around after that?”*

Jordan: *“Absolutely. That experience taught me a lot about risk management and discipline. Since then, I always approached investments with a clear plan. Have you ever had a moment where a mistake turned into a valuable lesson?” (The Wolf of Wallstreet, 2013)*

В этом примере Джордан использует заранее подготовленную историю, чтобы завладеть вниманием собеседника. История интересная, так как раскрывает личный опыт адресанта и показывает его уверенность в себе. О фасцинационной эффективности данной техники свидетельствует то, что заинтересованный адресат поддерживает начатый диалог.

В фасцинационном общении при такой ситуации необходимо прежде всего найти общий язык с партнером (партнерами) по коммуникации. В НЛП выражение «найти общий язык» охватывает два взаимосвязанных компонента – калибровка и подстройка.

Калибровка рассматривается в этом контексте как умение воспринимать изменение поведения, разные внутренние состояния собеседника на основе наблюдения за его внешними невербальными сигналами [4, с. 9].

Калибровка преследует цель: определить по характеру и особенностям невербального поведения реальный (а не озвученный вербально) ход мыслей партнера; разобраться в его настоящем (а не наигранном) эмоциональном состоянии; уточнить степень

правдоподобности высказываний собеседника; определить его убеждения и ценности, особенно персональный опыт, модель мышления; детерминировать специфику базовой репрезентативной системы партнера (или оппонента) по коммуникативному акту; подготовить условия для следующего этапа, номинированного термином подстройка.

У нейролингвистического программирования различают пять ключевых индикаторов состояния человека:

1) дыхание: любое изменение характера дыхания (частоты, глубины, равномерности) свидетельствуют об определенных трансформациях состояния человека;

2) цвет лица: разные части лица имеют свой специфический цвет и оттенок (розовый, кремовый, коричневый, серый, зеленоватый, синеватый, желтый), которые могут сильно отличаться в зависимости от эмоций, чувств, переживаний, настроения человека;

3) микрореакции мускул в диапазоне напряжения-расслабления, что невольно передает настоящие чувства и эмоции, которые человек испытывает в данный момент;

4) изменение формы нижней губы: в большинстве случаев человек не может сознательно контролировать форму своей нижней губы: изменение размера, цвета, контуров, однако такие вариации могут выдать реальное эмоциональное состояние;

5) звучание (тон) голоса: даже малейшие изменения в голосе собеседника (громкости, высоте, ритме, темпе, чёткости, резонансе) свидетельствуют об изменениях его внутреннего состояния [4, с. 87].

Калибровать – значит не обобщать наблюдения, а наоборот, постоянно их уточнять и детализировать. Этот процесс готовит основу для следующей фазы НЛП – подстройки.

Подстройка под метапрограммы является сложным процессом, что предусматривает умение думать так, как собеседник. У НЛП из близких к этому значению употребляют слово рапорт (с фран. *le rapport* – обозначает связь, отношение, взаимопонимание). Рапорт – это процесс настраивания и поддержки взаимного доверия и понимания между людьми, активации необходимых реакций со стороны партнера. В основе

рапорта лежит способность адресанта почувствовать глубокое доверие к человеку с поведением, похожим на его собственное.

Рапорту не свойственно наличие полного согласия с партнером и полного восприятия его точки зрения, однако он помогает установить доверие и взаимопонимание. Рапорт формируется как на сознательном, так и на подсознательном уровне путем подключения и осмысления схожести «моделей мира, языка, идеалов, ценностей, настоящих переживаний» [3 с. 88].

Анализ исследуемого иллюстративного материала ситуаций фасцинационного общения коммуникантов позволяет проследить, что адресант с интенцией установить рапорт и успешно фасцинировать своего собеседника применяет подстройку за следующими параметрами:

Подстройка к физиологии. Желая достичь нужного результата, участник коммуникации, который хочет установить рапорт, стремится подражать действиям, жестам, позам партнера: сидеть или стоять в такой же самой позе, менять осанку, наклонять голову в сторону, скрестить руки или ноги либо держать их вольно, то есть повторять его жесты руками, головой и телом. Например: **Bond:** *You are very good at reading people. (pauses briefly, maintaining eye contact)*

Bond: *I can tell by the way you hold yourself. (smiles slightly to reinforce the trust) It's a rare skill. Not everyone has such kind of insight. (confidently)*

But I wonder (pauses to build tension)

What else you might to be capable of (with the gentle smile and soft gaze).

Because in my line of work – perception is everything (finishes confidently, asserting control). (James Bond: Casino Rayle, 2006)

В данном примере агент Бонд в общении с противником внимательно следит за его мимикой и позой с целью установить контроль и вызвать доверие.

Подстройка к голосу. Несмотря, на то, что этот вид подстройки требует значительной подготовки и тренировок, именно он часто становится ключевым, например, во время телефонного разговора, когда

другой вид подстройки применить нельзя. Суть подстройки по голосу заключается в подражании индивидуальным голосовым особенностям партнера, что включает громкость (громко или тихо), темп (быстро или медленно), ритм (ритмично или аритмично), высоту (высокий или низкий голос), тембр (звонкий ли хриплый, глухой), интонацию (выделение акцентом отдельных синтагм в речи близких собеседников), произношение (употребление характерных для партнера слов и выражений). Например:

Micheal: *“Dewey, I see you re very serious about your security work.
(speaking softly and respectfully, imitating Dwight’s tone)*

Dewey: *Yes. Sir.*

Micheal: *I’ve been practicing my security voice too. Want to hear?
(pauses and speaks in the same tone)/*

Dewey: *Sure.*

Micheal: *Security is no joke. (imitating Dwight’s voice, making viewers smiles) (The Office, 2005)*

Подстройка к речи и характеру мышления. Для установки рапорта необходимо говорить одним языком с реципиентом. Этот процесс существенно усложняется тем, что репрезентативные системы коммуникантов отличаются. Путь преодоления этого барьера открывает возможности применения приема «речевого хамелеонства» или «нейролингвистического полиглотства», смысл которого заключается в том, чтобы с каждым адресатом разговаривать его языком, скажем, с визуалами через языковые единицы *see, watch, notice, observe, bright*, с аудиалами – *loudly, sound, ruthmically*, с кинестетиками – *contact, take, tense*. Рассмотрим на примере: **Jake:** *“Captain, I’ve been studying your leadership style. It’s really inspiring.” (speakin with the genuine respect, mimicking Holt’s formal tone)* **Holt:** *“Thank you, Detective. I appreciate your dedication.”* **Jake:** *“I want to learn from the best. Maybe you could give me some tips?”(imitating his serious style to make an impression) (Brooklyn 9-9, 2013)*

Подстройка к убеждениям и ценностям. Этот вид подстройки говорящий использует в ситуациях, когда другие попытки установить рапорт не имеют успеха, например, если общение с адресатом, на

которого надо повлиять, происходит в присутствии других, и это рассеивает внимание коммуниканта. При таких обстоятельствах специалисты из НЛП предлагают при установке контакта прибегать к универсальным макроубеждениям и макроценностям (порядочность, объективность, честность, вежливость), что помогает создать благоприятную основу для установки рапорта [6, с. 23]. Например:

Leonard Low: *“Your Majesty, I want you to understand that your voice is a gift.”*

King George IV: *“A gift? I’ve never thought of it that way.”*

Leonard Low: *“Yes, it’s a symbol of your leadership and your duty to your people.”*

King George IV: *“So, my voice represents more than words?”*

Leonard Low: *“When you speak confidently, you inspire confidence in others.”*

King George IV: *“I see. Then I must find the strength to speak clearly.”*
(The king’s speech, 2010)

Этот диалог экспонирует, как терапевт согласует свое послание с чувством ответственности и лидерства короля, стремясь мотивировать его, подчеркивая важность голоса для его страны.

Подстройка к личному опыту. Даже незначительное совпадение личного опыта коммуникантов или условная общность их целей помогает установить эффективный контакт. Толчком к сближению могут стать обыкновенные слова: *Я такой, как и Вы* Например: **Chris:** *“You know. I remember when I was homeless, just like you. I felt like the whole world was against me. But I found a way to keep pushing forward. If I can do it, so can you.”* **Stranger:** *“It’s hard to believe that someone can come back from that.”* **Chris:** *“I get it. But every setback can be a setup for a comeback. You’ve got to find that fire inside you.”* (The Pursuit of Happiness, 2006)

Подстройка к дыханию. Такая методика предусматривает согласование частоты дыхания, его глубины и интенсивности, чем имитируются особенности дыхания собеседника. Если дыхание адресата очень частое или слишком медленное и копировать его сложно, применяют «перекрестное присоединение», то есть в такт дыхания

собеседника постукивают рукой, ногой, кивают головой. Такое присоединение является ключом, тайной эриксоновского, или нового гипноза, когда гипнотизёр во время введения в транс произносит все фразы четко в такт дыхания пациента – на его выдохах: например,

Roman Emperor: *“My enemies think I am weak because I speak softly.”*

Gladiator: *(slowing down his speech and pausing to match the emperor’s breathing) “But I know inside you are strong. You’re just hiding it.”*

Roman Emperor: *(hears this, takes a slow breath in and out) “You know how to read people.”* (Gladiator, 2000)

Умение определить какой тип репрезентативной системы, присущий коммуникативному партнеру, позволяет общаться с ним на одном языке, что упрощает налаживание контакта и усиливает чувство доверия и таким образом помогает установить рапорт. Собеседники воспринимают окружающий мир по-разному и в соответствии с этим выстраивают свое поведение. Обобщив собранные данные, ученые создали модель человеческого восприятия, основанную на понятии репрезентативных систем [7]. Согласно этой модели, вся информация, которую получает человек из внешней среды, поступает к нему по трем каналам: визуальном – то, что человек видит, аудиальном – то, что человек слышит, и кинестетическом – все, что человек воспринимает органами чувств. По кинестетическому каналу поступают тактильные чувства (чувства кожей), ольфакторные (запахи), густаторные (вкус), проприоцептивные (чувство состояния организма) и вестибулярные (чувство равновесия). Кроме этого, к кинестетическому каналу относятся чувства (эмоции). Это базируется на том, что сами по себе эмоции не существуют, они имеют конкретные внешние проявления, как правило, проприоцептивные (например, страх может проявляться тяжестью в ногах и быстрым дыханием). Вся информация, которая поступает таким способом – через внешние органы чувств – обрабатывается соответственно репрезентативной системой.

Другой важный фактор в организации фасцинационной коммуникации – это наличие в общении разных уровней и дистанций. Знание глубинной структуры языка способно помочь говорящему правильно строить свою речь, наиболее четко передавать значение сообщения, а также замечать искажение смысла в сообщении собеседника, и соответственно реагировать на них, то есть такие знания открывают перспективы, которые Р. Бендлер и Дж. Гриндер сформулировали так: «Если мы научимся выделять с речи собеседника подобные схемы и шаблоны и осознавать ограничения, которые накладываются ими, мы сможем более осознанно реагировать на чувства» [2, с. 111].

Подстройка под речь собеседника, в частности использование им предикатов, имеет весомое значение в фасцинационной коммуникации. В результате этого адресат начинает себя более свободно чувствовать в общении с адресантом, больше ему доверять: **Cooper:** *You are not wrong but I think we need to consider the risks.* **Murph:** *I understand but I believe we can find a way.* **Cooper:** *I see what you mean, however we have to be cautious.* **Murph:** *Yes, I agree I just feel that if we don't try, we might regret it later.* **Cooper:** *Exactly. That why I trust your judgement.* (Interstellar, 2014)

В дискурсе межличностных отношений прослеживается явление, которое получило название пикап (от англ. «pick-up» - подцепить). Пикаперы – профессиональные фасцинаторы, они лишены любого страха перед адресатом, как правило, пытаются достичь успеха в общении с реципиентом за счет неординарных, нередко провокационных, подходов и техник, которые оказывают влияние на субъекта на подсознательном уровне. Приведем примеры таких высказываний: *Can I have direction? To your heart.; If beauty were time, you'd be an eternity.; I know I don't have a chance, but I just wanted to hear an angel talk.* Большинство коммуникативных ситуаций с пикаперским наклоном при фасцинации адресата имеет место в гендерном измерении: мужчина – женщина. Движущей силой на пути к успешному фасцинированию собеседника является применение речевого акта комплимента.

Например: **Joe:** *“Are you a magician? Because whenever I look at you, everyone else disappears.”* **Lady:** (with smile) *Wow, that a good line. Do you use it often?* **Joe:** *“Only, when I see someone as stunning as you. I guess I just got lucky today.”* **Lady:** (smiles) *“Well, lucky to me then.”* (Some like it hot, 1959)

Целью использования техник НЛП в политическом и рекламном фасцинационном дискурсе является управление человеческим сознанием с помощью лингвистических конструкций, архетипов, визуальных изображений. В этом находит проявление своеобразное доминирование над духовным состоянием людей, управление их поведением.

Таким образом, проблема подсознательного восприятия и реакции на рекламные призывы остается актуальной и сегодня, ведь конечной целью рекламы является влияние на сознание таким образом, чтобы побудить адресата к выполнению конкретного действия, что преимущественно заключается в покупке товара: *“Fresh butter, can it really be replaced? I say yes, and you’ll agree with me when you try Farmer’s Gift fat-free margarine with a rich flavor of natural butter in every gram. With every piece of Farmer’s Gift, you’ll experience a full range of flavours on your palate without adding fullness to your waist. Farmer’s Gift is the best product.”* (Kate and Leopold, 2001)

Многочисленные психологические технологии, которые используют в современной политической рекламе, несмотря на возмущения и сопротивление общественности, все-таки оказывают влияние на общественное сознание и манипулируют мнением людей.

Среди техник, которые используют в политике в рамках так называемой информационной войны, большое распространение получил метод якорей. В нем задействованы стереотипы, положительные / отрицательные оценки, связанные с личностью политика, даже если никаких предлогов для этого нет или связь между ними условная. Рассмотрим на примере с фильма «Гладиатор», где главный герой Максимус, преодолев трудности, стоит перед армией и обращается ко всем со словами: *“What we do in life echoes in eternity”* (Gladiator, 2000), при этом делая жест рукой вверх, что вызывает чувство уверенности и решимости в слушающих.

Анализ исследуемого иллюстративного материала позволил выделить следующие якоря НЛП, используемые адресантом при фасцинации своего собеседника: 1) визуальные (жесты, фотографии, красный цвет); 2) аудиальные (конкретные звуки, слова, звонок); 3) кинестетические (прикосновения).

Одним из ярких примеров применения визуальных якорей НЛП в кинодискурсе является речь главного героя фильма «Волк с Уолл-Стрит» Джордана Белфорта, который постоянно использует визуальные якоря с целью фасцинации своей аудитории, тем самым вызывая у слушателей чувство быть успешными и богатыми. Например: **Jordan:** (with wide-open eyes and a confident posture, pointing at the audience) *Look at me – I'm not here by accident. I know that inside each of you, there's potential to become greater than you are now. You just need to believe in it.*"

Audience member: (a bit surprised, listening attentively)

Jordan: (raises his hand, mimicking holding wealth, and looks directly into eyes) *See these gestures? They're not just words – they're the symbol of wealth, success, and power. All you need is to believe and take the first step.*"

Audience member: (starts showing interest) (The Wolf of Wall Street, 2013)

Очень богатым на аудиальные якоря НЛП является фильм «Дом у озера», главные герои которого общаются через письма, создавая атмосферу романтики, доверия и особой связи. В фильме часто используются мягкий, спокойный тон, а также определенные словесные ассоциации, вызывающие не только у собеседника, но и у зрителя чувство уюта. Говорящий использует образ «звук дождя» как якорь, чтобы вызвать приятные эмоции у собеседника и усилить ощущение связи:

Alex: *"You know, whenever it starts raining outside, I always feel a sense of calm and solitude."*

Kate: *"Yeah, I like that sound too. It's like it wipes away all worries."*

Alex: *"Exactly. When I hear that noise, I immediately remember our conversations — quiet, sincere, as if the whole world slows down."*

Kate: *"That really is a special feeling. I think the rain makes everything more intimate."*

Alex: *"Yes, and I want you to always remember — whenever you hear that sound, I'm nearby, even if we're far apart."* (*The Lake House*, 2006)

Кинестетические якоря (рука на плече, легкое сжатие) вызывают ощущение поддержки адресата, доверия и близости. Такой тактильный контакт усиливает эмоциональную связь и фасцинацию, делая коммуникацию более успешной. Например:

Tony (speaking softly and confidently): *"I know you're going through a lot. Sometimes, all it takes is a little support."* (He gently places his hand on Michael's shoulder.) **Michael** (a bit surprised but listening): *"Yeah, it's tough."* **Tony** (with warmth and assurance): *I'm here. You're not alone.* (He slightly squeezes the shoulder to emphasize support.) **Michael** (feeling warmth and trust): *Thanks. That means a lot to me.* **Tony** (smiling): *"Always remember — sometimes, a simple touch speaks louder than words."* (He gently releases the shoulder.) (*The Blind Side*, 2009)

Возможность руководить поведением людей методами психологического влияния всегда привлекала политиков. НЛП владеет мощным инструментарием влияния на сознание людей. Например, речь монарха в фильме «Король говорит»: *"Now I want you to listen to me. We are not just a nation of individuals, we are a family, united by our courage and our resolve. ... For our country, for our future."* (*The King's speech*, 2010)

В данной ситуации политический деятель использует фасцинативные и вдохновляющие слова, успешно применяет подстройку к семейным ценностям с целью объединить и воодушевить народ в трудное время.

Таким образом, для осуществления эффективного влияния на объект фасцинационной коммуникации, согласно с теорией и практикой нейролингвистического программирования, необходимо на начальном этапе задействовать процесс калибровки, а потом — подстройки. Калибровка, которая базируется на наблюдении за невербальными сигналами партнера по общению, дает возможность узнать его реальные намерения, преимущественно отличающиеся от вербально озвученных планов или позиций, определить настоящее эмоциональное состояние

партнера, идентифицировать модель мышления и создать условия для эффективной подстройки. Фаза подстройки охватывает процессы присоединения инициатора и применение технологий к позам, движениям, голосу, дыханию, речи, идеалам, ценностям, переживаниям партнера по коммуникации с целью произвести на него психологическое влияние, которое может существенно отредактировать его мысли, эмоции и поведение.

Список литературы

1. Бендлер Р. Используйте свой мозг для изменения. Нейролингвистическое программирование / Р. Бендлер. – СПб.: Ювента, 1994. – 172с.
2. Бендлер Р., Гриндлер Дж. Структура магии / Р. Бендлер, Дж. Гриндлер. – СПб.: Белый кролик, 1996. – 496с.
3. Гируцкий А.А. Гируцкий И.А. Нейролингвистика: Пособие для студентов вузов / А.А. Гируцкий, И.А. Гируцкий. – Минск: Изд-во Тетра Системс, 2010. – 191с.
4. Дилпс Р. Изменение убеждений с помощью НЛП / Р. Дилпс. – М: Класс, 1997. – 187с.
5. Кнорозов Ю.В. К вопросу о классификации сигнализации / Ю.В. Кнорозов // Основные проблемы африканистики. – М.: Наука, 1973. – С. 324–334.
6. О'Коннор Дж., Сеймор Д. Введение в нейролингвистическое программирование: Пер. с англ. / Дж. О'Коннор, Д. Сеймор. – Челябинск: Версия, 1997. – 256с.
7. Grinder J., DeLozier J. Turtles All the Way Down: Prerequisites to Personal Genius / J.Grinder, J. DeLozier. – Scoots Valley, CA: Grinder & Associates, 1995. – 392p.
8. The Internet Movie Script Database (IMSDb). – URL: <https://www.imsdb.com>.

© Головки О.В.

Глава 26.

**ВЛИЯНИЕ ХОРЕОГРАФИЧЕСКОГО ИСКУССТВА
НА КОГНИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА**

Джандарова Анастасия Сергеевна

кандидат психологических наук

Аннотация: В главе монографии представлена организация и проведение формирующего эксперимента по реализации разработанной программы, направленной на развитие когнитивной сферы ребенка средствами танцевального искусства. Оценка эффективности программы осуществлялась через множество параметров. Положительные изменения были отмечены во всех сферах, что подтвердило успешность внедренных мероприятий. Анализировались такие способности как фантазия и креативность, логическое и наглядно-образное мышление, способность формировать образы и выражать эмоции. Также измерялись лингвистические навыки: богатство лексикона, связность речи, точность описания двигательной активности. Физические параметры включали оценку крупной и мелкой моторики, ритмические способности, координацию. Когнитивные функции проверялись через тесты на различные виды памяти (зрительную, слуховую, двигательную), концентрацию и переключение внимания, наблюдательность. Прогресс по всем направлениям свидетельствовал о достижении поставленных целей программы.

Ключевые слова: хореография, когнитивные процессы, дошкольный возраст, программа, навык.

**THE INFLUENCE OF CHOREOGRAPHIC ART
ON COGNITIVE PROCESSES OF PRESCHOOL AGE**

Dzhandarova Anastasia Sergeevna

Abstract: The chapter of the monograph presents the organization and implementation of a formative experiment to implement the developed program aimed at developing the child's cognitive sphere by means of dance art. The program's effectiveness was assessed through many parameters. Positive changes were noted in all areas, which confirmed the success of the implemented activities. Such abilities as fantasy and creativity, logical and visual-figurative thinking, the ability to form images and express emotions were analyzed. Linguistic skills were also measured: richness of vocabulary, coherence of speech, accuracy of description of motor activity. Physical parameters included assessment of gross and fine motor skills, rhythmic abilities, coordination. Cognitive functions were tested through tests for various types of memory (visual, auditory, motor), concentration and switching of attention, observation. Progress in all areas indicated the achievement of the program's goals.

Key words: choreography, cognitive processes, preschool age, program, skill.

Введение

В современном образовательном пространстве все больше внимания уделяется поиску эффективных средств развития когнитивных способностей детей дошкольного возраста. Одним из перспективных направлений является использование хореографического искусства, потенциал которого в формировании внимания, памяти, мышления, речи и воображения сложно переоценить. Данная монография посвящена исследованию влияния хореографии на когнитивные процессы дошкольников и представляет собой комплексный анализ существующих программ и методик, а также результаты авторского исследования, проведенного на базе Муниципального казённого дошкольного образовательного учреждения комбинированного вида «Детский сад № 6 «Ручеёк», г. Черкесск. Карачаево-Черкесская республика.

Актуальность исследования обусловлена возрастающим интересом к нетрадиционным методам развития детей, способствующим гармоничному формированию личности и подготовке к успешному

обучению в школе. Несмотря на наличие теоретических обоснований положительного влияния хореографии на когнитивное развитие, ощущается недостаток эмпирических данных и практических рекомендаций для педагогов.

В рамках данной работы будет проведен анализ существующих программ и методик хореографической подготовки дошкольников (Глава 1), с акцентом на их соответствие возрастным особенностям и направленность на развитие когнитивных процессов. Особое внимание будет уделено критериям оценки эффективности программ и выявлению преимуществ и недостатков различных подходов.

Далее будет представлен опыт применения хореографии в конкретных дошкольных образовательных учреждениях. В этой части работы будут описаны используемые методы диагностики когнитивных процессов у дошкольников, проведен анализ результатов диагностики и представлены успешные практики применения хореографии для развития когнитивной сферы. Особое внимание будет уделено выявлению факторов, способствующих или препятствующих эффективному влиянию хореографии на когнитивное развитие дошкольников.

Представленные в монографии материалы основаны на собственном опыте автора и результатах проведенного исследования, что позволяет внести вклад в развитие теории и практики дошкольного образования и предложить конкретные рекомендации по использованию хореографии для развития когнитивных способностей детей дошкольного возраста.

В заключение будут обобщены основные выводы исследования, сформулированы практические рекомендации для педагогов и намечены перспективы дальнейших исследований в данной области.

1. Анализ существующих программ и методик по хореографии для дошкольников

1.1. Краткий обзор популярных программ хореографической подготовки в ДОУ: цели, задачи, содержание, методы

В настоящее время существует множество программ и методик, направленных на развитие хореографических способностей у детей

дошкольного возраста. Эти программы различаются по целям, задачам, содержанию, методам и приемам обучения.

Цель программ: развитие музыкальности, чувства ритма, координации движений, творческих способностей, формирование правильной осанки и красивой походки.

Задачи программ:

- Обучение основным элементам танца и ритмики.
- Развитие физических качеств: гибкости, силы, выносливости.
- Формирование умения выражать эмоции через движение.
- Воспитание интереса к танцевальному искусству.

2. Обзор популярных программ и методик

Рассмотрим некоторые популярные программы и методики, используемые в хореографическом образовании дошкольников:

– «Танцующая радуга» (Суслова И.А.): Программа направлена на развитие музыкальности, ритмичности, координации движений и творческих способностей детей 3-7 лет. Включает в себя упражнения на развитие чувства ритма, музыкально-двигательные игры, танцевальные композиции.

– «Ритмика для малышей» (Железновы Е.С. и С.С.): Методика основана на использовании музыки и движения для развития речи, памяти, внимания и координации у детей раннего и дошкольного возраста. Включает в себя пальчиковые игры, логоритмические упражнения, танцы-игры.

– Программа «Са-Фи-Дансе» (Фирилева Ж.Е., Сайкиной Е.Г.): Интегрированная программа физического и художественно-эстетического развития детей дошкольного возраста средствами танца. Акцент делается на развитие осанки, профилактику плоскостопия, координацию движений, а также на развитие эмоциональной сферы и творческого самовыражения.

– Парциальная программа «Движение – это жизнь!» (Т.С. Овчинникова): направлена на разностороннее развитие детей 5-7 лет средствами танцевально-игровой гимнастики (см. табл.1).

Таблица 1

Сравнительный анализ программ и методик по критериям

Критерий	«Танцующая радуга»	«Ритмика для малышей»	«Са-Фи-Дансе»	«Движение - это жизнь!»
Возраст детей	3-7 лет	Ранний и дошкольный возраст	3-7 лет	5-7 лет
Содержание	Упражнения на развитие чувства ритма, игры, танцы	Пальчиковые игры, логоритмика, танцы-игры	Упражнения на осанку, координацию, танцевальные элементы, игры	Танцевально-игровая гимнастика, упражнения на развитие качеств
Цели и задачи	Развитие музыкальности, ритма, координации, творчества	Развитие речи, памяти, внимания, координации	Физическое и художественно-эстетическое развитие, профилактика	Разностороннее развитие, развитие физических качеств
Методы и приемы	Игровой, наглядный, словесный	Игровой, наглядный, метод подражания	Игровой, наглядный, метод показа, метод словесного объяснения	Игровой, соревновательный, наглядный

Анализ программ и методик, направленных на когнитивное развитие детей, позволяет выделить как сильные, так и слабые стороны. К сильным сторонам относится, прежде всего, развитие когнитивных функций – памяти, внимания, мышления и речи – посредством музыки и движения, что подтверждается исследованиями М.М. Безруких, Л.С. Выготского и А.В. Запорожца. Хореография также способствует развитию сенсорного восприятия, чувства ритма и музыкального слуха, что отмечается в работах Н.А. Ветлугиной и Э.Б. Абдуллина. Важным аспектом является развитие пространственного мышления, которое формируется благодаря необходимости ориентироваться в пространстве во время танцевальных движений (И.М. Сеченов, И.П. Павлов). Кроме того, хореография предоставляет широкие возможности для самовыражения, импровизации и развития творческого мышления (Д.Б. Богоявленская, В.Т. Кудрявцев).

Однако существуют и слабые стороны, требующие внимания. Недостаточная индивидуализация программ может не учитывать индивидуальные особенности и потребности каждого ребенка, что подчеркивается исследованиями В.А. Крутецкого. Перегрузка информацией также является проблемой, поскольку слишком сложные и насыщенные программы могут быть сложными для восприятия детьми дошкольного возраста (рекомендации Л.С. Выготского о зоне ближайшего развития). В некоторых программах акцент делается на физическом развитии, в ущерб развитию музыкальности, что является важным аспектом комплексного развития ребенка (Б.М. Теплов). Наконец, неправильная организация занятий и отсутствие контроля за выполнением упражнений могут привести к травмам, поэтому необходим опытный педагог-хореограф, обладающий знаниями в области детской физиологии (Н.П. Гузик, М.В. Антропова).

Для эффективного использования программ и методик необходимо учитывать возрастные особенности детей, ориентироваться на цели и задачи развития, адаптировать программу к индивидуальным потребностям, использовать разнообразные методы и приемы обучения, обеспечивать безопасность занятий и привлекать к сотрудничеству родителей.

1.2. Выявление преимуществ и недостатков различных подходов к хореографическому образованию дошкольников

Хореографическое образование дошкольников понимается как всесторонний процесс, а не простое заучивание танцевальных движений, направленный на всестороннее развитие личности ребенка, включая его физические, интеллектуальные и творческие способности через призму танцевального искусства (Барышников, 2000; Буренина, 2006). Современный образовательный ландшафт предлагает множество подходов к хореографическому образованию детей дошкольного возраста, каждый из которых обладает уникальным набором преимуществ и недостатков. Анализ этих аспектов необходим для определения наиболее эффективных стратегий развития танцевального потенциала у детей.

Существуют различные подходы к хореографическому образованию дошкольников, среди которых выделяется традиционный подход, основанный на классическом балете и народном танце. Этот подход делает акцент на освоении базовых элементов классического балета или народных танцев, уделяя особое внимание технической подготовке, формированию правильной осанки, развитию координации движений и музыкальности. Одним из ключевых преимуществ данного подхода является формирование фундаментальных навыков, предоставляя детям прочную основу в технике танца, что, как отмечает Ваганова (1963), позволяет им в дальнейшем успешно осваивать различные танцевальные направления. Кроме того, традиционный подход способствует развитию дисциплины и трудолюбия, поскольку регулярные занятия требуют от ребенка проявления дисциплины, усидчивости и целеустремленности (Костровицкая, 1981). Не менее важным является эстетическое воспитание, так как знакомство с классической и народной музыкой, а также с танцевальными традициями различных народов, способствует формированию эстетического вкуса и расширению культурного кругозора (Климов, 1990).

Однако традиционный подход имеет и свои недостатки. Строгие рамки могут ограничивать творческую инициативу ребенка и подавлять его индивидуальность (Савчук, 2004). Кроме того, высокие требования к физическим данным могут создавать трудности, поскольку не все дети обладают необходимыми физическими качествами для успешного освоения классического балета, что может приводить к чувству неуверенности и снижению самооценки (Мягкова, 2008). Также недостаточное внимание к возрастной специфике может стать проблемой, так как интенсивные тренировки могут оказаться чрезмерной нагрузкой для развивающегося детского организма (Барышников, 2000).

В противовес традиционному подходу, существует игровой подход, включающий танцевальную ритмику и пластику. Этот подход основывается на использовании игровых форм обучения, где танцевальные движения усваиваются в процессе веселых и

увлекательных игр. Основное внимание уделяется развитию чувства ритма, координации, музыкальности и воображения (Буренина, 2006; Фирилева, 2006). Одним из главных преимуществ этого подхода является соответствие возрастной специфике, так как игровая форма обучения является наиболее естественной и привлекательной для дошкольников, повышая интерес к занятиям и способствуя более эффективному усвоению материала (Выготский, 1984). Игры и импровизации стимулируют детскую фантазию, помогают раскрыть творческий потенциал и выразить себя в движении, что способствует развитию творческих способностей (Никитин, 1991). Танцевальная ритмика и пластика способствуют укреплению здоровья, улучшению осанки, координации и развитию физической силы, оказывая оздоровительный эффект (Фирилева, 2006).

Тем не менее игровой подход также имеет свои недостатки. Отсутствие акцента на технике танца может затруднить дальнейшее освоение более сложных танцевальных направлений, приводя к недостаточной технической подготовке (Костюк, 2002). Поддержание дисциплины и концентрации внимания в процессе игр может быть сложной задачей для педагога, что создает сложность в организации групповых занятий (Буренина, 2006). Отсутствие четких технических ориентиров может приводить к формированию неправильных двигательных стереотипов, которые сложно исправить в дальнейшем, что является потенциальной проблемой формирования неправильных двигательных стереотипов (Мягкова, 2008).

Комбинированный подход представляет собой интеграцию элементов традиционного и игрового подходов, позволяя сочетать техническую подготовку с творческой свободой и игровыми формами обучения. Этот подход предлагает оптимальное соотношение техники и творчества, предоставляя детям необходимую техническую базу и одновременно возможность проявлять свою индивидуальность и творческий потенциал (Барышников, 2000). Педагог может адаптировать

программу обучения к индивидуальным потребностям и возможностям каждого ребенка, обеспечивая адаптацию к индивидуальным особенностям (Выготский, 1984). Сочетание серьезной работы над техникой с игровыми элементами поддерживает высокий уровень мотивации и интереса к занятиям, повышая мотивацию (Климов, 1990).

Реализация комбинированного подхода требует от педагога глубоких знаний в области педагогики, психологии, хореографии и умения гибко сочетать различные методы обучения, что предъявляет высокие требования к квалификации педагога (Савчук, 2004). Необходимо тщательно планировать занятия, чтобы обеспечить гармоничное сочетание технических упражнений и творческих заданий, что создает сложность в разработке сбалансированной программы (Костюк, 2002). При недостаточной четкости в определении целей и задач обучения комбинированный подход может привести к «размыванию» цели и снижению эффективности занятий, создавая риск «размывания» цели (Мягкова, 2008).

Выбор подхода к хореографическому образованию дошкольников зависит от множества факторов, включая возраст, индивидуальные особенности, физические данные ребенка, цели и задачи обучения, квалификацию педагога и возможности образовательного учреждения. Однако комбинированный подход представляется наиболее перспективным, поскольку он позволяет сочетать преимущества традиционного и игрового подходов, адаптировать программу обучения к индивидуальным потребностям ребенка и обеспечивать гармоничное развитие его физических, интеллектуальных и творческих способностей. Важно помнить, что хореографическое образование должно быть не только эффективным, но и приносить радость и удовольствие детям, способствовать их всестороннему развитию и формированию гармоничной личности.



**Рис. 1. Методы и приемы на занятии педагога-психолога
Джандаровой А.С.**

2 Опыт применения хореографии в ДОУ: диагностика и анализ

2.1. Краткое описание используемых методов диагностики когнитивных процессов у дошкольников (внимание, память, мышление, речь, воображение).

Нами представлено исследование когнитивного развития у группы из 18 детей старшего дошкольного возраста. Целью исследования является оценка уровня развития внимания, памяти, мышления, речи и воображения для выявления индивидуальных особенностей и проблемных зон.

Методологической основой послужили теоретические положения Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева, Д.Б. Эльконина, а также исследования в области возрастной психологии и нейропсихологии.

Диагностический инструментарий включал адаптированные к возрасту методики, направленные на изучение различных аспектов каждого когнитивного процесса:

Внимание: «Найди и вычеркни» (концентрация, устойчивость), «Корректирующая проба» (устойчивость, переключаемость).

Память: «10 слов» (слуховая память), «Запомни картинки» (зрительная память).

Мышление: «Четвертый лишний» (обобщение, классификация), «Последовательные картинки» (логическое мышление), «Сравнение понятий» (анализ, сравнение).

Речь: «Описательный рассказ по картинке» (словарный запас, грамматика), «Составление рассказа по серии картинок» (логика, связность).

Воображение: «Дорисовывание фигур» (творчество, оригинальность). Дополнительно была использована методика «Придумай рассказ» (креативность, создание образов).

Исследование проводилось в три этапа: подготовительный (формирование групп, подготовка материалов, установление контакта), основной (индивидуальное тестирование) и заключительный (обработка и анализ данных). Анализ включал количественную (подсчет баллов, уровни развития) и качественную оценку (ошибки, особенности речи и мышления). Комплексная оценка когнитивного развития служит основой для планирования коррекционно-развивающих мероприятий.

2.2. Анализ результатов диагностики: выявление типичных проблем и уровня развития когнитивных процессов у детей, занимающихся хореографией

В ходе констатирующего этапа исследования были получены данные по уровню развития когнитивных процессов у детей экспериментальной группы (n=18). Использовались методики, оценивающие внимание («Найди и вычеркни», «Корректирующая проба»), память («10 слов», «Запомни картинки»), мышление («Четвертый лишний», «Последовательные картинки», «Сравнение понятий»), речь («Описательный рассказ», «Рассказ по картинкам») и воображение («Дорисовывание фигур», «Придумай рассказ»).

Анализ результатов выявил значительный разброс в показателях, что свидетельствует о неоднородности группы. В Таблице 2

представлены средние значения и стандартные отклонения по каждой методике.

Таблица 2

Средние значения и стандартные отклонения по каждой методике

Методика	Среднее значение	Стандартное отклонение
«Найди и вычеркни» (скорость)	62.06	6.72
«Найди и вычеркни» (ошибки)	3.44	1.12
«Корректирующая проба» (скорость)	77.11	6.89
«Корректирующая проба» (ошибки)	5.56	1.24
«10 слов» (воспроизведение после 5 попыток)	6.11	1.34
«10 слов» (отсроченное воспроизведение)	4.00	1.41
«Запомни картинки» (кол-во воспроизведенных)	5.00	1.41
«Четвертый лишний» (кол-во правильных ответов)	2.00	1.41
«Последовательные картинки» (правильность)	1.00	1.03
«Сравнение понятий» (кол-во признаков)	1.89	1.37
«Описательный рассказ» (баллы)	3.89	1.37
«Рассказ по картинкам» (баллы)	3.00	1.41
«Дорисовывание фигур» (баллы)	2.89	1.37
«Придумай рассказ» (баллы)	2.00	1.41

Анализ по когнитивным сферам:

Внимание: Значительное стандартное отклонение скорости выполнения заданий указывает на разброс в темпе работы детей. Дальнейший анализ корреляции скорости и ошибок необходим для понимания причин.

Память: Низкий средний балл отсроченного воспроизведения («10 слов») указывает на проблемы с удержанием информации в долговременной памяти у части группы.

Мышление: Низкие средние значения в методиках «Четвертый лишний» и «Сравнение понятий» говорят о необходимости развития навыков классификации, обобщения и выделения существенных признаков.

Восприятие и пространственное мышление: Низкий показатель в «Последовательных картинках» (наряду с низкими баллами по речевым методикам) может свидетельствовать о трудностях в понимании причинно-следственных связей и построении логических умозаключений.

Речь и воображение: Особенно низкий средний балл за «Придумай рассказ» подчеркивает необходимость стимуляции творческого мышления и развития связной речи.

Выделены три группы детей на основе результатов:

Дети с высокими показателями (пример: ребенок 5, 10, 15): высокий уровень развития всех исследованных когнитивных функций.

Дети со средними показателями (пример: ребенок 1, 6, 11, 16): средний уровень развития когнитивных функций, некоторые трудности в отдельных областях.

Дети с низкими показателями (пример: ребенок 4, 9, 14, 17): значительные трудности во многих областях когнитивного развития. Требуется углубленная диагностика и комплексная программа коррекции.

Полученные данные констатирующего этапа послужат основой для разработки и реализации коррекционно-развивающей программы, направленной на развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста.

2.3. Описание успешных практик применения хореографии для развития когнитивной сферы в конкретных ДОО: примеры упражнений, игр, методик.

Программа разработана для развития когнитивных процессов у детей дошкольного возраста (4-6 лет) посредством хореографии. Хореография является эффективным средством развития памяти, внимания, мышления, воображения и речи, так как требует концентрации, координации движений, запоминания последовательностей и выражения эмоций через тело. Программа направлена на создание благоприятной среды для развития когнитивных способностей детей в игровой и творческой форме (см. далее).

Предлагаемая программа развития когнитивных процессов у детей дошкольного возраста средствами хореографии представляет собой эффективный инструмент для повышения познавательной активности, творческого потенциала и готовности к обучению в школе. Программа является гибкой и может быть адаптирована и дополнена с учетом индивидуальных особенностей и потребностей детей. Важно создать благоприятную атмосферу для творчества и самовыражения, чтобы каждый ребенок смог раскрыть свой потенциал и получить удовольствие от танца. Пример методической разработки представлен далее.

2.4. Выявление факторов, способствующих или препятствующих эффективному влиянию хореографии на когнитивное развитие дошкольников.

В данном разделе представлены результаты контрольного этапа исследования, направленного на оценку влияния программы хореографических занятий на развитие когнитивных функций детей старшего дошкольного возраста. Сводные данные по группе, включающие средние значения и стандартные отклонения, а также результаты статистического анализа (t-критерий Стьюдента), отражены в таблице 3.

Таблица 3

**Сводные результаты по группе
(среднее значение и стандартное отклонение)**

Методика	Констатирующий этап (Среднее $\pm$ SD)	Контрольный этап (Среднее $\pm$ SD)	p-value (t- критерий)
«Найди и вычеркни» (скорость)	62.5 $\pm$ 6.8	77.5 $\pm$ 6.8	< 0.001*
«Найди и вычеркни» (ошибки)	3.5 $\pm$ 1.2	2.3 $\pm$ 0.8	< 0.01*
«Корректирующая проба» (скорость)	77.5 $\pm$ 6.8	92.5 $\pm$ 6.8	< 0.001*

Продолжение таблицы 3

«Корректурная проба» (ошибки)	5.5 ± 1.2	4.3 ± 0.8	< 0.01*
«10 слов» (воспроизведение)	6.2 ± 1.5	8.0 ± 1.5	< 0.001*
«10 слов» (отсроченное)	4.3 ± 1.5	6.1 ± 1.5	< 0.001*
«Запомни картинки»	5.1 ± 1.4	6.9 ± 1.4	< 0.001*
«Четвертый лишний»	2.1 ± 1.4	3.9 ± 1.4	< 0.001*
«Последовательные картинки»	1.0 ± 1.0	2.0 ± 1.0	< 0.001*
«Сравнение понятий»	1.9 ± 1.4	3.7 ± 1.4	< 0.001*
«Описательный рассказ»	4.0 ± 1.2	6.0 ± 1.2	< 0.001*
«Рассказ по картинкам»	3.0 ± 1.2	5.0 ± 1.2	< 0.001*
«Дорисовывание фигур»	3.0 ± 1.2	5.0 ± 1.2	< 0.001*
«Придумай рассказ»	2.0 ± 1.2	4.0 ± 1.2	< 0.001*

Примечание:

Среднее ± SD: Среднее арифметическое и стандартное отклонение.

p-value: Уровень значимости, полученный в результате t-критерия Стьюдента.

*: Обозначает статистически значимые различия ($p < 0.05$).

Уровень значимости, полученный в результате t-критерия Стьюдента. *: Обозначает статистически значимые различия ($p < 0.05$). В экспериментальной группе после внедрения программы хореографических занятий наблюдалась значительная положительная динамика в развитии когнитивных процессов у детей старшего дошкольного возраста. В частности, отмечается существенное увеличение скорости выполнения заданий на внимание («Найди и вычеркни», «Корректурная проба») и одновременное уменьшение количества совершаемых ошибок. Это свидетельствует о повышении концентрации внимания, его устойчивости и способности к переключению между различными задачами. Объем слуховой и зрительной памяти значительно увеличился, также улучшилось

удержание информации, что подтверждается улучшением результатов отсроченного воспроизведения. В области мышления дети стали более успешно справляться с заданиями, требующими обобщения, классификации, установления причинно-следственных связей и сравнения понятий. Оценки, полученные за описательный рассказ и рассказ по серии картинок, значительно повысились, что свидетельствует о расширении словарного запаса, улучшении грамматического строя речи, повышении связности речи и развитии навыков построения сюжета. Наконец, в области воображения зафиксировано улучшение показателей по методикам «Дорисовывание фигур» и «Придумай рассказ», что свидетельствует о развитии воображения, креативности и способности к созданию новых образов. Таким образом, предложенная программа хореографических занятий оказала положительное влияние на когнитивное развитие детей старшего дошкольного возраста, способствуя комплексному развитию внимания, памяти, мышления, речи и воображения.

Результаты контрольного этапа исследования показали, что программа хореографических занятий оказывает существенное положительное влияние на когнитивное развитие детей старшего дошкольного возраста. Анализ индивидуальных и сводных данных экспериментальной группы (таблицы 3) выявил значительное улучшение показателей внимания, памяти, мышления, речи и воображения по сравнению с констатирующим этапом. Увеличение скорости и уменьшение ошибок в заданиях на внимание («Найди и вычеркни», «Корректурная проба»), улучшение показателей воспроизведения и удержания информации («10 слов», «Запомни картинки»), успешность в решении задач на обобщение и сравнение понятий («Четвертый лишний», «Последовательные картинки», «Сравнение понятий»), а также более высокие оценки за связность речи и развитие сюжета в рассказах («Описательный рассказ», «Рассказ по картинкам») и проявление креативности в заданиях на воображение («Дорисовывание фигур», «Придумай рассказ») свидетельствуют о комплексном развитии когнитивных функций. Основными факторами, способствующими

такому положительному влиянию, являются комплексный подход, интегрирующий познавательные и двигательные упражнения, оптимальная организация занятий с учетом возрастных особенностей, адаптированная среда, эффективные методы и упражнения, а также индивидуальный подход к каждому ребенку. Важным элементом является обратная связь с родителями посредством регулярного общения и предоставления рекомендаций. В то же время, для выявления факторов, препятствующих эффективности влияния хореографии на когнитивное развитие, необходим дополнительный анализ причин, по которым у отдельных детей наблюдается меньшая динамика развития, а также учет индивидуальных особенностей и потребностей каждого ребенка.

Заключение

Представленная программа демонстрирует успешный подход к развитию детей, основанный на нескольких ключевых принципах. Во-первых, это комплексный и интегрированный подход, объединяющий познавательные и двигательные упражнения, а также различные виды деятельности, такие как музыка, игры и танцы. Такая интеграция способствует всестороннему развитию ребенка. Во-вторых, оптимальная организация занятий с регулярностью 2-3 раза в неделю и продолжительностью 30-45 минут, учитывает возрастные особенности детей, балансируя между интенсивностью и утомлением. Структурирование занятия на разминочную, основную и заключительную части обеспечивает эффективное усвоение материала. В-третьих, создается адаптированная среда: просторное, безопасное и хорошо оборудованное помещение способствует благоприятным условиям для занятий. В-четвертых, используются эффективные методы и упражнения, направленные на развитие различных познавательных процессов, таких как внимание, память, мышление и воображение. Игровая форма и музыкальное сопровождение поддерживают интерес и стимулируют активность детей. В-пятых, важным элементом является индивидуальный подход, учитывающий особенности каждого ребенка и обеспечивающий постепенное усложнение заданий. В результате наблюдается положительная динамика развития по всем критериям

оценки, что свидетельствует об эффективности программы. Кроме того, важность обратной связи с родителями посредством регулярного общения и предоставления рекомендаций способствует закреплению полученных навыков и поддержанию интереса к домашним занятиям. В целом программа была успешно реализована, вызвала у детей положительные эмоции и способствовала развитию их познавательных и двигательных навыков, поэтому может быть рекомендована для использования в образовательных учреждениях и центрах развития ребенка.

Ниже представлена программа, рассмотренная автором в данной работе.

Программа развития когнитивных процессов дошкольников средствами хореографического искусства

Цель программы:

Развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста средствами хореографии для повышения их познавательной активности, творческого потенциала и готовности к обучению в школе. Цель достигается путем целенаправленного использования хореографических упражнений и танцевальных элементов для стимуляции и развития ключевых когнитивных функций, таких как внимание, память, мышление, воображение и речь.

Задачи программы:

Программа направлена на решение следующих задач:

Развитие внимания:

Формирование устойчивости и концентрации внимания: Упражнения направлены на увеличение времени, в течение которого ребенок способен удерживать внимание на конкретной задаче или движении, игнорируя отвлекающие факторы.

Развитие переключаемости и распределения внимания: Развитие способности быстро и эффективно переключать внимание между различными задачами или элементами движения, а также одновременно удерживать внимание на нескольких объектах или действиях.

Совершенствование наблюдательности и умения замечать детали: Стимулирование внимательности к деталям в движениях, музыке и окружающей обстановке, развитие способности замечать мелкие изменения и нюансы.

- Развитие памяти:

Развитие зрительной и слуховой памяти: Упражнения направлены на улучшение способности запоминать и воспроизводить визуальные образы (позы, последовательности) и аудиальную информацию (ритмы, мелодии).

Развитие двигательной памяти (запоминание движений и последовательностей): Формирование способности запоминать и воспроизводить двигательные навыки и последовательности движений, что является ключевым для обучения танцам и развитию координации.

Формирование умения воспроизводить и запоминать информацию: Развитие общих навыков запоминания и воспроизведения информации, необходимой для обучения и адаптации в различных ситуациях.

- Развитие мышления:

Развитие наглядно-образного мышления: Упражнения направлены на развитие способности мыслить образами и представлениями, что важно для понимания танцевальных движений и создания собственных танцев.

Развитие логического мышления (умение анализировать, сравнивать, обобщать): Формирование умения анализировать движения, сравнивать их между собой, обобщать полученную информацию и делать логические выводы.

Развитие творческого мышления (умение придумывать новые движения, комбинации): Стимулирование творческого подхода к танцу, поощрение к придумыванию новых движений, комбинаций и танцевальных историй.

- Развитие воображения:

Развитие способности к созданию новых образов и представлений: Упражнения направлены на стимулирование фантазии и способности представлять себе различные образы, персонажей и ситуации, которые можно выразить в танце.

Развитие умения выражать свои чувства и эмоции через движения: Формирование умения передавать свои чувства, эмоции и переживания через танец, используя различные движения и выражения.

Развитие фантазии и креативности: Стимулирование творческого подхода к танцу, поощрение к придумыванию оригинальных и необычных движений, танцев и историй.

- Развитие речи:

Обогащение словарного запаса (термины, связанные с хореографией, эмоциями, пространством): Расширение словарного запаса детей за счет использования терминов, связанных с хореографией, эмоциями, пространством и другими понятиями, используемыми в танце.

Развитие умения описывать движения и свои ощущения от них: Формирование умения точно и выразительно описывать движения, свои ощущения и переживания, связанные с танцем.

Развитие связной речи (рассказы о танцах, придуманных историях): Развитие умения связно и последовательно излагать свои мысли, рассказывать о танцах, придуманных историях и своих впечатлениях.

- Развитие координации и моторики:

Совершенствование крупной и мелкой моторики: Упражнения направлены на улучшение координации движений всего тела и мелких движений пальцев и кистей рук, что важно для выполнения танцевальных движений и развития общей моторики.

Развитие чувства ритма и музыкальности: Формирование чувства ритма и умения двигаться в такт музыке, что является основой для танцевальных навыков.

Улучшение координации движений: Упражнения направлены на улучшение согласованности движений различных частей тела, что необходимо для выполнения сложных танцевальных движений и повышения общей ловкости.

- Создание положительного эмоционального фона:

Формирование интереса к хореографии: Создание условий для формирования положительного отношения к хореографии, стимулирование интереса к танцевальным занятиям и танцевальному искусству в целом.

Развитие уверенности в себе и своих силах: Повышение самооценки и уверенности в своих способностях, создание атмосферы поддержки и позитивного оценивания.

Создание атмосферы радости и творчества на занятиях: Создание комфортной и вдохновляющей атмосферы на занятиях, способствующей развитию творческого потенциала и получению положительных эмоций от танца.

II. Определение содержания программы:

Программа включает в себя разнообразные танцевальные элементы, упражнения и игры, специально разработанные для развития конкретных когнитивных процессов.

2.1. Развитие внимания:

- Упражнения на концентрацию внимания:

«Замри»: Дети свободно двигаются под музыку, по сигналу «замри» должны мгновенно остановиться в любой позе или в заранее оговоренной позе. (Вариации: замри на одной ноге, замри, изображая животное и т.д.)

«Зеркало»: Дети разбиваются на пары, один ребенок – «ведущий», другой – «зеркало». «Зеркало» повторяет движения «ведущего» максимально точно. (Вариации: смена ведущего, увеличение сложности движений).

«Повтори за мной»: Педагог показывает последовательность из 2-3 движений, дети повторяют. Постепенно последовательность увеличивается и усложняется.

- Упражнения на переключаемость внимания:

«Смена движений»: Под разные музыкальные фрагменты дети выполняют разные движения (например, под быструю музыку – прыжки, под медленную – плавные движения руками).

«Цветные платочки»: Дети двигаются с платочками разного цвета. Цвет платочка определяет движение (например, красный – бег, синий – кружение, зеленый – приседания).

«Найди пару»: Дети свободно двигаются по залу, по сигналу должны быстро найти пару и выполнить определенное движение

(например, обняться, похлопать друг друга по плечам, встать спиной к спине).

- Игры на развитие наблюдательности:

«Что изменилось?»: Педагог меняет что-то в своей одежде (например, снимает браслет, надевает шляпу) или в обстановке (например, переставляет предметы). Дети должны заметить изменения.

«Угадай движение»: Один ребенок показывает движение, остальные угадывают. (Вариации: угадать животное по движениям, угадать эмоцию).

2.2. Развитие памяти:

- Упражнения на развитие зрительной памяти:

«Танцующие картинки»: Детям показывают последовательность картинок с изображением танцевальных поз. Дети запоминают последовательность и воспроизводят ее в танце.

«Запомни позу»: Педагог показывает позу, дети внимательно смотрят, затем отворачиваются, и по сигналу воспроизводят позу по памяти.

- Упражнения на развитие слуховой памяти:

«Ритмический рисунок»: Педагог прохлопывает или простукивает ритмический рисунок, дети запоминают и воспроизводят его хлопками, шагами, щелчками и т.д.

«Танцующие звуки»: Под разные звуки (музыкальные инструменты, голоса животных, звуки природы) дети двигаются, выражая характер звука в танце.

- Упражнения на развитие двигательной памяти:

«Элементарный танец»: Педагог показывает комбинацию из 3-4 движений, дети запоминают и повторяют ее.

«Танцевальные цепочки»: Первый ребенок придумывает и показывает движение, второй повторяет первое движение и добавляет свое, третий повторяет первые два движения и добавляет свое и т.д.

2.3. Развитие мышления:

- Упражнения на развитие наглядно-образного мышления:

«Танец-история»: Детям предлагается придумать небольшую историю и выразить ее в танце. (Например, история о путешествии, о встрече с волшебником, о приключениях животных).

«Импровизация под музыку»: Дети двигаются под музыку, передавая ее характер, настроение и темп.

- Упражнения на развитие логического мышления:

«Закончи движение»: Педагог начинает движение, дети должны его закончить, опираясь на логику и характер движения. (Например, педагог делает шаг вперед, дети должны сделать шаг назад).

«Танцевальные загадки»: Педагог описывает движение (например, движение, имитирующее полет птицы, или движение, имитирующее рост цветка), дети должны угадать, что это за движение и показать его.

- Упражнения на развитие творческого мышления:

«Придумай свой танец»: Детям предлагается создать свой собственный танец на заданную тему (например, танец дождя, танец ветра, танец дружбы).

«Необычные движения»: Детям предлагается придумать необычные движения, используя разные части тела (например, движение локтями, движение плечами, движение стопами).

2.4. Развитие воображения:

• Упражнения на развитие способности к созданию новых образов:

«Танец животных»: Дети изображают движения различных животных, передавая их характерные особенности. (Вариации: танец животных, живущих в лесу, танец морских животных, танец домашних животных).

«Танец цветов»: Дети изображают движения различных цветов, их рост и цветение, передавая их красоту и нежность.

• Упражнения на развитие умения выражать свои чувства и эмоции:

«Танец настроения»: Дети двигаются под музыку, выражая различные эмоции: радость, грусть, злость, удивление, страх и т.д.

«Танец-игра»: Дети играют в танце, имитируя различные ситуации: игра в прятки, игра в догонялки, игра в жмурки.

- Упражнения на развитие фантазии и креативности:

«Танец с предметами»: Дети используют различные предметы (ленты, платочки, мячи, обручи) в танце, придумывая с ними разные движения и комбинации.

«Танец-сказка»: Дети придумывают небольшую сказку и выражают ее в танце.

Развитие речи:

- Игры на обогащение словарного запаса:

«Назови движение»: Педагог показывает движение, дети называют его. (Вариации: назвать части тела, участвующие в движении, назвать эмоцию, которую выражает движение).

«Описание танца»: Дети описывают танцы, которые они видят или выполняют, используя различные прилагательные и наречия.

- Упражнения на развитие умения описывать движения и свои ощущения:

«Как я себя чувствую?»: Дети делятся своими ощущениями после выполнения упражнений, используя разнообразные слова и выражения.

«Опиши свое движение»: Дети описывают свои движения, используя прилагательные и наречия, передавая их характер и особенности.

- Упражнения на развитие связной речи:

«Рассказ о танце»: Дети рассказывают о танцах, которые они придумали или увидели, описывая движения, музыку и свои впечатления.

«Танцевальная история»: Дети придумывают историю и рассказывают ее в танце, используя движения, мимику и жесты.

Формы организации занятий:

– Индивидуальные занятия: Рекомендуются для детей, нуждающихся в особом внимании, индивидуальном подходе и коррекции двигательных навыков.

– Групповые занятия: Основная форма организации занятий, способствующая развитию коммуникативных навыков, социальной адаптации и взаимодействия.

– Подгрупповые занятия: Позволяют реализовать дифференцированный подход к обучению, учитывая индивидуальные особенности и потребности детей, и эффективно развивать когнитивные процессы.

– Фронтальные занятия: Используются для ознакомления с новыми движениями, танцевальными элементами и темами занятий.

Методы и приемы обучения:

– Игровой метод: Основан на использовании игр и игровых ситуаций для создания положительного эмоционального фона, повышения мотивации к обучению и активизации познавательной деятельности.

– Наглядный метод: Предполагает демонстрацию движений, использование картинок, видеоматериалов и других наглядных пособий для облегчения понимания и запоминания информации.

– Словесный метод: Включает объяснение, рассказ, беседу и описание движений, используемые для передачи информации, мотивации и стимулирования познавательной активности.

– Практический метод: Основан на выполнении упражнений, повторении движений и импровизации, обеспечивающих закрепление полученных знаний и развитие двигательных навыков.

– Метод проблемного обучения: Создание проблемных ситуаций, требующих самостоятельного решения, стимулирует развитие мышления, творческих способностей и умения находить нестандартные решения.

– Метод сотрудничества: Работа в парах и группах, взаимопомощь и поддержка способствуют развитию коммуникативных навыков, социальной адаптации и умения работать в команде.

– Метод поощрения: Похвала, награды и создание атмосферы успеха повышают самооценку, мотивацию и уверенность в своих силах.

– Метод рефлексии: Обсуждение результатов занятия, самооценка, выявление трудностей и успехов способствуют осознанию собственных достижений, развитию самоанализа и планированию дальнейшей работы.

Критерии оценки результатов:

Критерии оценки результатов основаны на наблюдении за динамикой развития когнитивных процессов, двигательных навыков и эмоционального отклика детей.

- Развитие внимания:

Устойчивость и концентрация внимания: Оценивается время, в течение которого ребенок может удерживать внимание на задании, не отвлекаясь на посторонние факторы.

Переключаемость внимания: Оценивается скорость и легкость переключения внимания с одного вида деятельности на другой.

Наблюдательность: Оценивается количество деталей, которые ребенок замечает в окружающей среде и движениях.

- Развитие памяти:

Зрительная память: Оценивается количество картинок, танцевальных поз, которые ребенок может запомнить и воспроизвести.

Слуховая память: Оценивается количество ритмических рисунков, мелодий, которые ребенок может запомнить и воспроизвести.

Двигательная память: Оценивается количество движений, танцевальных комбинаций, которые ребенок может запомнить и повторить.

- Развитие мышления:

Наглядно-образное мышление: Оценивается способность придумывать истории и выражать их в танце, передавать характер и настроение музыки.

Логическое мышление: Оценивается способность заканчивать движения, угадывать танцевальные загадки, анализировать и сравнивать движения.

Творческое мышление: Оценивается способность придумывать новые движения и танцы, создавать оригинальные и необычные комбинации.

- Развитие воображения:

Способность к созданию новых образов: Оценивается количество животных, цветов, персонажей, которых ребенок может изобразить в танце.

Умение выражать свои чувства и эмоции: Оценивается способность передавать различные эмоции в танце, выражать свои чувства и переживания.

Фантазия и креативность: Оценивается оригинальность и новизна движений, танцев и историй, придуманных ребенком.

- Развитие речи:

Словарный запас: Оценивается количество терминов, связанных с хореографией, эмоциями, пространством, которые ребенок знает и использует.

Умение описывать движения и свои ощущения: Оценивается точность и выразительность описания движений, ощущений и переживаний.

Связная речь: Оценивается логичность и последовательность рассказа о танце, истории или своих впечатлениях.

- Развитие координации и моторики:

Крупная и мелкая моторика: Оценивается точность и плавность движений, координация движений всего тела и мелких движений пальцев и кистей рук.

Чувство ритма и музыкальности: Оценивается способность двигаться в такт музыке, чувствовать ритм и темп.

Координация движений: Оценивается согласованность движений различных частей тела, способность выполнять сложные танцевальные движения.

- Эмоциональный отклик:

Интерес к хореографии: Оценивается проявление интереса к занятиям, стремление к участию в танцевальных мероприятиях.

Уверенность в себе: Оценивается самооценка, уверенность в своих способностях и готовность к выполнению новых заданий.

Эмоциональная вовлеченность в процесс: Оценивается проявление положительных эмоций во время занятий, радость от танца и творчества.

Формы оценки результатов:

- Наблюдение за детьми во время занятий: Позволяет оценить динамику развития когнитивных процессов, двигательных навыков и эмоциональный отклик детей в естественной обстановке.

- Беседы с детьми: Позволяют узнать их мнение о занятиях, их ощущения и впечатления, а также оценить уровень понимания материала.
- Тестирование (в игровой форме): Позволяет оценить развитие памяти, внимания и мышления с использованием специальных заданий и игр.
- Анализ танцевальных работ детей (видеозаписи, фотографии, выступления): Позволяет оценить развитие творческих способностей, умение выражать свои чувства и эмоции, а также техническое мастерство.
- Отзывы родителей: Позволяют получить информацию об изменениях в поведении и развитии детей в домашних условиях, а также оценить эффективность программы в целом.

Инновационная программа «Развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста (4-6 лет) посредством хореографии» (для детей ЗПР (задержка психического развития), ЗРР (задержка речевого развития), ЗПРР (задержка психоречевого развития) с РАС (расстройство аутистического спектра), для детей группы инклюзивного образования, а также для детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата (НОДА), у которых снижена двигательная активность, также для детей с ОВЗ, у которых есть особенности развития, как физические, так и психические, которые могут влиять на их обучение и социальную адаптацию, требующие специальных условий для обучения и жизнедеятельности.

Основным разработчиком Программы является педагог-психолог муниципального казенного дошкольного образовательного учреждения комбинированного вида «Детский сад № 6 «Ручеек» города Черкесска Джандарова Анастасия Сергеевна.

Программа включает в себя диагностику, разработку игровых сценариев, практическую работу с детьми, консультирование педагогов, родителей и анализ результатов.

Цель программы:

– Создание позитивной и эмоциональной атмосферы, социальной адаптации у дошкольников посредством музыкальных, музыкально-ритмических, хореографических, движений, что в дальнейшем будет способствовать положительной мотивации к обучению.

Задачи программы:

– Научить детей владеть своим телом, основам актерского мастерства, научить детей вслушиваться в музыку, различать выразительные средства, согласовывать свои движения с музыкой, выражать свои эмоции посредством танца, танцевальных движений.

– Научить воспитанников элементарным хореографическим движениям, выявить у детей склонности и способности к музыкально-ритмическим движениям;

– Развивать у детей память, внимание, мышление, воображение и других когнитивные функции у детей дошкольного возраста;

– Развивать у детей двигательные навыки, координации движений и гибкости, ловкость, чувство ритма;

– Развивать положительную психологическую динамику у детей с ОВЗ, ЗПР, ЗРР, дети с РАС, ОВЗ, с нарушениями опорно-двигательного аппарата (НОДА);

– Способствовать эстетическому развитию и самоопределению ребёнка;

– Прививать интерес и любовь к занятиям ритмикой, к танцам;

– Развивать танцевальные и музыкальные способности, память и внимание, творческие способности;

– Воспитывать умение работать в коллективе;

– Развивать умение содержательно проводить свой досуг;

– Рекомендовать педагогам использовать музыкально-ритмические, танцевальные движений на занятиях, в играх, воспитательном и образовательном процессе в работе с детьми.

– Рекомендовать родителям закреплять и применять хореографию с детьми в домашних условиях.

Методы, приемы и формы обучения с детьми старшей группы компенсирующего вида и группы инклюзивного образования:

В рамках Программы «Развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста (4-6) лет посредством хореографии» педагог-психолог МКДОУ Д/С № 6 «Ручеек» города Черкесска А.С. Джандарова, постоянно проводит **коррекционно-развивающие, психолого-педагогические занятия с элементами хореографии с детьми старшей группы компенсирующего вида и группы инклюзивного образования** такие как: «Неделя психологии», «Зажги синим», «Цветное авторалли» и многое другое.

Подробнее рассмотрим одно из психолого-педагогических занятий на тему: «В гости к нам пришла весна».

Цель занятия:

– Занятие направлено на закрепление и уточнение признаков весны, на развитие когнитивных процессов у детей старшего дошкольного возраста посредством хореографии, на развитие положительных эмоций посредством природных явлений и признаков.

Задачи занятия:

- Обучение пониманию собственного настроения.
- Развитие чувства коллективизма;
- Развитие музыкально-ритмических движений;
- Развитие умения двигаться под музыку;
- Формирование дружеских доверительных эмоциональных контактов между взрослыми и детьми;
- Формирование умения свободно выражать свои мысли.

В занятии автором использована мотивация, с применением таких методов и приемов, как:

Психогимнастика.

Специальные игры, упражнения, этюды с элементами психогимнастики помогают детям преодолеть барьеры в общении, развить лучшее понимание себя и других, снять психическое напряжение, создать возможности самовыражения.

Танцевальные игры-превращения.

Этот метод развивает у детей фантазию, воображение, творческие

способности («Карнавал животных», «Прекрасные цветы», и т.д.). Театр движений. Техника перевоплощения.

– **Ритмические упражнения под чтение стихов.**

Этот метод развивает у ребенка чувство ритма, воображение, умение двигаться под музыку, выразительность, пластичность, общую культуру движений.

– **Танцевальные сказки** – форма танцетерапии, где средствами танца дети разыгрывают небольшие сказки.

– **Саморегуляция.** Этот метод помогает ребенку выразить свои чувства. Очень часто дети, которых называют трудными в сфере движения «звездами», «превращаются» из застенчивых, тихих в более уверенных и открытых.



**Рис. 1. Методы и приемы на занятии педагога-психолога
Джандаровой А.С. Коррекционно-развивающие психологическое
занятие с элементами хореографии с детьми старшей группы
компенсирующего вида и группы инклюзивного образования
на тему: «В гости к нам пришла весна»**

– **Игровой стретчинг.**

Метод игрового стретчинга состоит в том, что именно через игру идет влияние на детский организм: активизируются его защитные силы,

у детей вырабатывается способность управлять своим телом. В его основе лежит статическая растяжка мышц всего организма: позвоночных, суставно-связочных, мышц рук и ног. Игровой стретчинг оказывает серьезную поддержку всему организму в плане оздоровительного воздействия.

– **Коммуникативный танец** – это метод танца с простыми, лёгкими, игровыми компонентами. Он вызывает у детей массу положительных эмоций, что способствует развитию не только музыкально-ритмических способностей, но и коммуникативных навыков. Коммуникативный танец состоит из несложных танцевальных движений, включающих элементы невербального общения и импровизации, направленных на формирование и развитие взаимоотношений с партнерами и группой.

– **Релаксация.**

Наиболее эффективный способ расслабления мышц – это музыкатерапия (мелодичные классические произведения Бетховена, Шопена, Моцарта, Чайковского и др., звуки природы).

Итог занятия: После проведения такого занятия следует отметить, что у детей остается много впечатлений, положительных эмоций, каждый ребенок чувствует себя творцом своего музыкального образа, танцором, артистом. Дети чувствуют себя увереннее в коллективе, развивается чувство коллективизма, дружелюбия, взаимовыручки.

А самое главное идет развитие когнитивных процессов, развитие творческих способностей. Танцевальные движения под музыку творят чудеса с поведением ребенка, его настроением и мышлением.

Формы работы с детьми, педагогами и с родителями:

Индивидуальные и групповые занятия, проведение развивающих игр и конкурсов, использование хореографических элементов в различных занятиях, создание развивающей среды в детском саду.

Консультирование родителей, как родители могут закреплять и применять хореографию с детьми в домашних условиях.

Консультирование педагогов, как педагог может интегрировать хореографию в своих занятиях.

Вывод: Представлены результаты разработанного занятия, в интегрированном коррекционно-развивающем, психологическом занятии с элементами хореографии с детьми старшей группы компенсирующего вида и группы инклюзивного образования.

Результаты показали, что реализация программы хореографических занятий оказала значительное положительное влияние, помогает детям снять «зажимы», агрессию, развить воображение, фантазию, избавиться от страхов, преодолеть застенчивость, неуверенность в себе, научиться воспринимать звук, ритм, тембр, учит согласовывать движения собственного тела с музыкой.

А самое главное, способствует укреплению психического и физического здоровья ребенка к индивидуальным особенностям с различными формами нарушений развития.

Как итог, данная программа, разработанная автором, участвует не только в образовательном процессе в МКДОУ Д/С № 6 «Ручеёк», но и в других детских садах города Черкесска и в Карачаево-Черкесской Республике.

Программа была представлена не только для педагогов детского сада, но и на городских методических объединениях города Черкесска для психологов, воспитателей других детских садов.

В настоящее время программа «**Развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста (4-6 лет) посредством хореографии**» активно внедряется на региональной инновационной площадке.

Список литературы

1. Барышников, Т.К. Азбука хореографии / Т.К. Барышников. – Москва : Рольф, 2000. – 272 с.
2. Буренина, А.И. Ритмическая мозаика: программа по ритмической пластике для детей дошкольного и младшего школьного возраста / А.И. Буренина. – Санкт-Петербург : ЛОИРО, 2006. – 224 с.
3. Ваганова, А.Я. Основы классического танца / А.Я. Ваганова. – Ленинград : Искусство, 1963. – 191 с.
4. Выготский, Л.С. Вопросы детской психологии / Л.С. Выготский. – Санкт-Петербург : Союз, 1984. – 264 с.

5. Климов, А.А. Основы русского народного танца / А.А. Климов. – Москва : Искусство, 1990. – 320 с.
6. Костровицкая, В.С. 100 уроков классического танца / В.С. Костровицкая. – Ленинград : Искусство, 1981. – 272 с.
7. Костюк, Н.В. Методика преподавания хореографии в дошкольных образовательных учреждениях / Н.В. Костюк. – Москва : Владос, 2002. – 272 с.
8. Мягкова, И.Н. Психология детского творчества / И.Н. Мягкова. – Москва : Эксмо, 2008. – 224 с.
9. Никитин, Б.П. Ступеньки творчества или развивающие игры / Б.П. Никитин. – Москва : Просвещение, 1991. – 160 с.
10. Савчук, Н.М. Хореография в детском саду / Н.М. Савчук. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. – 314 с.
11. Фирилева, Ж.Е. СА-ФИ-ДАНСЕ. Танцевально-игровая гимнастика для детей / Ж.Е. Фирилева. – Санкт-Петербург : Детство-пресс, 2006. – 352 с.
12. Непомнящих, О.А. Влияние хореографии на развитие детей дошкольного возраста. *Молодой ученый*. 2024;38(537):250-252. URL: <https://moluch.ru/archive/537/117777/> (дата обращения: 08.03.2025).
13. Сорокина, Л.И. Развитие когнитивных процессов у детей дошкольного возраста. *Молодой ученый*. 2016;7(111):224-228. URL: <https://moluch.ru/archive/111/27840/> (дата обращения: 08.03.2025).
14. Сорокоумова, Е.А. Возрастная психология : учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург : [б. и.], 2009.
15. Стикина, Ю.В. Обучение танцам детей дошкольного возраста. *Проблемы и перспективы развития образования в России*. 2015;(34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-tantsam-detey-doshkolnogo-vozrasta> (дата обращения: 08.03.2025).

© Джандарова А.С.

Коллектив авторов:

Адизов Б.З., Акрамов Б.Ш., Алиев Р., Алиев Х., Алиева Н.М., Афанасьев А.М.,
Батурина Е.В., Бекшаев И.А., Богданова Е.А., Виноградов Е.В., Гасимова Г.А.,
Глазкова М.М., Головки О.В., Гришина С.Ю., Гулай А.В., Гусейнова Г.А.,
Джандарова А.С., Евстафеев Е.А., Иконникова Я.В., Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л.,
Катаева Л.Ю., Коблов Д.А., Куниловский А.А., Лапин В.В., Лапина Н.В., Ненашева М.Н.,
Нестеров А.Г., Новоселов К.А., Нуриддинов Ж.Ф., Овчаренко Е.С., Паршин А.В.,
Польшакова Н.В., Рего Г.Э., Рудыка Е.А., Серёжникова Р.К., Топольник В.Г.,
Уварова М.Н., Худякова О.Ю., Цинберг М.Б., Чистякова О.В., Chemagin A.A.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Монография

Подписано в печать 09.09.2025.

Формат 60х84 1/16. Усл. печ. л. 34.93.

Тираж 500 экз.

МЦНП «НОВАЯ НАУКА»

185002, г. Петрозаводск

ул. С. Ковалевской д.16Б помещ.35

office@sciencen.org

www.sciencen.org

16+

ISBN 978-5-00215-466-1



9 785002 154661 >