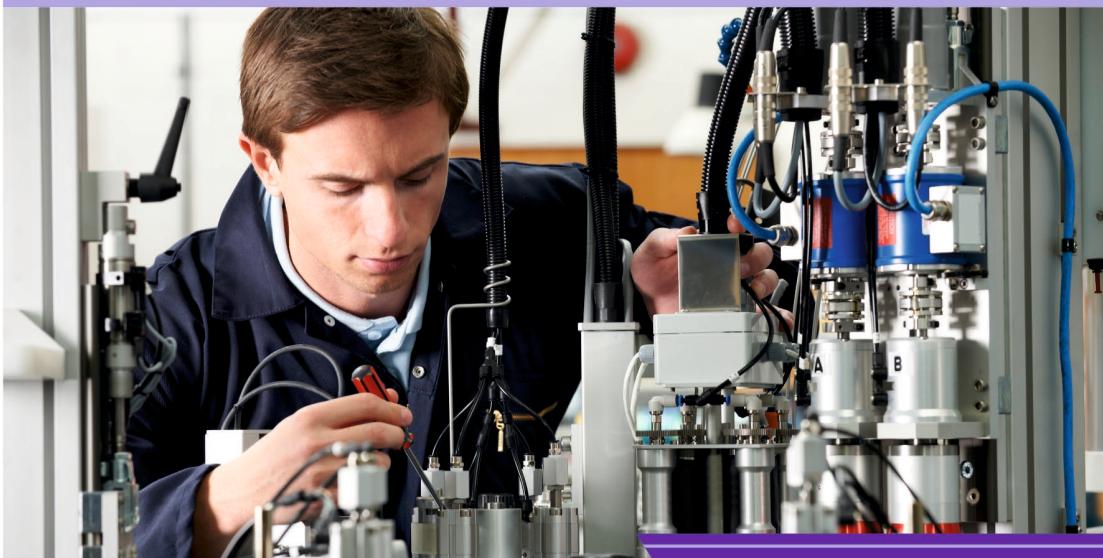




**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



**№1(92)**

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2026



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XСП международной  
научно-практической конференции*

№ 1 (92)  
Январь 2026 г.

Издаётся с декабря 2016 года

Москва  
2026

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редакционной коллегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Мартышкин Алексей Иванович* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы» Пензенского государственного технологического университета;

*Немирова Любовь Федоровна* – канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и технологии изделий легкой промышленности, ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», ООО «МИНСП»;

*Старченко Ирина Борисовна* – д-р техн. наук, профессор, эксперт РАН, зам. директора по учебно-научной работе, Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич* – д-р техн. наук, доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан, г. Ташкент.

**Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам ХСII междунар. науч.-практ. конф. – № 1 (92). – М.: Изд. «МЦНО», 2026. – 88 с.**

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 22+3

ISSN 2541-8394

© «МЦНО», 2026

## **Содержание**

<b>Статьи на русском языке</b>	<b>6</b>
<b>Технические науки</b>	<b>6</b>
<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Безопасность деятельности человека</b>	<b>6</b>
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	6
Курбанова Гульнара Гайнельхаковна Баевов Дамир Марселеевич Гарипова Айгуль Айратовна Сафаров Альберт Хамитович Фаттахов Ирик Галиханович	
<b>1.2. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>22</b>
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИНЫ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	22
Ишкулов Ильдар Минихатович Вафин Рамиль Ринатович Тахауов Динар Дамирович Сафаров Альберт Хамитович Фаттахов Ирик Галиханович	
<b>1.3. Радиотехника и связь</b>	<b>33</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ MESH-СИСТЕМ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БЕСПРОВОДНОГО ПОКРЫТИЯ WI-FI В КРУПНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ	33
Съедина Кира Константиновна Клячин Марк Сергеевич	
<b>1.4. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>38</b>
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГРИБОВ НА РОССИЙСКОМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ	38
Парфенова Варвара Игоревна Калачев Сергей Львович	

<b>1.5. Транспортное, горное и строительное машиностроение</b>	<b>43</b>
БУРЕНИЕ ШУРФОВ ПОД УСТАНОВКУ ВЕДУЩЕЙ БУРИЛЬНОЙ ТРУБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОМОНИТОРНОЙ НАСАДКИ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	43
Катков Сергей Евгениевич	
Галишин Рамиль Наилевич	
Сафонов Олег Павлович	
Кизуров Сергей Леонидович	
Миронов Дмитрий Андреевич	
Кузьмина Марина Валентиновна	
Халикова Диляра Азатовна	
Фаттахов Ирик Галиханович	
<b>Физико-математические науки</b>	<b>55</b>
<b>Раздел 2. Математика</b>	<b>55</b>
<b>2.1. Вычислительная математика</b>	<b>55</b>
НЕЛИНЕЙНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	55
Любич Артём Алексеевич	
Загорский Кирилл Павлович	
ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТА В РЕЧЬ, ИНТЕГРИРОВАННАЯ В АДОВЕ ANIMATE ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ	60
Нгуен Тхе Сон	
<b>Раздел 3. Физика</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Оптика</b>	<b>66</b>
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА МОТИВАЦИЮ И ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРЕС УЧАЩИХСЯ К РАЗДЕЛУ «СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»	66
Юдина Светлана Юрьевна	
<b>Қазақ тіліндегі мақалалар</b>	<b>73</b>
<b>Инженерлік</b>	<b>73</b>
<b>1-бөлім. Инженерлік</b>	<b>73</b>
<b>1.1. Құрылыштық және сәулет</b>	<b>73</b>

ГЕОСИНТЕТИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНЫП ТЕМІРЖОЛДЫҚ ЖЕР ТӨСЕМЕСІН НЫҒАЙТЫП ЖӘНЕ ТҮРАҚТАНДЫРУ Барманкулов Жасулан Бакытбекович Алимкулов Мурат Маметкулович	73
<b>Физика-математика ғылымдары</b>	<b>78</b>
<b>2-бөлім. Физика</b>	<b>78</b>
<b>2.1. Атом ядросы және элементар бөлшектер физикасы</b>	<b>78</b>
МЕКТЕПТЕГІ АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА ЕСЕПТЕРІН ТИІМДІ ОҚЫТУ ЖОЛДАРЫ Рыскулбек Даниял Бауыржанұлы Қырықбаева Әсем Ақылشاқызы	78

## СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### РАЗДЕЛ 1.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### 1.1. БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

*Курбанова Гульнара Гайнельхаковна*  
заведующий лабораторией,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

*Баевов Дамир Марселевич*  
техник,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

*Гарипова Айгуль Айратовна*  
науч. сотр.,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Сафаров Альберт Хамитович**

д-р техн. наук, доц., вед. науч. сотр.,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Фаттахов Ирик Галиханович**

д-р техн. наук, доц.,  
директор по повышению нефтеотдачи пластов, волновым и  
биотехнологиям,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

## **PROMISING METHODS OF CARBON DIOXIDE CAPTURE AND STORAGE**

**Kurbanova Gulnara Gainelhakovna**

Head of the laboratory,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT  
named after V.D. Shashin,  
Russia, Almeteyevsk

**Baerov Damir Marselevich**

Technical worker,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT  
named after V.D. Shashin,  
Russia, Almeteyevsk

**Garipova Aigul Ayratovna**

Research Scientist,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT  
named after V.D. Shashin,  
Russia, Almeteyevsk

**Safarov Albert Khamitovich**

Dr.Sc. (Eng.), Lead Research Scientist,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT  
named after V.D. Shashin,  
Russia, Almeteyevsk

**Fattakhov Irik Galikhanovich**

*Dr.Sc. (Eng.),*

*Director for EOR, Wave Stimulation*

*and Biotechnologies,*

*TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT*

*named after V.D. Shashin,*

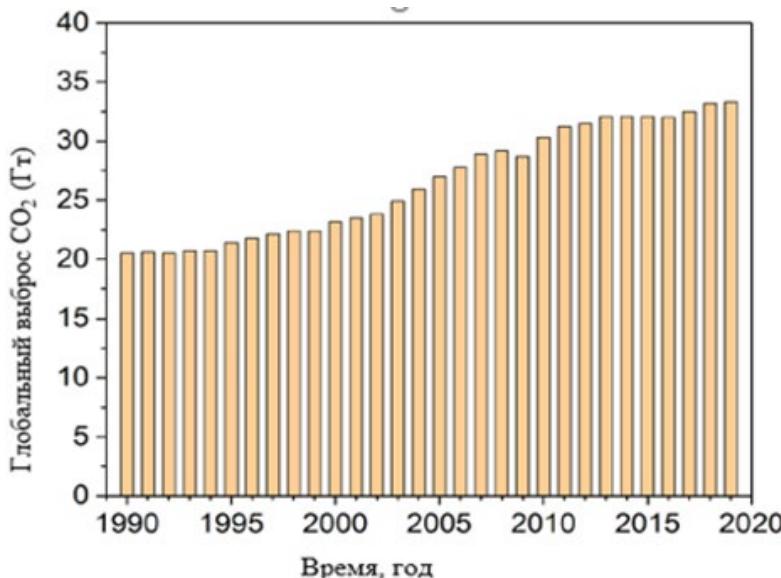
*Russia, Almetyevsk*

Проблема изменения климата, вызванного антропогенными выбросами парниковых газов, в частности углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), является одной из наиболее актуальных и сложных задач, стоящих перед мировым сообществом в XXI веке. Увеличение объемов добычи и использования углеводородного сырья, несмотря на растущее внимание к возобновляемым источникам энергии, продолжает оставаться основным фактором, способствующим увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере [1, с. 10]. Последствия глобального потепления, проявляющиеся в экстремальных погодных явлениях, снижении урожайности сельскохозяйственных культур и деградации экосистем, становятся все более ощутимыми [2, с. 8].

В этой связи, поиск эффективных стратегий и технологий, направленных на сокращение выбросов  $\text{CO}_2$  и смягчение последствий изменения климата, является критически важным. Учитывая сохраняющуюся зависимость мировой экономики от углеводородного топлива, наиболее перспективным представляется комплексный подход, сочетающий активное развитие возобновляемых источников энергии с внедрением технологий улавливания и хранения углерода [3, с. 1340].

Данная статья посвящена рассмотрению существующих методов улавливания и хранения углерода, акцентируя внимание на возможностях хранения  $\text{CO}_2$  в геологических формациях, в частности, в нефтяных пластах, включая повышение нефтеотдачи с использованием  $\text{CO}_2$ . В статье представлен обзор последних исследований в области завоединия и циклической закачки  $\text{CO}_2$  в различные типы пластов, а также анализируются процессы удержания  $\text{CO}_2$  и его преобразования в метан под действием микроорганизмов, что не только открывает перспективы для дальнейшей оптимизации технологий улавливания и хранения углерода, но и возможность создания нового источника энергии и ценного химического сырья, способствуя развитию циркулярной экономики.

В соответствии с рисунком 1, в период с 1990 по 2019 год наблюдалось увеличение глобальных выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с производством энергии; этот показатель достиг примерно 33,3 миллиардов тонн [4, с. 1].



Углекислый газ составляет 76% от парниковых газов, которые вызывают глобальное потепление. При этом 65% этого углекислого газа вырабатывается в процессе сжигания ископаемого топлива и промышленных выбросов [5, с. 464].

Глобальное потепление – одна из самых серьёзных проблем, с которыми мы сталкиваемся в XXI веке. Это явление приводит к природным бедствиям, таким как обильные осадки или продолжительные периоды засухи в отдельных регионах. В результате снижается урожайность сельскохозяйственных культур и гибнет лесная растительность [6, с. 8]. Чтобы сохранить относительную стабильность климата, важно предотвратить дальнейшее повышение глобальной температуры бы на 2°C [7, с. 5]. В то же время необходимо поддерживать мировую экономику, поскольку сейчас мир зависит от использования углеводородного топлива [8, с. 1348].

В связи с проблемой глобального потепления в разных странах были разработаны и реализованы стратегии и технологии, направленные на уменьшение выбросов углекислого газа [9, с. 10].

В первую очередь, это подразумевает две задачи:

1. Активно развивать использование возобновляемых источников энергии: энергия ветра, солнечная энергия, энергия биомассы и геотермальная энергия.

## 2. Внедрять CCS.

В ближайшем будущем ожидается, что поставки возобновляемых источников энергии не смогут полностью заменить ископаемое топливо [10, с. 60]. В связи с этим, крайне необходимо разработать метод, который будет включать в себя меры по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу с использованием технологии улавливания и хранения углерода. Оно может стать связующим звеном между использованием ископаемого топлива и переходом к возобновляемым источникам энергии, а также предложить пути для достижения глобального устойчивого развития с учётом экологических аспектов [11, с. 32].

Современные технологии улавливания углерода включают в себя:

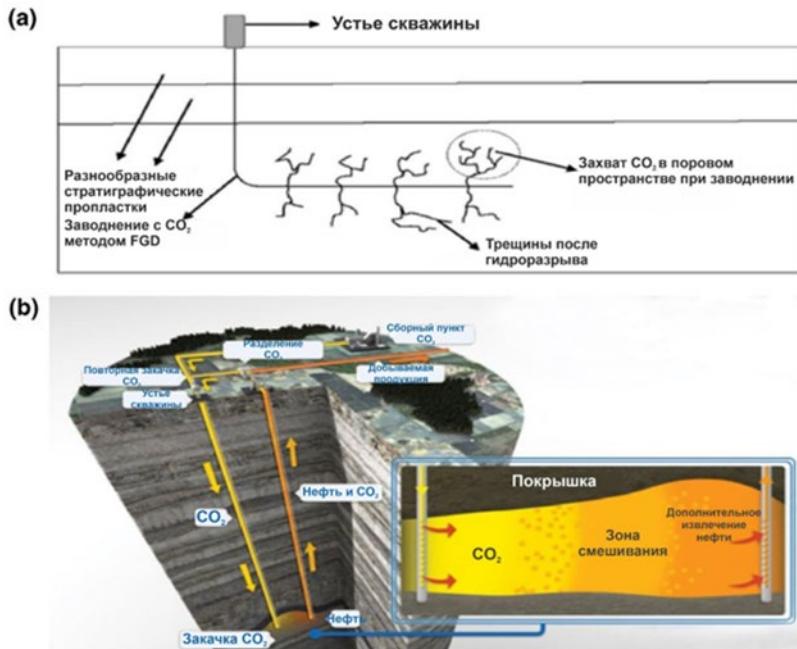
- химическую абсорбцию;
- разделение с помощью полимерных мембран;
- адсорбцию с использованием пористых материалов;
- химическое петлевое разделение.

Первые две технологии уже используются в коммерческих масштабах, а последние две пока находятся на стадии экспериментов [12, с. 28].

Чтобы сохранить уловленный углекислый газ используют глубокие морские захоронения, солёные водоносные горизонты, истощённые месторождения нефти и газа, и минерализованные хранилища [13, с. 130].

Благодаря широкой распространённости, солёные водоносные горизонты представляют собой перспективный источник улавливания углекислого газа, для эффективного снижения антропогенных выбросов в атмосферу [14, с. 21]. Тем не менее, хранение CO<sub>2</sub> в недрах может привести к взаимодействию углекислого газа, пород и поровой жидкости, способствуя возникновению неконтролируемых гидромеханических процессов в породах-коллекторах [15, с. 185].

При хранении углекислого газа в нефтяном пласте, CO<sub>2</sub> способствует повышению нефтеотдачи [16, с. 389]. На рисунке 2 показана схема хранения углекислого газа в пласте-коллекторе (а), и схема увеличения нефтеотдачи (б).



*Рисунок 2. Схема хранения CO<sub>2</sub> в нетрадиционном пласте-коллекторе (а); схема метода увеличения нефтеотдачи при помощи CO<sub>2</sub> (б)*

В большинстве случаев эффективность хранения углекислого газа зависит от глубины пласта, давления, температуры [17, с. 48].

Технология закачки CO<sub>2</sub> в плотные пласти-коллекторы заключается в нагнетании углекислого газа в нефтегазовые пласти для увеличения выхода газообразных и жидких углеводородов. Давление в пласте – это основной фактор, который определяет возможность выхода пластовых жидкостей на поверхность [18, с. 328]. В процессе закачки в пласт углекислый газ переходит в состояние сверхкритической жидкости. Его поведение зависит от давления в пласте и давления закачки, а также от взаимодействия с пластовыми жидкостями [19, с. 464].

Технология «huff-n-puff» (HNF) представляет собой один из методов циклической закачки, при котором CO<sub>2</sub> закачивается в нефтяные и газовые пласти для пропитки пласта и извлекается через определенный период [20, с. 98]. В действительности процесс «huff-n-puff» с CO<sub>2</sub>

состоит из трех стадий. Первая стадия состоит из закачки  $\text{CO}_2$  в пласт, при которой сверхкритическая жидкость вступит в реакцию и пропитается пластовой жидкостью, в течение этого времени скважина будет остановлена, так как это делается для того, чтобы максимизировать способность поглощения  $\text{CO}_2$ ; второй этап – пропитка. Третий этап – это этап добычи углеводородов, на котором скважина открывается для добычи. Период пропитки позволяет поддержать и увеличить пластовое давление, чтобы на третьем этапе эффективно извлекать жидкие и газообразные пластовые флюиды [21, с. 186]. Также есть сведения, что технология «huff-n-puff» подходит для повышения нефтеотдачи из плотных нефтяных пластов-коллекторов [22, с. 271].

Авторами Х. Карима и др. в исследовании [23, с. 7024] проведены модельные исследования оценки эффективности закачки  $\text{CO}_2$  при добыче нефти и хранении углекислого газа по сравнению с закачкой воды в базовом варианте в пласте Северного моря. В ходе исследования рассмотрены различные типы закачки  $\text{CO}_2$ , в частности, одновременная закачка воды и газа (SWAG). Фактически, этот метод выбран для гравитационного разделения воды и газа. Результаты модельных испытаний показали, что коэффициент нефтеотдачи при использовании заводнения  $\text{CO}_2$  увеличился от 3 до 8 %. Метод SWAG обеспечивает контроль за перемещением, а также способствует более эффективному удержанию  $\text{CO}_2$  в пласте.

Процесс взаимодействия  $\text{CO}_2$  с плотными нефтяными пластами-коллекторами представляет особый интерес и имеет большое значение для определения MMP (минимального давления смешиваемости), смачиваемости, капиллярного давления, межфазного натяжения и соотношения подвижности при увеличении нефтеотдачи и хранения. Во время взаимодействия  $\text{CO}_2$  с нефтью в плотных коллекторах при средних и высоких пластовых условиях,  $\text{CO}_2$  растворяется и вызывает расширение нефти, поскольку  $\text{CO}_2$  увеличивает объем пластовых флюидов [24, с. 1863].

В плотных пористых средах Б. Вейем, Х. Чжаном и др. были запущены химические реакции с минералами горных пород. В действительности, при фильтрации  $\text{CO}_2$  в плотных коллекторах, углекислый газ вступает в реакцию с минералами кварца, полевого шпата и подвергается растворению. В процессе этой реакции образуются глинистые минералы, следовательно, твердые глинистые частицы могут препятствовать проницаемости плотных пород, поэтому проницаемость пористой плотной среды во время эксперимента варьировалась. В целом, их исследования показали, что заводнение  $\text{CO}_2$  может повысить проницаемость и пористость плотных пород, потому что заводнение  $\text{CO}_2$

в сверхкритической форме является одним из видов разрушения горных пород [25, с. 6].

Авторами Х. Чжоу, Ц. Юань, Ю. Чжан и др. в работе [26, с. 738] проведены экспериментальные исследования процесса заводнения  $\text{CO}_2$  в плотные нефтяные пласти. В исследовании использовались три типа заводнения углекислого газа: с непрерывным процессом закачки  $\text{CO}_2$ , закачка  $\text{CO}_2$  с определенным периодом выдержки и закачка  $\text{CO}_2$  с поддержанием давления. Эксперименты проводились на цилиндрах керна длиной 1 м для анализа влияния заводненного углекислого газа на эффективность добычи нефти; использовалась легкая пластовая нефть. Результаты экспериментов по закачке  $\text{CO}_2$  в нефтяные пласти показали, что заводнение  $\text{CO}_2$  повысила эффективность добычи нефти, а коэффициент нефтеотдачи увеличился до 39 %.

Авторами К. Дай и др. в научной работе [27, с. 1127] проведены исследования удержания флюида в сверхкритическом углекислом газе, вызванное изменением проницаемости в плотных нефтяных пластиах. Цель исследований – охарактеризовать изменение проницаемости плотных образцов керна во время закачки сверхкритического  $\text{CO}_2$ . Кроме того, для подтверждения экспериментальных результатов использованы микроструктурные и аналитические методы. В ходе исследований обнаружено, что при использовании сверхкритического  $\text{CO}_2$  возможно повреждение пласта.

Ц. Ма, С. Янг и др. проведены экспериментальные исследования для определения факторов, влияющих на распределение добычи нефти в порах различных размеров во время циклической закачки  $\text{CO}_2$  в плотные нефтяные пласти сверхвысокого давления. Первоначально, была проанализирована геология пласта-коллектора нефтяной залежи Синьцзян, которая характеризуется низкой степенью истощения, высоким содержанием остаточной нефти, низкой проницаемостью и сложной поровой структурой. Более того, выявлено, что эффективность заводнения в данном плотном нефтяном коллекторе низкая, поэтому было решено применить технологию «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$  для увеличения добычи нефти из этого плотного коллектора. За первые пять лет циклов накопленная добыча нефти увеличилась на 84-91,7%. Также зафиксировано, что добыча нефти в микропорах увеличивается, а в средних порах и макропорах снижается [28, с. 1159].

Авторами Р. Сан, В. Ю и др. в исследовании [29, с. 1453] для выполнения композиционного моделирования процесса «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$  в плотных нефтяных коллекторах было выбрано месторождение Middle Bakken с гидроразрывами. Выполнено численное моделирование и применена встроенная модель дискретной трещины для оценки эффективности

«huff-n-puff»  $\text{CO}_2$  в плотных нефтяных коллекторах месторождения Middle Bakken. Результаты моделирования пласта показали, что процесс «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$  оказывает положительное влияние на коэффициент нефтеотдачи. Фактически, расход  $\text{CO}_2$  составляет 200 млн куб. футов в день, 50 дней – период закачки, 14 дней капиллярной пропитки приходится на цикл, и с тремя циклами по 500, 2000 и 4000 дней получается самый высокий коэффициент нефтеотдачи. Кроме того, скорость молекулярной диффузии  $\text{CO}_2$  в этом случае также выше.

На рисунке 3 представлены результаты В. Пранеша, Дж. Чана и др. по удержанию  $\text{CO}_2$  в плотном нефтяном коллекторе WCSB (западно-канадского осадочного бассейна) Альберты как для случаев методом циклической закачки  $\text{CO}_2$ , так и для заводнения  $\text{CO}_2$ .

В первый год исследований,  $\text{CO}_2$  не задерживался гистерезисом как в процессах «huff-n-puff» с углекислым газом, так и в процессах заводнения, по причине начального пластового давления, которое автоматически выталкивает пластовую жидкость из пласта. В данном сценарии, процесс удержания  $\text{CO}_2$  означает, что определенное количество углекислого газа успешно заполняет поровый объем пласта-коллектора. На второй год расчетов давление закачки составило на уровне 17 МПа, приемистость составила 1 260 000  $\text{m}^3/\text{сутки}$ , количество удерживаемого  $\text{CO}_2$  составило 230 580  $\text{m}^3$  – эти показатели относятся к методу «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$ . В то время как по методу заводнения  $\text{CO}_2$ , на второй год расчетов давление закачки составило 64,8 МПа, приемистость закачки 5 880 000  $\text{m}^3/\text{сутки}$ , количество удерживаемого  $\text{CO}_2$  составляет 1 333 600  $\text{m}^3$ .

В первые годы эффективность технологии заводнения  $\text{CO}_2$  намного выше в сравнении с «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$ . Однако в последующие годы наблюдается медленный продолжительный рост максимального удержания  $\text{CO}_2$  за счет гистерезиса в обоих случаях. В конце 10-го года по методу заводнения  $\text{CO}_2$  зафиксировано удержание  $\text{CO}_2$  в количестве 1 139 300  $\text{m}^3$ , в случае с технологией «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$  5 274 360  $\text{m}^3$  [30, с. 549].

Из рисунка 3 видно, что даже с 11 по 20 год, наблюдается постепенное увеличение удержания  $\text{CO}_2$  в обоих случаях, причем рост продолжается и в третьем десятилетии (с 21 по 30 годы). К 30-му году, с технологией «huff-n-puff» удержание  $\text{CO}_2$  составляет 8 888 465  $\text{m}^3$ , а с технологией заводнения  $\text{CO}_2$  15 380 000  $\text{m}^3$ . Следует обратить внимание на то, что в плотных нефтяных коллекторах Альберты, технология заводнения  $\text{CO}_2$  поспособствовала более высокому удержанию  $\text{CO}_2$  в пласте, нежели технология «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$ . Это объясняется тем, что в плотных нефтяных коллекторах при технологии заводнения  $\text{CO}_2$  легче достигается ММР и эффективность вытеснения пластовой жидкости, нежели методом «huff-n-puff»  $\text{CO}_2$ . В результате удержание  $\text{CO}_2$  составило более 80% [31, с. 588].

**Плотный нефтяной пласт-коллектор осадочного бассейна WCSB**

Технология CO <sub>2</sub> (HNF)			Технология CO <sub>2</sub> (FDG)		
Год	Давление закачки (фунт)	Приемистость (млн м <sup>3</sup> фут/день)	Год	Давление закачки (фунт)	Приемистость (млн м <sup>3</sup> фут/день)
1	0	0	1	0	0
2	2500	45	2	9400	210
3	2500	45	3	9400	210
4	2500	45	4	9400	210
5	2500	45	5	9400	210
6	2500	45	6	9400	210
7	2500	45	7	9400	210
8	2500	45	8	9400	210
9	2500	45	9	9400	210
10	2500	45	10	9400	210
11	4800	120	11	13,600	430
12	4800	120	12	13,600	430
13	4800	120	13	13,600	430
14	4800	120	14	13,600	430
15	4800	120	15	13,600	430
16	4800	120	16	13,600	430
17	4800	120	17	13,600	430
18	4800	120	18	13,600	430
19	4800	120	19	13,600	430
20	4800	120	20	13,600	430
21	6300	356	21	15,200	620
22	6300	356	22	15,200	620
23	6300	356	23	15,200	620
24	6300	356	24	15,200	620
25	6300	356	25	15,200	620
26	6300	356	26	15,200	620
27	6300	356	27	15,200	620
28	6300	356	28	15,200	620
29	6300	356	29	15,200	620
30	6300	356	30	15,200	620

*Рисунок 3. Результаты удержания CO<sub>2</sub> в плотном нефтяном коллекторе WCSB Альберты для технологий циклической закачки и заводнения*

Закачка CO<sub>2</sub> в нефтяных пластах не ограничивается простым захоронением и увеличением нефтедобычи. В ряде случаев, в пластовых условиях создаются благоприятные условия для микробиологического

преобразования углекислого газа в метан. Этот процесс, стимулируемый деятельностью метаногенных микроорганизмов, превращает CO<sub>2</sub> в ценный энергетический ресурс непосредственно в недрах, что представляет собой дополнительный экологический и экономический бонус к технологии улавливания и хранения углерода.

### **Общие методы получения метана из углекислого газа в нефтяных пластах**

Чжан Шаодун в исследовании [32, с. 12] представил инновационный метод преобразования CO<sub>2</sub> в метан в нефтяных пластах. Процесс включает в себя несколько ключевых этапов:

1. Скрининг нефтяных пластов, содержащих CO<sub>2</sub>, которые подходят для реализации данного метода.
2. Обнаружение гидрогеногенов и метаногенов, присутствующих в нефтяных пластах, заполненных CO<sub>2</sub>.
3. Скрининг систем питания для гидрогеногенов и метаногенов, как из внутренних, так и из внешних источников, в соответствии с целевым нефтяным пластом. Особое внимание уделяется анализу источников азота и фосфора в системах питания.
4. Закачка фильтрованных систем питания гидрогеногенами и метаногенами в нефтяные резервуары, заполняемые CO<sub>2</sub>.
5. После закрытия нефтяных резервуаров, заполняемых CO<sub>2</sub>, скважина открывается через 6–12 месяцев для получения CH<sub>4</sub>.

Данный метод подходит для нефтяных пластов, которые соответствуют условиям залегания нефти в залежах, заполненных CO<sub>2</sub>. В рамках данного метода, соотношение ввода и вывода превышает 1/3, при этом объёмное содержание метана в выходящем газе составляет более 90%. Более того, этот метод отличается высокой степенью чистоты и экологичности, что делает его перспективным для широкого применения в области третичной добычи нефти.

Моу Божонг в исследовании [33, с.260] предложил метод получения метана путём стимулирования преобразования CO<sub>2</sub> с помощью микроорганизмов, обитающих в нефтяных пластах. Способ включает в себя:

1. Анализ и определение наличия по меньшей мере метаногена, способного восстанавливать CO<sub>2</sub> с помощью водорода, в пластовой воде целевого нефтяного пласта;
2. Поддержание значения pH пластовой воды целевого нефтяного пласта в диапазоне 6–8;
3. Введение водорода в пластовую воду целевого нефтяного пласта в качестве донора электронов; при этом массовое соотношение (г/л)

донора электронов к пластовой воде целевого нефтяного пласта составляет 2–40 г/л;

#### 4. Сбор метана.

Представленный метод обладает следующими преимуществами: полностью используются эндогенные микроорганизмы нефтяного пласта, значительно улучшается биологическое преобразование углекислого газа в метан, а также обеспечиваются простота, удобство, широкий диапазон применения в нефтяных пластах.

Ю. Сугай, К. Сасаки, Т. Ниими и др. в научной работе [34, с. 601] собрали образцы пластового солевого раствора из 10 скважин на нефтяном месторождении Ябасэ в Японии. Затем были инкубированы местные бактерии вместе со стерилизованной нефтью в анаэробных условиях (10%  $\text{CO}_2$  и 90%  $\text{N}_2$ ) при температуре 50°C и 75°C. Почти во всех системах культивирования, после 2-х месяцев инкубации, наблюдались как выработка  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ , так и потребление  $\text{CO}_2$ . На нефтяном месторождении Ябасэ в Японии максимальная выработка  $\text{H}_2$  составила 1267 Нмл/л среды в течение 4-х месяцев инкубации. Культуральные растворы были посажены в питательную агаровую среду и инкубированы в анаэробных условиях при температуре 50°C и 75°C. Одиночные колонии микроорганизмов, которые образовались в питательной агаровой среде после 2-недельной инкубации, были собраны и посажены в стерилизованный соленой раствор, содержащий стерилизованную нефть в качестве единственного источника водорода. Более 38 штаммов были выделены и инкубированы в солевом растворе, а затем у 38 штаммов после 1-го месяца инкубации, наблюдалось выделение водорода из нефти. Максимальная продукция  $\text{H}_2$  составила 26 Нмл/л среды в течение 3-х месяцев инкубации. Результаты показывают, что микробиологическая конверсия  $\text{CO}_2$  и остаточной нефти в  $\text{CH}_4$ , с использованием гидрогенотрофных метаногенов является перспективным направлением.

Ян Гуан-Чао и др. в исследовании [35, с. 919] получили инокулят для культивирования культур из пластовой воды высокотемпературного нефтяного пласта в Хубэйском нефтяном месторождении. Температура воды составила 55°C. В базальную среду были добавлены инокулят, углекислый газ в концентрации 30, 60, 90 ммоль и этанол в концентрации 10 ммоль в качестве источников углерода и водорода, соответственно. Также, подготовлен образец без добавления этанола. После 230-ти дней анаэробного культивирования при 55°C в темноте метан не был обнаружен лишь в образце без добавления этанола. Наибольшая концентрация метана (327 мкмоль) обнаружена в образце с концентрацией углекислого газа 30 ммоль. Это указывает на то, что более высокая концентрация  $\text{CO}_2$  (>30 ммоль) ингибирует метаболическую активность

этанолового метаногенеза. При исследовании популяций микроорганизмов, после культивирования преобладали *Anaerobaculum* типа *Synergistetes* (92% в образце с концентрацией СО<sub>2</sub> 30 ммоль). Что касается метанобразующих микроорганизмов, род *Methanothermobacter* оказался доминирующим таксоном.

Проведенные исследования демонстрируют перспективность использования СО<sub>2</sub> для повышения нефтеотдачи и одновременного захоронения углекислого газа в плотных нефтяных пластах. Рассмотренные методы включают непрерывную закачку СО<sub>2</sub>, циклическую закачку СО<sub>2</sub>, закачку СО<sub>2</sub> с поддержанием давления и одновременную закачку СО<sub>2</sub> и воды. Основные выводы:

- Повышение нефтеотдачи: закачка СО<sub>2</sub> эффективно повышает нефтеотдачу в плотных нефтяных пластах, достигая увеличения коэффициента нефтеотдачи до 39%. Эффективность обусловлена расширением нефти при растворении в ней СО<sub>2</sub>, снижением вязкости нефти и разрушением горных пород [36, с. 1].
- Изменение проницаемости: взаимодействие СО<sub>2</sub> с минералами горных пород может как повышать, так и понижать проницаемость пласта. Растворение минералов и образование глинистых частиц влияют на фильтрационные характеристики [37, с. 2133].
- Циклическая закачка: технология «huff-n-puff» демонстрирует свою эффективность, особенно в микропорах, увеличивая добычу нефти в первые годы эксплуатации.
- Моделирование процессов: численное моделирование подтверждает положительное влияние «huff-n-puff» СО<sub>2</sub> на коэффициент нефтеотдачи, позволяя оптимизировать параметры закачки.
- Захоронение СО<sub>2</sub>: закачка СО<sub>2</sub> обеспечивает эффективное удержание углекислого газа в пласте. Технология заводнения в плотных нефтяных коллекторах способствует более высокому удержанию СО<sub>2</sub> по сравнению с «huff-n-puff» СО<sub>2</sub>, поскольку легче достигается ММР и вытеснение нефти. Долгосрочное удержание СО<sub>2</sub> достигает более 80%.
- Микробиологическое преобразование СО<sub>2</sub> в метан: инновационный метод преобразования СО<sub>2</sub> в метан с использованием микроорганизмов, обитающих в нефтяных пластах, позволяет превратить СО<sub>2</sub> в метан прямо в пласте. Исследования показывают возможность эффективного преобразования СО<sub>2</sub> в метан при определенных условиях (рН, наличие доноров электронов, наличие гидрогеногенов и метаногенов). Выделены штаммы бактерий, способные производить водород из нефти и участвовать в метаногенезе.

Результаты исследований подтверждают потенциал технологии закачки СО<sub>2</sub> для одновременного повышения нефтеотдачи

и захоронения углекислого газа. Перспективным направлением является микробиологическое преобразование CO<sub>2</sub> в метан непосредственно в пласте. Для оптимизации технологий закачки CO<sub>2</sub>, изучения долгосрочного влияния на проницаемость пласта и развития эффективных методов микробиологического преобразования CO<sub>2</sub>, необходимы дальнейшие исследования.

### **Список литературы:**

1. Ameyaw B. Investigating, forecasting and proposing emission mitigation pathways for CO<sub>2</sub> emission from fossil fuel combustion only: a case study of selected countries / Ameyaw B., Yao L., Oppong A., Agyeman J. K. // Energy Policy 130:7–21.
2. Adams H.D. Temperature response surfaces for mortality risk of tree species with future drought / Adams H.D., Barron-Gafford G.A., Minor R.L., Gardea A.A., Bentley L.P., Law D. J., Breshears D.D., McDowell N.G., Huxman T.E. // Environ Res Lett. 2017;12:115014.
3. Abokyi E. Industrial growth and emissions of CO<sub>2</sub> in Ghana: the role of financial development and fossil fuel consumption / Abokyi E., Appiah-Konadu P., Abokyi F., Oteng-Abayie E. F // Energy Reports 5:1339–1353.
4. IEA. 2020. “Energy related CO<sub>2</sub> emissions, 1990–2019”. IEA, Paris. 202011.
5. Thomas S. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
6. Liu Y. Impacts of 1.5 and 2.0 degrees C global warming on rice production across China / Liu Y., Tang L., Qiu X., Liu B., Chang X., Liu L., Zhang X., Cao W., Zhu Y. // Agric For Meteorol. 2020;284:107900.
7. Peters G. P., Andrew R. M., Boden T., Canadell J. G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M. R., Wilson C. COMMENTARY: the challenge to keep global warming below 2 degrees C. Nat Clim Change. 2013;3:4–6.
8. Abokyi E., Appiah-Konadu P., Abokyi F., Oteng-Abayie E. F. (2019) Industrial growth and emissions of CO<sub>2</sub> in Ghana: the role of financial development and fossil fuel consumption. Energy Reports 5:1339–1353.
9. Grant D. Effectiveness of US state policies in reducing CO<sub>2</sub> emissions from power plants / Grant D., Bergstrand K., Running K. // Nat Clim Change. 2014;4:977–82.
10. Jiang J.N. Addressing climate change demands to build a global technological cooperation system based on the ecological civilization philosophy / Jiang J.N., Wang W.T., Wang C., Liu Y.H. // China Popul Resour Environ. 2017;27:57–64.
11. Bains P. CO<sub>2</sub> capture from the industry sector / Bains P., Psarras P., Wilcox J. // Prog Energy Combust Sci. 2017;63:146–72.
12. Al-Mamoori A. Carbon capture and utilization update / Al-Mamoori A., Krishnamurthy A., Rownaghi A.A., Rezaei F // Energy Technol. 2017;5:834–49.

13. Bui M. Carbon capture and storage (CCS): the way forward / Bui M., Adjiman C.S., Bardow A., Anthony E.J., Boston A., Brown S., Fennell P.S. // Energy Environ Sci. 2018;11:1062–176.
14. Holloway S. Geological sequestration of carbon dioxide: implications for the coal industry/ Holloway S., Rochelle C.A. & Pearce J.M. // T. I. Min. Metall. 108, 19–28 (1999).
15. Moore J., Adams M., Allis R., Lutz S. & Rauzi S. Mineralogical and geochemical consequences of the long-term presence of CO<sub>2</sub> in natural reservoirs: an example from the Springerville-St. Johns field, Arizona and New Mexico, USA. Chem. Geol. 217, 183–186 (2005).
16. Azzolina N.A. CO<sub>2</sub> storage associated with CO<sub>2</sub> enhanced oil recovery: a statistical analysis of historical operations / Azzolina N.A., Nakles D.V., Gorecki C.D., Peck W.D., Ayash S.C., Melzer L.S., Chatterjee S. // Int J Greenhouse Gas Control 37:384–397.
17. Peck W.D. Quantifying CO<sub>2</sub> storage efficiency factors in hydrocarbon reservoirs: a detailed look at CO<sub>2</sub> enhanced oil recovery/ Peck W.D., Azzolina N.A., Ge J., Bosschart N.W., Burton-Kelly M.E., Gorecki C.D., Gorz A.J., Ayash S.C., Nakles D.V., Melzer L.S. // Int J Greenhouse Gas Control 69:41–51.
18. Satter A. Practical enhanced reservoir engineering / Satter A., Iqbal G., Buchwalter J. // 1st edn. PennWell, Tulsa.
19. Zhang N. Identification of CO<sub>2</sub> sequestration opportunities: CO<sub>2</sub> miscible flooding guidelines / Zhang N., Yin M., Wei M., Bai B. // Fuel 241:459–467.
20. Pranesh V. Statistical modelling of American unconventional petroleum reservoirs: Bakken and Eagle Ford shale fields / Pranesh V. // 1st edn. Lap Lambert, Germany.
21. Yoosook H. CO<sub>2</sub> utilization for enhance oil recovery with huff-n-puff process in depleting heterogeneous reservoir / Yoosook H., Maneeintr K., Boonpramote T. // Energy Procedia 141:184–188.
22. Pu W. Experimental investigation of CO<sub>2</sub> huff-n-puff process for enhancing oil recovery in tight reservoirs / Pu W., Wei B., Jin F., Li Y., Jia H., Liu P., Tang Z. // Chem Eng Res Des 111:269–276.
23. Karimaie H. Simulation study of CO<sub>2</sub> EOR and storage potential in a North Sea Reservoir / Karimaie H., Nazarian B., Aurdal T., Nøkleby P. H., Hansen O. // Energy Proc 114:7018–7032.
24. Habibi A. Experimental investigation of CO<sub>2</sub>-oil interactions in tight rocks: a Montney case study / Habibi A., Yassin M. R., Dehghanpour H., Bryan D. // Fuel 203:853–867.
25. Wei B. Adsorptive behaviors of supercritical CO<sub>2</sub> in tight porous media and triggered chemical reactions with rock minerals during CO<sub>2</sub>-EOR and -sequestration. Wei B., Zhang X., Liu J., Xu X., Pu W., Bai M. // Chem Eng J 381:122577.
26. Zhou X. Performance evaluation of CO<sub>2</sub> flooding process in tight oil reservoir via experimental and numerical simulation studies / Zhou X., Yuan Q., Zhang Y., Wang H., Zeng F., Zhang L. // Fuel 236:730–746.

27. Dai C. The effect of supercritical CO<sub>2</sub> fracturing fluid retention-induced permeability alteration of tight oil reservoir / Dai C., Sun X., Sun Y., Zhao M., Du M., Zou C., Guan B. // J Petrol Sci Eng 171:1123–1132.
28. Ma Q. Experimental investigation on the influence factors and oil production distribution in different pore sizes during CO<sub>2</sub> huff-n-puff in an ultra-high-pressure tight oil reservoir / Ma Q., Yang S., Lv D., Wang M., Chen J., Kou G., Yang L. // J Petrol Sci Eng 178:1155–1163.
29. Sun R. Compositional simulation of CO<sub>2</sub> huff-n-puff process in Middle Bakken tight oil reservoirs with hydraulic fractures / Sun R., Yu W., Xu F., Pu H., Miao J. // Fuel 236:1446–1457.
30. Zhang J., Millimeter to nanometer-scale tight oil-CO<sub>2</sub> solubility parameter and minimum miscibility pressure calculations / Zhang J., Jia N., Li S., Liu L. // Fuel 220:645–653.
31. Pranesh V. Subsurface CO<sub>2</sub> Storage estimation in Bakken tight oil and Eagle Ford shale gas condensate reservoirs by retention mechanism / Pranesh V. // Fuel 215:580–591.
32. Zhang S. Method for converting residual CO<sub>2</sub> in oil reservoirs after CO<sub>2</sub> flooding into methane / Zhang S., Song Y., Li C., Guo L., Lin J., Tan X., Gao G., Hao B., Wang J. & Liu T. // <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2024.09.005>
33. Bozhong M. Method for producing methane by promoting conversion of CO<sub>2</sub> with oil reservoir microorganisms / Bozhong M., Shizhong Y., Jinfeng L., Zhou L., & Lei M. (2017).
34. Yuichi Sugai. Basic Study on the Microbial Conversion of CO<sub>2</sub> into CH<sub>4</sub> in Depleted Oil Reservoir by using Hydrogen-Producing Bacteria and Hydrogenotrophic Methanogens / Yuichi Sugai, Kyuro Sasaki, Toshiya Niimi, Kazuhiro Fujiwara, Tsukasa Mukaidan, Sanae Kano, Yoshiyuki Hattori, Komei Okatsu // Journal of Mmij, 125(12):595-604.
35. Yang G.-C. Bioconversion Pathway of CO<sub>2</sub> in the Presence of Ethanol by Methanogenic Enrichments from Production Water of a High-Temperature Petroleum Reservoir / Yang G.-C., Zhou L., Mbadinga S. M., Gu J.-D., & Mu B.-Z. (2019) // Energies, 12(5), 918.
36. Патент РФ № 2408780, 10.01.2011.
37. Кадыров Р.Р., Фаттахов И.Г., Кормишин Е.Г., Калмыков В.П., Сахапова А.К., Кулешова Л.С. Способ изоляции вод и интенсификации притока нефти в карбонатных пластах // Патент РФ № 2010105613/03 от 16.02.2010
38. Фаттахов И.Г., Кадыров Р.Р., Маркова Р.Г. Совершенствование способа приготовления тампонажного состава на основе синтетических смол для ремонтно-изоляционных работ в скважинах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-10. – С. 2131-2134.

## 1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИНЫ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Ишкулов Ильдар Минихатович**

инженер 1 категории,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Вафин Рамиль Ринатович**

ведущий инженер,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Тахауов Динар Дамирович**

ведущий инженер,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Сафаров Альберт Хамитович**

д-р техн. наук, доц., вед. науч. сотр.,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Фаттахов Ирик Галиханович**

д-р техн. наук, доц., директор  
по повышению нефтеотдачи пластов,  
волновым и биотехнологиям,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

## WELL INTEGRITY EVALUATION USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGY

**Ishkulov Ildar Minikhatovich**

*Category 1 Engineer,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk*

**Vafin Ramil Rinatovich**

*Leading engineer,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk*

**Takhaauov Dinar Damirovich**

*Leading engineer,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk*

**Safarov Albert Khamitovich**

*Dr.Sc. (Eng.), Leading Science Researcher,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk*

**Fattakhov Irik Galikhanovich**

*Dr.Sc. (Eng.), Director for EOR,  
Wave Stimulation and Biotechnologies,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT named  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk*

В настоящее время вопрос корректной и своевременной оценки технического состояния скважин является достаточно актуальным ввиду разработки месторождений на поздней стадии, высокой обводненности продукции скважин, а также стареющего фонда скважин. Традиционно для определения технического состояния эксплуатационной колонны применяют геофизические исследования, которые позволяют определить наличие нарушения, а также его интервал. Однако ввиду

большой загруженности специалистов-технологов на промысле не всегда удается своевременно отправить геофизическую партию для проверки технического состояния колонны скважины. Данный факт влечет за собой недоборы по нефти, повышение процента обводненности, негативное влияние на экологию, увеличение непроизводительной закачки, а также снижение целевых экономических показателей. Также стоит отметить высокий риск «холостого» проезда, когда не удается обнаружить наличие нарушений в эксплуатационной колонне.

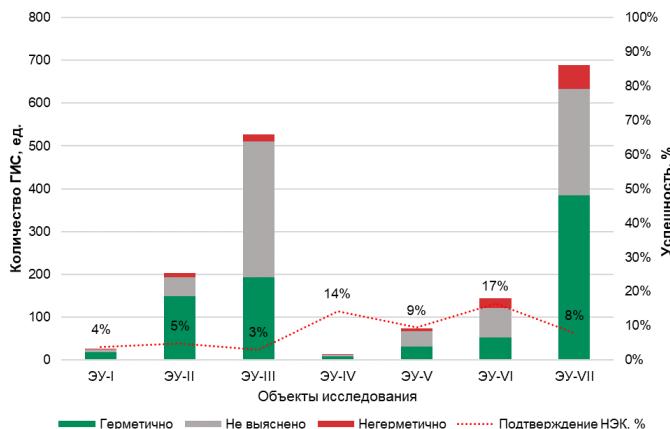
В качестве решения данных проблем авторами предложена новая методика для оценки технического состояния колонны на основе модели машинного обучения. Основными признаками, по которым прогнозируется негерметичность скважины, являются химический анализ воды, возраст скважины, количество проведенных ремонтов на скважине, динамика работы скважины, а также ее строение. Полученные признаки обрабатываются, загружаются в модель машинного обучения, и далее специалисту в режиме реального времени выдается заключение о наличии негерметичности скважины. Данный подход позволяет значительно сократить время принятия решений, повысить эффективность обнаружения негерметичности по скважинам, а также повысить целевые экономические показатели.

Научная новизна данного исследования заключается в создании методики анализа данных и алгоритмов, которые позволяют предсказать появление негерметичности колонны на скважинах. Для этого сначала необходимо выделить три основных группы причин возникновения негерметичности эксплуатационной колонны, после чего определить критерии выявления негерметичности. При определении негерметичности был сформирован пул необходимых промысловых данных, которые затем обрабатывались и закладывались в модель для обучения. В процессе обучения были опробованы несколько алгоритмов машинного обучения.

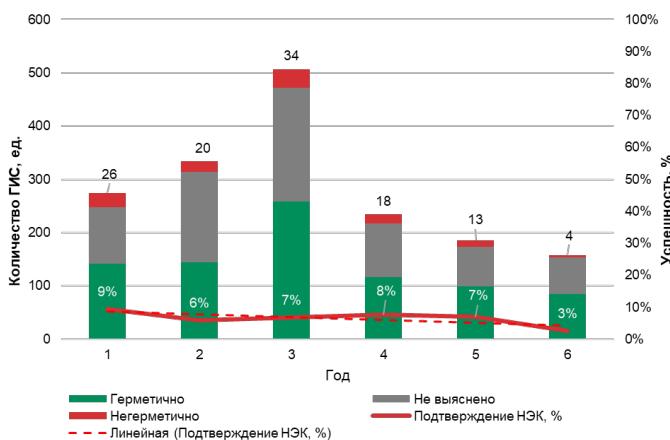
В настоящее время большинство месторождений находится на поздней стадии разработки, при этом фонд скважин осложнен высоким процентом добываемой воды и техническими нарушениями [1, с. 36]. В связи с этим достаточно остро стоит проблема оперативного определения скважин, работающих с нарушениями, и путей их ликвидации. Наиболее популярным на сегодняшний день методом по определению технического состояния колонны скважин является геофизическое исследование [2–6, с. 109, 290, 189, 71, 155].

В результате проведенного анализа геофизических исследований по оценке технического состояния скважин терригенного девона Ромашкинского месторождения авторами определено, что за условный период с первого по шестой год процент исследований с подтверждением негерметичности эксплуатационной колонны без подхода бригад ремонта в среднем

не превышает 10 % (рисунки 1–2). Это говорит о том, что специалисты технологии на промысле нуждаются в инструменте, который бы позволил повысить процент потенциальных скважин с наличием негерметичности.



**Рисунок 1. Выявление нарушений колонны по результатам исследований в разрезе эксплуатационных участков**



**Рисунок 2. Количество исследований без подхода бригад ремонта с разбивкой по годам**

Наиболее простым и эффективным способом выявления нарушения в эксплуатационной колонне на сегодняшний день является химический анализ состава воды, отобранный со скважины. Тем не менее не всегда удается оперативно выявить отклонения в составе пробы. Зачастую оперативность решения достигает 70 сут и более (рисунок 3).

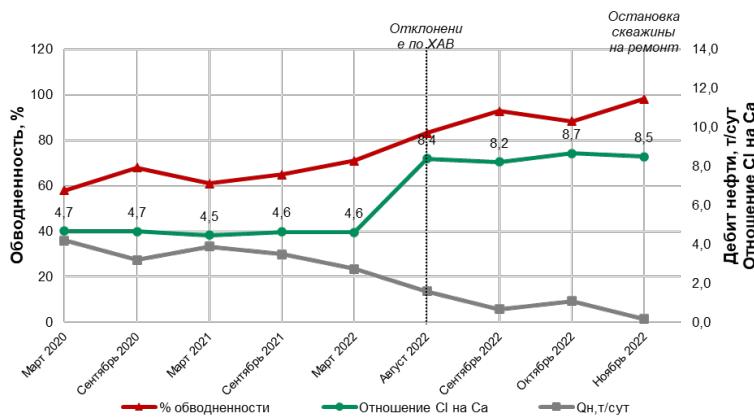


Рисунок 3. Показатели работы скважины

Таким образом, основным недостатком исследований по определению негерметичности колонны скважин является то, что мы работаем уже со случившейся проблемой. В данной работе предложен новый подход к этой проблеме и создан модуль на основе модели машинного обучения для прогнозирования технического состояния колонны. За счет аналитики данных и алгоритмов он предсказывает появление негерметичности колонны на скважинах.

Для полноценного проведения работ с целью поэтапного решения задач первоначально проведен анализ причин возникновения негерметичности. Авторами выделены три основные группы причин: качество цементирования, износ металла и коррозия металла. Основными последствиями негерметичности являются увеличение процента обводненности, загрязнение окружающей среды, непроизводительная закачка, а также снижение целевых экономических показателей [7–13, с. 11, 87, 258, 7, 49, 128, 549].

В качестве критериев выявления негерметичности, зависимости по которым легли в основу модели, выделены химический состав воды, особенности конструкции скважины, динамика работы, возраст

скважины на момент исследования, а также количество циклов спуско-подъемных операций и опрессовок.

Традиционно в промышленности сложились основные подходы по определению признаков, указывающих на наличие отклонений по составу воды. Например, анализ отношения концентрации Cl/Ca (рисунки 4–5).

По анализу более 4 тыс. случаев, среди которых 930 с негерметичностью эксплуатационной колонны и 3086 – с герметичностью колонны, можно отметить, что при возникновении негерметичности отношение Cl/Ca в среднем равно 6, при этом данное отношение в герметичных скважинах в среднем равняется 4,6 (рисунок 5).

Однако данный анализ достаточно трудозатратный и требует прошомтра каждой потенциально негерметичной скважины специалистом на промысле. Но при большом количестве скважин значительно снижается оперативность принятия решений. Также это только пример того, как можно определить негерметичность по скважине. Таких подходов может быть достаточно много, и, чтобы изучить отношения концентраций веществ компонентного состава, требуется много времени и средств.

Впервые разработана система, которая по оценке более 20 входящих параметров предсказывает наличие негерметичности скважины. Для решения данной задачи сформирован пул необходимых промысловых данных, которые затем были обработаны и заложены в модель для обучения. В процессе обучения опробованы несколько алгоритмов машинного обучения, такие как дерево решений, случайный лес, CatBoost и др. По итогам обучения и тестирования наилучшие результаты по параметру F1-меры показал градиентный бустинг CatBoostClassifier, величина которого составила 0,761 (рисунок 6).

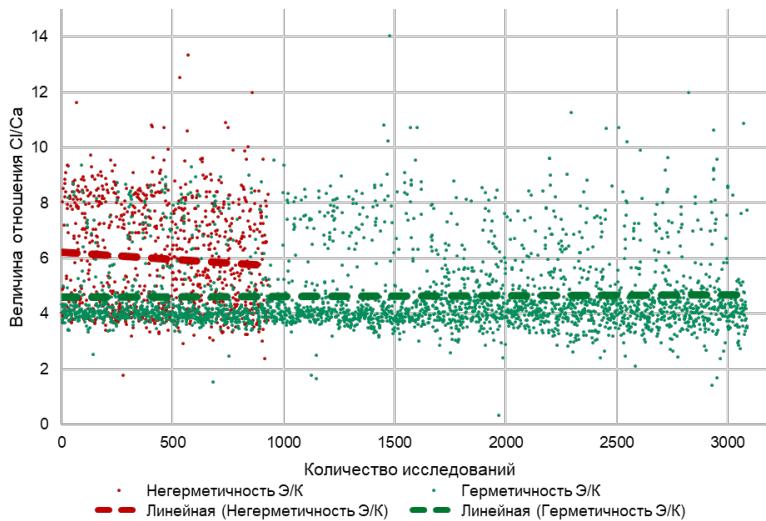
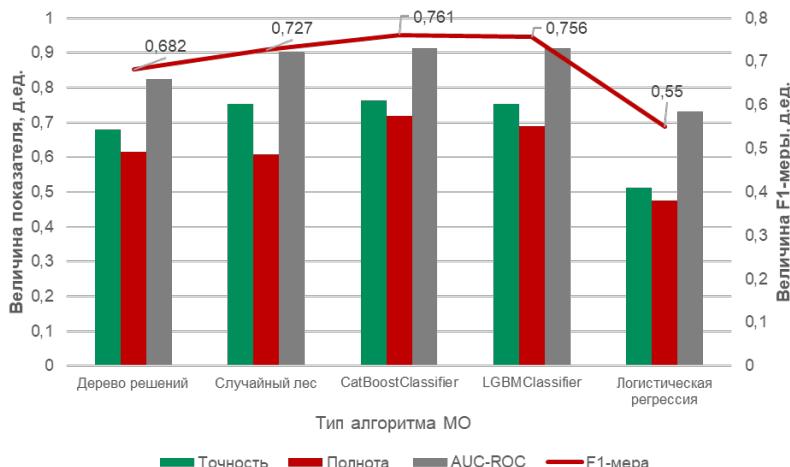


Рисунок 4. Отношение Cl/Ca



Рисунок 5. Распределение значений Cl/Ca среди герметичных и негерметичных скважин



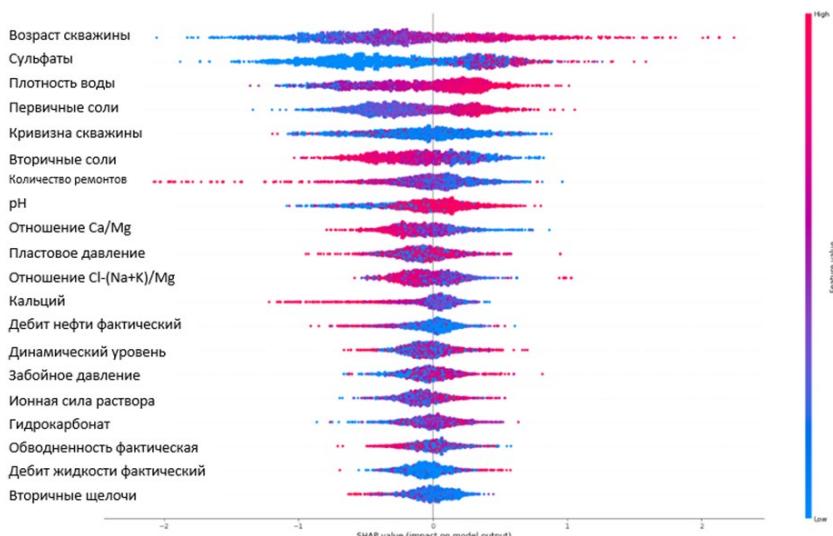
**Рисунок 6. Метрики качества модели с балансом классов**

Также по результатам обучения изучено влияние каждого параметра на возникновение негерметичности по скважине. По приведенному графику (рисунок 7) можно заметить, что наибольшее влияние на состояние колонны оказывают следующие признаки:

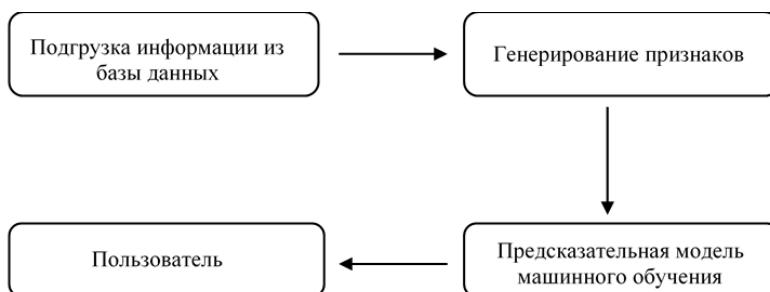
- возраст скважины;
- содержание сульфатов;
- удельный вес воды;
- первичные соли.

Чем выше возраст скважины, тем большая вероятность, что она будет с негерметичностью, то же можно сказать и про содержание сульфатов, удельный вес воды и первичные соли.

Принципиальная схема получения предсказания показана на рисунке 8. Пользователь выбирает объект, на скважинах которого необходимо получить предсказание негерметичности либо может отдельно загрузить список интересующих скважин. Далее данные в режиме реального времени выгружаются из корпоративной базы данных, затем происходит их валидация и генерация новых признаков. Обработанные данные поступают в модель машинного обучения для получения предсказания, и затем результат в формате Excel-файла возвращается пользователю.



**Рисунок 7. Оценка влияния признаков на возникновение негерметичности эксплуатационной колонны**



**Рисунок 8. Принципиальная схема получения прогноза технического состояния колонны скважины**

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- предложена методика определения негерметичности эксплуатационной колонны;
- внедренная методика позволяет сократить сроки принятия решений в 7 раз;

– определена степень качества обнаружения негерметичности;  
– за счет предложенных решений достигнуто снижение затрат на 66 % в среднем на одно геофизическое исследование, а также сокращены затраты по удельному потреблению электроэнергии скважинами на 110,5 КВт·ч/м<sup>3</sup>/сут.

### **Список литературы:**

1. К вопросу о негерметичностях эксплуатационных колонн / Л.Б. Хузина [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 4. – С. 35-38. – DOI: 10.33285/0130-3872-2023-4(364)-35-38.
2. Назаров В.Ф., Мухутдинов В.К. Контроль герметичности обсадной колонны и НКТ в нагнетательных скважинах по измерениям комплексной аппаратурой // Инновационная наука. – 2015. – № 12-2. – С. 107-112.
3. Хамзин Л.Г., Вахитова Г.Р. Выявление источников обводнения ачимовских отложений нефтяного месторождения // Булатовские чтения: сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2017 г.: в 5 т. / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 289-291.
4. Выявление негерметичности муфтовых соединений насосно-компрессорных труб, обсадных и технических колонн для скважин подземного хранилища газа в соляных кавернах методом спектральной шумометрии / А.М. Асланян [и др.] // Георесурсы. – 2016. – Т. 18, № 3. – С. 186-190. – DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.18.3.7>.
5. Изучение формирования тепловой метки в стволе скважины при индукционном нагреве колонны для оценки дебита межпластовых перетоков / И.В. Канафин [и др.] // Булатовские чтения: сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2017 г.: в 5 т. / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 70-72.
6. Исследование теплового поля в скважине при заколонном движении жидкости в процессе индукционного воздействия / Ф.Ф. Давлетшин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 3. – С. 153-164. – DOI: 10.18799/24131830/2023/3/3896.
7. Негерметичность скважин – глобальная проблема, а не локальная / Д.П. Аникеев [и др.]. – Текст: электронный // Актуальные проблемы нефти и газа: науч. сетевое изд. – 2019. – Вып. 4. – С. 1-14. – URL: [https://oilgasjournal.ru/issue\\_27/anikeev-zakirov.pdf](https://oilgasjournal.ru/issue_27/anikeev-zakirov.pdf) (дата обращения: 21.03.2024).

8. Агадулин И.И., Игнатьев В.Н., Сухоруков Р.Ю. Экологические аспекты негерметичности заколонного пространства в скважинах различного назначения. – Текст: электронный // Нефтегазовое дело: сетевое изд. – 2011. – № 4. – С. 82-90. – URL: <https://ogbus.ru/article/view/ekologicheskie-aspekyt-negermetichnosti-zakolonnogo-prostranstv/23952> (дата обращения: 21.03.2024).
9. Экологические вопросы контроля за эксплуатацией скважин подземных хранилищ газа / Р.А. Валиуллин [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – № 5. – С. 256-262.
10. Дзюбло А.Д., Рубан Г.Н. Надежная диагностика и ликвидация заколонных перетоков как залог экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений. – Текст: электронный // Актуальные проблемы нефти и газа: науч. сетевое изд. – 2018. – Вып. 4. – С. 1-10. – URL: [https://oilgasjournal.ru/issue\\_23/dzyublo-ruban.pdf](https://oilgasjournal.ru/issue_23/dzyublo-ruban.pdf) (дата обращения: 21.03.2024).
11. Перспективы внедрения горизонтальных скважин на месторождениях со сложным геологическим строением / И.Г. Фаттахов [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 3. – С. 46-53.
12. Термические методы увеличения нефтеотдачи / В.Ш. Мухаметшин [и др.]. – Уфа: УГНТУ, 2019. – 238 с.
13. Поддержание температурного режима в нагнетательных скважинах при их остановке в условиях низких температур / И.Г. Фаттахов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-3. – С. 547-552.

### 1.3. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

## ИССЛЕДОВАНИЕ MESH-СИСТЕМ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БЕСПРОВОДНОГО ПОКРЫТИЯ WI-FI В КРУПНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ

*Съедина Кира Константиновна*

*студент,*

*Российский экономический*

*университет имени Г.В. Плеханова,*

*РФ, г. Москва*

*Клячин Марк Сергеевич*

*научный руководитель,*

*ст. преп.,*

*Российский экономический*

*университет имени Г.В. Плеханова,*

*РФ, г. Москва*

## RESEARCH OF MESH SYSTEMS AS A METHOD FOR ENSURING HIGH-QUALITY WI-FI WIRELESS COVERAGE IN LARGE RESIDENTIAL COMPLEXES

*Sedina Kira Konstantinovna*

*Student,*

*Plekhanov Russian University*

*of Economics,*

*Russia, Moscow*

*Klyachin Mark Sergeevich*

*Scientific supervisor,*

*Senior Lecturer,*

*Plekhanov Russian University*

*of Economics,*

*Russia, Moscow*

**Аннотация.** В рамках работы проводится детальный сравнительный анализ mesh-систем с традиционными методами расширения сети, включая репитеры и адаптеры Powerline. Рассматриваются архитектурные особенности данных технологий, механизмы бесшовного роуминга, а также их основные преимущества. Результаты исследования предоставляют основу для разработки практических рекомендаций по выбору и оптимизации этих систем в реальных эксплуатационных условиях.

**Abstract.** The study includes a detailed comparative analysis of mesh systems with traditional network expansion methods, including repeaters and Powerline adapters. The architectural features of these technologies, seamless roaming mechanisms, as well as their main advantages are considered. The results of the study provide a basis for developing practical recommendations on the selection and optimization of these systems in real-world operating conditions.

**Ключевые слова:** mesh-сеть; Wi-Fi; беспроводное покрытие; бесшовный роуминг; ячеистая топология; умный дом; сетевая инфраструктура; жилой комплекс; 802.11k/v/r; самовосстанавливающаяся сеть.

**Keywords:** mesh network; Wi-Fi; wireless coverage; seamless roaming; mesh topology; smart home; network infrastructure; residential complex; 802.11k/v/r; self-healing network.

Конвергенция сетевых услуг, включая распространение концепции «умного дома» и увеличение количества беспроводных устройств Интернета вещей (IoT), предъявляет повышенные требования к пропускной способности и управлению домашними сетями [4, с. 38]. В крупных жилых комплексах с сложной планировкой традиционная топология сети с единой точкой доступа становится неэффективной из-за «мёртвых зон» и нестабильного соединения, требуя ручного переключения между сетями. Традиционные решения, такие как репитеры Wi-Fi и адаптеры Powerline, уступают в скорости, надёжности и удобстве управления [5, с. 42-43]. В этом контексте mesh-системы представляют собой инновационное решение, которое существенно меняет принципы создания домашних беспроводных сетей [3].

Исторически первой реакцией на проблемы слабого сигнала было использование репитеров Wi-Fi. Их ключевой недостаток заключается в делении полезной пропускной способности, так как один радиомодуль устройства одновременно принимает и ретранслирует данные на одной частоте, создавая отдельную сеть (SSID), что требует от пользователя ручного переключения и исключает возможность непрерывной трансляции данных [4, с. 709-714].

Альтернативой являются адаптеры Powerline, использующие электропроводку. Однако их эффективность зависит от качества и возраста электрических линий, а также подвержена влиянию помех от бытовой техники, что приводит к непредсказуемой скорости [1].

Оба подхода не обеспечивают истинно бесшовную технологию роуминга, то есть автоматического и незаметного для пользователя перехода устройства между точками доступа. Так недостатки традиционных решений обосновывают необходимость перехода к mesh-топологии.

Mesh-сеть (ячеистая сеть) представляет собой систему, состоящую из нескольких однотипных модулей (нод), которые формируют единую зону покрытия с единым именем сети. Один из модулей выполняет функцию шлюза, подключаясь к интернет-кабелю, остальные служат в качестве спутников, стратегически размещаемых в помещениях. Ключевым отличием mesh-сетей является наличие выделенного канала связи (backhaul), предназначенного для служебной коммуникации между нодами. Это позволяет освободить основной канал для клиентских устройств, при этом сохраняя высокую скорость передачи данных.

Для обеспечения бесшовности роуминга, критически важной для пользовательского опыта, mesh-сети используют набор протоколов стандарта IEEE 802.11. IEEE 802.11k (Radio Resource Measurement) позволяет клиентскому устройству запрашивать у точки доступа список соседних нод с лучшим сигналом. IEEE 802.11v (Wireless Network Management) предоставляет точке доступа возможность передавать клиенту рекомендации по оптимальному подключению. IEEE 802.11g (Fast BSS Transition) обеспечивает быстрое переподключение и аутентификацию при переходе между нодами, что особенно важно для голосовых звонков (VoIP) [7]. Алгоритмы самоорганизации в mesh-сетях анализируют качество каналов и загруженность, автоматически выбирая оптимальные маршруты. При выходе из строя узла сеть перенастраивается, обходя его, что обеспечивает отказоустойчивость и самовосстановление структуры.

Для наглядного представления преимуществ mesh-систем составлена сравнительная таблица (Таблица 1), основанная на анализе технических характеристик и пользовательских сценариев [2, 3].

Таблица 1.

## Сравнительный анализ технологий расширения Wi-Fi-покрытия

Критерий	Традиционный роутер	Wi-Fi репитер	Powerline-адAPTERы	Mesh-система
Зона покрытия	Ограничена	Расширяется с потерей качества	Зависит от проводки	Максимальная, однородная
Пропускная способность	Высокая вблизи точки	Падает на 50% и более	Нестабильная, непредсказуемая	Стабильно высокая по всей зоне
Бесшовный роуминг	Отсутствует	Отсутствует (ручное переключение)	Часто отсутствует	Полностью автоматический
Управление	Одна изолированная сеть	Две, разрозненные сети	Отдельная сеть	Единая централизованная сеть
Масштабируемость	Низкая	Средняя (с деградацией)	Ограничена розетками	Высокая, гибкая (докупаются ноды)

Анализ демонстрирует, что mesh-технологии представляют собой значимый этап в развитии домашних беспроводных сетей. Их ячеистая структура, использующая интеллектуальную маршрутизацию, независимый backhaul-канал и поддержку стандартов беспроводности роуминга (IEEE 802.11k/v/r), эффективно устраняет ограничения традиционных решений и успешно выполняет несколько ключевых функций:

1. Устраняет «мёртвые зоны» благодаря равномерному распределению узлов, что обеспечивает стабильное покрытие во всех помещениях.

2. Поддерживает высокую плотность подключений с помощью интеллектуального распределения нагрузки между узлами, что предотвращает перегрузку сети.

3. Упрощает развертывание и управление, в связи с чем настройка всей системы осуществляется через единое мобильное приложение, доступное даже для пользователей без специализированных технических знаний.

4. Обеспечивает гибкость конфигурации, благодаря чему система может быть адаптирована к специфической планировке путём добавления дополнительных модулей.

Таким образом, mesh-технологии в крупных жилых комплексах обеспечивают высококачественное, надёжное и эффективно управляемое Wi-Fi покрытие, что делает их удобными, технически обоснованными и экономически целесообразными решениями. Как показывает анализ конкретных

рыночных предложений, современные mesh-системы, такие как TP-Link Deco M4, уже реализуют ключевые принципы технологии – масштабируемость и централизованное управление покрытием – в доступном потребительском сегменте [6]. Перспективы развития mesh-сетей связаны с интеграцией стандартов Wi-Fi 6/6E и Wi-Fi 7 для увеличения пропускной способности и скорости, а также с углублённой интеграцией в экосистемы «умного дома», где сеть станет не только коммуникационной средой, но и активным элементом управления.

### Список литературы:

1. Башкиров А. В., Муратов А. В., Свиридова И. В. Технология Power Line Communication и ее применение // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – № 2(96). – С. 402–406.
2. Вишневский В.М., Дудин А.Н., Козырев Д.В., Ларионов А.А. Оценка производительности широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015): Материалы восемнадцатой международной конференции. – М., 2015. – С. 241–256.
3. Зиборов М. А. Самоорганизующиеся mesh-сети для частного использования // Научный результат. Информационные технологии. – 2019. – Т. 4, № 3. – С. 43–51.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание, доп. и испр. – СПб.: Питер, 2024. – 1008 с.
5. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2023. – 960 с.
6. TP-Link. Домашняя ячеистая система Wi-Fi Deco M4 [Электронный ресурс]. – URL: <https://tp-link.ru/catalog/mesh-sistemy/deco-m4-3-pack/> (дата обращения: 10.01.2026).
7. IEEE 802.11-2020. IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems–Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, 2020.
8. Wi-Fi Alliance. Wi-Fi CERTIFIED WPA3™ Specification. Version 3.3 [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://www.wi-fi.org/system/files/WPA3%20Specification%20v3.3.pdf> (дата обращения: 10.01.2026).

## 1.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГРИБОВ НА РОССИЙСКОМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ

*Парфенова Варвара Игоревна*

аспирант,  
Российский экономический университет  
им. Г. В. Плеханова,  
РФ, г. Москва

*Калачев Сергей Львович*

канд. техн. наук, доц.,  
Российский экономический университет  
им. Г. В. Плеханова,  
РФ, г. Москва

### PROSPECTS OF THE PRODUCTION OF EDIBLE CULTIVATED MUSHROOMS IN THE RUSSIAN FOOD MARKET

*Parfenova Varvara Igorevna*

Postgraduate Student,  
Plekhanov Russian University  
of Economics,  
Russia, Moscow

*Kalachev Sergey Lvovich*

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Plekhanov Russian University  
of Economics,  
Russia, Moscow

**Аннотация.** В настоящее время ассортимент съедобных грибов, культивируемых в России, расширился за счет появления на рынке

новых штаммов традиционных культивируемых грибов (вешенка, шампиньоны), а также новых (эноки, шиитаке, буна-симэдзи и др.). В статье рассмотрены перспективы производства съедобных культивируемых грибов как одного из направлений развития продовольственного рынка России.

**Abstract.** Currently, the range of edible mushrooms cultivated in Russia has expanded due to the introduction of new strains of traditional cultivated mushrooms (oyster mushrooms, champignons) and new mushrooms (enoki, shiitake, buna-shimeji, etc.) on the market. This article explores the prospects for the production of edible cultivated mushrooms as a potential development area for the Russian food market.

**Ключевые слова:** российский продовольственный рынок; производство; товародвижение; пищевая продукция; съедобные культивируемые грибы; продукты переработки съедобных культивируемых грибов.

**Keywords:** Russian food market, production; goods turnover; food products; edible cultivated mushrooms; processed products of edible cultivated mushrooms.

Развитие сектора пищевой промышленности в Российской Федерации (далее – РФ) обеспечивается за счет реализации Национальных проектов «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» и «Технологическое обеспечение биоэкономики» [4]. Согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, одним из направлений государственной политики страны в области продовольственной безопасности является создание, внедрение и использование новых технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия для обеспечения населения качественной и безопасной пищевой продукцией. Такие технологии должны соответствовать экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным, а также иным требованиям [2]. Значительный интерес по созданию и дальнейшему использованию технологий по сохранению товарных и потребительских свойств в процессе товародвижения представляет пищевая продукция, относящаяся к скоропортящейся.

Согласно Решению Совета Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) от 17.10.2022 № 160 «Об утверждении перечня категорий товаров, подвергающихся быстрой порче, в отношении которых таможенные операции совершаются в первоочередном порядке» к скоропортящимся относятся свежая плодоовощная продукция (плоды, овощи, ягоды и грибы) [1]. В отношении реализации свежей плодоовощной продукции существует ряд проблем, прослеживаемых на разных этапах

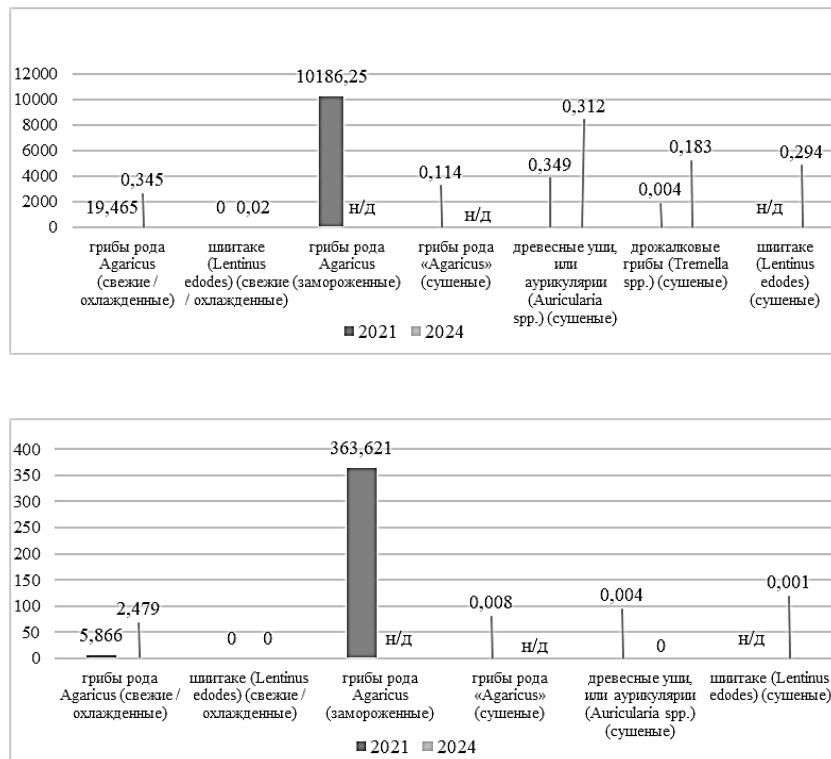
товародвижения, в особенности в процессах хранения. В целях обеспечения сохранности их товарных и потребительских свойств используются как классические методы консервирования (маринование, соление и др.), так и современные технологии хранения (регулируемая атмосфера, умная упаковка с GPS-трекерами и др.).

На сегодняшний день особое внимание уделяется съедобным культивируемым грибам. В первую очередь, это связано с экологичностью и относительно невысокими материальными затратами на их производство, а также ростом технологических достижений в агропромышленной отрасли. Во-вторых, увеличению производства съедобных культивируемых грибов в России способствовало продовольственное эмбарго. Более того, в настоящее время рост потребления съедобных культивируемых грибов среди россиян обусловлен вкусоароматическими свойствами продукта («грибным ароматом»), а также трендами на здоровый образ жизни (ЗОЖ) и диверсификацию питания [6].

Ежегодно в России потребляется приблизительно 180 т. съедобных грибов, значительная доля которых приходится на шампиньоны (лат. *Agaricus*) [5]. Стоит отметить, что ассортимент съедобных культивируемых грибов на российском продовольственном рынке также представлен грибами рода *Pleurotus eryngii* (эринги), *Flammulina velutipes* (эноки – зимние опята) *Lentinus edodes* (шиитаке), *Hypsizygus tessulatus* (буна-симэдзи,) и др.

В 2021-2023 г. наблюдается положительная динамика культивирования съедобных грибов в РФ: если в 2021 г. предприятия произвели 100 тыс. т. продукта, то в 2023 г. – на 31,5% больше, достигнув 145,9 тыс. т. В 2024 г. производство съедобных культивируемых грибов сократилось примерно на 4% – до 140,9 тыс. т. [5; 6]. Но, несмотря на отрицательный прирост, производство съедобных культивируемых грибов остается актуальным направлением на российском потребительском рынке. Согласно прогнозу Министерства сельского хозяйства РФ, за счет имплементации инновационных проектов в сферу грибоводства, к 2027 г. годовое производство таких культивируемых грибов, как шампиньоны, достигнет 57 тыс. т. [6].

На Рисунке 1 представлен объем импорта и экспорта свежих и охлажденных, а также замороженных и сушеных съедобных культивируемых грибов за 2024 г. Так, больший удельный вес на импорт и экспорт приходится на замороженные грибы рода *Agaricus* (шампиньоны). Более того, за период 2021-2024 гг. сократился объем импорта свежих и охлажденных шампиньонов и сушеної аурикулярии.



**Рисунок 1. Объем импорта (верх.) и экспорта (ниж.) съедобных грибов в РФ в 2021 г. и 2024 г., тыс. т. [7]**

Если рассматривать перспективы развития сегмента культивирования съедобных грибов в РФ, следует заметить, что оно предполагает сочетание инструментов бизнес-сегмента и научно-практических разработок в агропромышленном секторе [3]. К таким разработкам, например, относятся автоматизированные фермы, системы климатического контроля, специальные питательные смеси для выращивания грибов и др. [6]. Более того, необходимо проведение исследований товароведно-технологических свойств съедобных культивируемых грибов как источников питания и сырья, физико-химических процессов, протекающих при их транспортировке и хранении. Это позволит правильно подобрать режимы хранения, определить фактические сроки сохраняемости конкретных видов и штаммов грибов, что, соответственно, поможет

минимизировать товарные потери и снизить доли непродающихся отходов ритейла, а также сократить издержки на разных этапах товародвижения.

**Список литературы:**

1. Решение Совета ЕЭК от 17.10.2022 № 160 «Об утверждении перечня категорий товаров, подвергающихся быстрой порче, в отношении которых таможенные операции совершаются в первоочередном порядке»
2. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»
3. Петрушов Ю. А., Калачев С. Л. Характеристика рынка культивируемых грибов // XXXVIII международные Плехановские чтения: Сборник статей аспирантов и молодых ученых, Москва, 27–28 марта 2025 года. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». – 2025. – С. 546-550.
4. Национальные проекты [Электронный ресурс]. – Правительство России. – Режим доступа: <http://government.ru/tugovclassifier/section/2641/> (дата обращения: 28.12.2025)
5. Производство грибов в РФ в 2024 году уменьшилось на 4% [Электронный ресурс]. – АГРОМИКС. – Режим доступа: <https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-gribov/> (дата обращения: 07.12.2025)
6. Промышленное производство грибов в России: состояние отрасли, технологии выращивания, перспективы развития // Fabricators.ru. – Режим доступа: <https://fabricators.ru/article/promyshlennoe-proizvodstvo-gribov-v-rossii-sostoyanie-otrasli-tehnologii-vyrashchivaniya> (дата обращения: 07.12.2025)
7. Trade Map [Электронный ресурс]. – Trade Map. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.trademap.org/> (дата обращения: 30.11.2025)

## 1.5. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

### БУРЕНИЕ ШУРФОВ ПОД УСТАНОВКУ ВЕДУЩЕЙ БУРИЛЬНОЙ ТРУБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОМОНИТОРНОЙ НАСАДКИ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

*Катков Сергей Евгеньевич*  
директор, ООО «Татбурнефть»,  
РФ, г. Альметьевск

*Галишин Рамиль Наилевич*  
ведущий инженер,  
ООО «Татбурнефть»,  
РФ, г. Альметьевск

*Сафонов Олег Павлович*  
начальник отдела,  
ООО «Татбурнефть»,  
РФ, г. Альметьевск

*Кизуров Сергей Леонидович*  
начальник технологической службы,  
ООО «Татбурнефть»,  
РФ, г. Альметьевск

*Миронов Дмитрий Андреевич*  
заведующий сектором,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Кузьмина Марина Валентиновна**

инженер 2 категории,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Халикова Диляра Азатовна**

инженер 2 категории,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

**Фаттахов Ирик Галиханович**

д-р техн. наук, доц.,  
директор по повышению  
нефтеотдачи пластов,  
волновым и биотехнологиям,  
Институт «ТатНИПИнефть»  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,  
РФ, г. Альметьевск

## **DRILLING PITTINGS FOR INSTALLING KELLER PIPE USING A HYDROMONITOR NOZZLE: TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY**

**Katkov Sergey Evgenievich**

Director,  
Tatburneft LLC,  
Russia, Almetyevsk

**Nailevich Galishin Ramil**

Lead Engineer, Tatburneft LLC,  
Russia, Almetyevsk

**Safonov Oleg Pavlovich**

Head of Department,  
Tatburneft LLC,  
Russia, Almetyevsk

**Kizurov Sergey Leonidovich**  
Head of Technological Service,  
Tatburneft LLC,  
Russia, Almetyevsk

**Mironov Dmitry Andreevich**  
Head of Sector,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk

**Kuzmina Marina Valentinovna**  
Category 2 Engineer,  
TatNIPIneft Institute PJSC Tatneft  
after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk

**Khalikova Dilyara Azatovna**  
Engineer 2nd category,  
Institute "TatNIPIneft" PJSC "Tatneft"  
named after. V.D. Shashina,  
Russia, Almetyevsk

**Fattakhov Irrik Galikhanovich**  
Dr.Sc. (Eng.), Director for EOR,  
Wave Stimulation and Biotechnologies,  
TatNIPIneft Institute of PJSC TATNEFT  
named after V.D. Shashin,  
Russia, Almetyevsk

Введение новой технологии бурения шурфов под ведущую бурильную трубу с использованием гидромониторной насадки является актуальной задачей в контексте оптимизации начальных этапов строительства нефтяных и газовых скважин. Данный метод направлен на сокращение сроков вышкомонтажных работ и снижение материальных затрат, связанных с арендой традиционного бурового оборудования. В статье представлена технологическая и экономическая оценка бурения шурфов с применением гидромониторной насадки на примере пилотного проекта, реализованного специалистами ООО «Татбурнефть». Исследование включает детальное описание процесса бурения, анализ геологических условий и оценку экономической эффективности

в сравнении с традиционными подходами. Полученные результаты демонстрируют значительное снижение затрат на аренду долот и забойных двигателей, а также повышение безопасности работ за счет минимизации рисков обвалов стенок и появления грифонов. Подчеркивается возможность многократного использования шурфовой трубы, что дополнительно способствует экономической выгоде. Предложенная технология подтверждает свою высокую практическую значимость для повышения общей эффективности буровых операций и улучшения экономических показателей буровых предприятий.

Нефтегазовый комплекс играет ключевую роль в экономике Российской Федерации, обеспечивая энергетическую безопасность и значительную часть экспортных доходов страны. В условиях постоянного роста объемов добычи углеводородов, ежегодное увеличение которых требует соответствующего наращивания буровых работ, крайне актуальной становится проблема повышения эффективности и снижения затрат на строительство нефтяных и газовых скважин. Высокий уровень добычи диктует необходимость оптимизации всех этапов производственного цикла, начиная с подготовительных работ и заканчивая освоением и ликвидацией скважин.

Одним из наиболее значимых факторов, определяющих общую экономическую эффективность бурения, является продолжительность цикла строительства скважины. Сокращение этого цикла приводит к повышению производительности труда работников буровых предприятий, снижению себестоимости бурения (причем до 65% всех затрат зависят от его продолжительности) и более эффективному использованию дорогостоящего оборудования. Все это в конечном итоге обеспечивает рост прибыли и рентабельности производства.

Начальные этапы строительства скважин, включающие подготовку площадки, вышкомонтажные работы (ВМР), бурение и крепление шурфов (кондукторов), являются фундаментальными для всего последующего процесса. Эти операции традиционно сопряжены с существенными временными и материальными затратами. В частности, бурение шурфов под установку ведущей бурильной трубы (ВБТ) часто требует применения специализированного бурового оборудования, включая долота и забойные двигатели, аренда которых составляет значительную статью расходов. Помимо экономических аспектов, эти ранние стадии бурения подвержены геологическим и технологическим рискам, таким как обвалы стенок, размывы приустьевой зоны и потенциальное образование грифонов, что требует постоянного контроля и применения дорогостоящих противоаварийных мероприятий. Целью настоящего исследования является разработка и оценка технологической

и экономической эффективности нового подхода к бурению шурфов под установку ведущей бурильной трубы (ВБТ) с применением гидромониторной насадки. Данный метод рассматривается как инновационное решение для оптимизации начального этапа строительства нефтяных и газовых скважин.

Для достижения поставленной цели были определены следующие основные задачи:

1. Детально описать технологию бурения шурфов с использованием гидромониторной насадки, включая последовательность операций и применяемые параметры.

2. Проанализировать геологические и технологические условия, влияющие на применимость и эффективность данной технологии, с учетом свойств пород приустьевой зоны.

3. Оценить экономическую целесообразность внедрения гидромониторного бурения шурфов в сравнении с традиционными методами, основываясь на данных реального проекта.

Научная новизна исследования заключается в систематизации и анализе опыта применения гидромониторных насадок для бурения шурфов под ВБТ, что представляет собой подход к оптимизации начальных этапов строительства скважин. Данный аспект буровой технологии, несмотря на свою важность, остается недостаточно освещенным в комплексных научных публикациях, охватывающих как инженерно-технологические, так и экономические аспекты. Результаты работы позволяют выявить ранее не описанные преимущества и особенности применения такой технологии в различных геологических условиях.

Практическая значимость исследования определяется потенциалом внедрения предложенной технологии в широкую буровую практику. Она способствует значительному сокращению продолжительности вышкомонтажных работ и материальных затрат на аренду дорогостоящего бурового оборудования. Это обеспечивает повышение общей эффективности буровых операций, снижение операционных рисков в приустьевой зоне и, как следствие, улучшение экономических показателей буровых предприятий, что критически важно для устойчивого развития нефтегазовой отрасли.

Строительство нефтяных и газовых скважин представляет собой сложный процесс, включающий последовательные и взаимозависимые операции, которые охватывают весь цикл от подготовки площадки до эксплуатации и ликвидации скважины. Среди основных этапов выделяются: подготовка площадки под буровое оборудование, транспортировка, вышкостроение и монтаж оборудования, механическое

углубление, крепление и промывка скважин, вспомогательные работы и спускоподъемные операции, а также освоение и последующая эксплуатация.

Шурф является одной из важнейших составляющих подготовительного этапа бурения. Его бурение и крепление предшествуют установке основного бурового оборудования и служат для обеспечения устойчивости приусыевой зоны скважины. В контексте конструкции скважины, шурф часто ассоциируется с направляющей колонной (направлением), которая является первой обсадной колонной. Направление, имеющее длину от 5 до 300 м, опускается в верхнюю часть ствола скважины с целью изоляции верхнего наносного слоя почвы. Это позволяет предотвратить обрушения стенок и размыть устья скважины, а также обеспечивает отвод восходящего потока бурового агента в очистную систему. Направляющая колонна, как правило, цементируется по всей длине для обеспечения надежной изоляции. Подчеркивается, что конструкция скважины в целом представляет собой комплекс информации о количестве и диаметрах обсадных колонн, типах буровых долот и интервалах цементирования. Рациональная конструкция скважины должна соответствовать геологическим условиям бурения, назначению скважины и обеспечивать условия для эффективного бурения и последующей эксплуатации.

При механическом способе бурения горные породы разрушаются под действием бурового инструмента, что создает в породе значительные местные напряжения, приводящие к ее разрушению. Основными видами разрушения являются смятие и скальвание. При вращательном бурении породы срезаются, раздавливаются или истираются специальными режущими и дробящими долотами. Гидромониторный эффект является ключевым аспектом в процессе эффективного разрушения горных пород и очистки забоя. Он основан на использовании кинетической энергии потока промывочной жидкости, выходящей из отверстий долота. Увеличение гидравлической мощности, преобразуемой в кинетическую энергию струи, приводит к значительному увеличению проходки на долото и механической скорости бурения. Наблюдения показывают, что существенный рост механической скорости проходки достигается при скорости струи, вытекающей из насадок гидромониторного долота, превышающей 60-75 м/с. Этот эффект способствует более эффективной очистке забоя от выбуренной породы, предотвращая ее вторичное дробление и снижая сопротивление долоту.

Буровой раствор, или промывочная жидкость, является не просто средством для удаления шлама, но и одним из главных факторов, обеспечивающих эффективность всего процесса бурения. Его функции

многообразны и критически важны для безопасного, экономичного и эффективного выполнения буровых работ. К основным функциям бурового раствора относятся:

1. Удержание частиц выбуренной породы во взвешенном состоянии: это предотвращает прихваты бурильного инструмента при прекращении циркуляции, благодаря тиксотропным свойствам раствора.

2. Облегчение процесса разрушения горных пород на забое: активное воздействие раствора, особенно с добавлением понизителей твердости, способствует снижению прочности породы, проникая в микротрещины и образуя адсорбционные пленки.

3. Сохранение устойчивости стенок скважины: гидростатическое давление столба промывочной жидкости, а также образование фильтрационной корки в порах и тонких трещинах, предотвращают обвалы, набухание и пластичное течение пород.

4. Создание гидростатического равновесия в системе «ствол скважины – пласт»: это позволяет избежать нежелательных осложнений, таких как поглощения бурового раствора или газо-, нефте-, водопроявления.

В контексте бурения шурфов, для исключения размыва устья, основания буровой установки, а также риска обваливания стенок, используются глинистые буровые растворы с плотностью 1,08 – 1,12 г/см<sup>3</sup> и техническая вода плотностью 1,0 – 1,02 г/см<sup>3</sup>. Выбор жидкости зависит от категории грунта и должен обеспечивать стабильность ствола.

Строительство скважин неразрывно связано с риском возникновения различных осложнений и аварий, которые могут привести к значительным экономическим потерям и увеличению сроков работ. Одним из наиболее серьезных осложнений являются газо-, нефте- и водопроявления (ГНВП), а также образование грифонов. Грифоны представляют собой фонтанные проявления флюидов (нефти, газа, воды) на земную поверхность за пределами устья скважины, по трещинам или по контакту цемент-порода. Их возникновение часто связано с некачественной изоляцией высоконапорных пластов или негерметичностью обсадных колонн. Контроль за появлением грифонов в приуставной зоне критически важен, особенно на ранних стадиях бурения.

Исследование основано на анализе данных, полученных в ходе реализации опытно-промышленных работ ООО «Татбурнефть», направленных на оптимизацию бурения шурфов под установку ведущей бурильной трубы с применением гидромониторной насадки.

Особенности геологического разреза в приповерхностной зоне играют ключевую роль в выборе технологии бурения и предотвращении осложнений. На месторождении, где проводились испытания, грунты были классифицированы по категориям:

I категория: включает песок, супесь, суглинок легкий (влажный), грунт растительного слоя и торф. Эти породы характеризуются низкой прочностью и высокой склонностью к обвалам и размыву при воздействии бурового раствора.

II категория: включает суглинок, гравий мелкий и средний, глину легкую влажную. Эти породы также требуют особого внимания из-за их потенциальной неустойчивости и склонности к набуханию. Знание физико-механических свойств горных пород, таких как проницаемость, плотность, прочность, пластичность, абразивность и влажность, является критически важным для проектирования и управления процессами строительства скважин.

Для реализации технологии бурения шурфов с гидромониторной насадкой использовался стандартный комплекс бурового оборудования, адаптированный для данной задачи:

1. Ведущая бурильная труба (ВБТ): ВБТ выполняет функцию непосредственного углубления скважины и расширения ствола. В данной технологии ВБТ выступает в качестве колонны, на которую устанавливается гидромониторная насадка.

2. Вертлюг: Этот компонент служит для подвески вращающейся бурильной колонны и обеспечения непрерывной подачи бурового раствора под давлением внутрь колонны. Вертлюг является промежуточным звеном, отделяющим вращающуюся бурильную колонну от неподвижных частей талевой системы.

3. Ротор: Буровой ротор предназначен для вращения бурильной колонны. В контексте бурения шурфа с гидромониторной насадкой, ротор используется для удержания ВБТ на столе буровой установки и обеспечения возможности ее вращения.

4. Буровой насос: Буровые насосы преобразуют механическую энергию привода в гидравлическую энергию потока бурового раствора. Они обеспечивают необходимую циркуляцию промывочной жидкости в скважине для очистки забоя от выбуренной породы, ее выноса на поверхность, а также для охлаждения и смазки бурильного инструмента.

5. Вспомогательная лебедка: Используется для выполнения спуск-подъемных операций и манипуляций с оборудованием, в частности, для спуска шурфовой трубы после бурения гидромонитором.

6. Гидромониторная насадка: Ключевой элемент технологии. Насадка 25 мм для обсадных труб диаметром 245 мм, 178 мм или 168 мм устанавливаются на конце обсадной трубы, которая используется для бурения шурфа (рисунок 1 и рисунок 2).

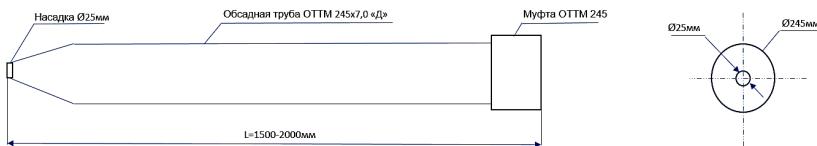


Рисунок 1. Схема гидромониторной насадки



Рисунок 2. Внешний вид гидромониторной насадки

Процесс бурения шурфов с использованием гидромониторной насадки включает следующие последовательные этапы:

1. ВБТ монтируется и обвязывается с вертлюгом, который обеспечивает подачу промывочной жидкости.

2. Гидромониторная насадка (Ø245мм или Ø168мм) устанавливается в ротор и свинчивается с ВБТ. Эта насадка фактически представляет собой концевой элемент колонны, через который будет подаваться жидкость.

3. Собранный компоновка перепускается через шурфовое отверстие в полу роторного модуля или буровой установки до заранее подготовленного шурфового приемника.

4. Бурение осуществляется с непрерывной промывкой буровым насосом. Расход промывочной жидкости составляет 10 – 25 л/сек. Регулирование расхода производится в зависимости от интенсивности выноса породы и скорости углубления шурфа. Рабочее давление: варьируется от 3,0 до 5,0 МПа. Это давление необходимо для создания гидромониторного эффекта и эффективного разрушения породы. Применились как глинистые буровые растворы с плотностью 1.08-1.12 г/см<sup>3</sup>, так и техническая вода с плотностью 1.0-1.02 г/см<sup>3</sup>. Выбор жидкости определялся категорией грунта и необходимостью исключения размыва и обваливания стенок.

5. В ходе бурения осуществляется постоянный контроль за состоянием устья скважины. Особое внимание уделяется появлению грифонов в районе устьевой зоны, что указывает на нарушение стабильности.

6. По мере достижения проектной глубины бурения производится шаблонировка шурфа. В случае отсутствия посадок и затяжек, ВБТ извлекается. Затем, с применением вспомогательной лебедки, в шурф спускается обсадная труба необходимого типоразмера.

7. По окончании строительства скважины, шурфовая труба извлекается, что позволяет использовать ее повторно на следующих скважинах. Это снижает материальные затраты на каждую последующую скважину.

Экономическая составляющая новой технологии оценивается путем сравнения ее с затратами, связанными с традиционными методами бурения шурфов (винтовой забойный двигатель + долото). Сравнение реальных промысловых трудозатрат приведено в Таблице 1.

**Таблица 1.**

**Сравнение трудозатрат**

№	Операция	Время, ч	
		Традиционная технология (ВЗД + долото)	Новая техноло- гия (Гидромони- торная насадка)
1	Фактическое время выполнения операции, ч	3,33	0,75
1.1	Сборка КНБК	1,67	0,17
1.2	Бурение шурфа	1	0,33
1.3	Разборка КНБК	0,58	0,17
1.4	Спуск шурфа	0,08	0,08
2	Средняя стоимость часа работы буровой, тыс. руб.	35	
3	Стоимость аренды ВЗД и долота, тыс. руб.	0	60
4	Стоимость применения технологии на 1 скв., тыс. руб. (п.1 + п.2 + п.3)	117	86
5	Экономический эффект от применения новой технологии на 1 скв., тыс. руб.	0	– 31
6	Прогнозное количество скважин, на которых возможно применение новой технологии, шт.	50	

№	Операция	Время, ч	
		Традиционная технология (ВЗД + долото)	Новая техноло- гия (Гидромони- торная насадка)
7	Экономический эффект от применения новой технологии на фонд внедрения, тыс. руб.		1 550

Таким образом, внедрение технологии бурения шурфов под установку ведущей бурильной трубы с применением гидромониторной насадки, как показал пилотный проект ООО «Татбурнефть», является технологически эффективным и экономически обоснованным решением для оптимизации начальных этапов строительства нефтяных и газовых скважин. Предложенная технология позволяет эффективно бурить шурфы в различных категориях грунтов, используя гидромониторный эффект, создаваемый подачей промывочной жидкости через специальную насадку. Это обеспечивает эффективное разрушение породы и качественный вынос шлама. Применение гидромониторного бурения способствует минимизации рисков обвалов стенок, размыва устья и основания буровой установки, а также позволяет своевременно контролировать появление грифонов в приуставевой зоне. Это достигается за счет точного регулирования параметров промывки и выбора адекватных промывочных жидкостей, что повышает общую безопасность работ.

В целом, достигнутая цель по разработке и оценке эффективности новой технологии бурения шурфов полностью подтверждена результатами опытно-промышленных испытаний. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более широкое внедрение данной технологии в различных геологических условиях, а также на разработку стандартизованных рекомендаций по ее применению, включая оптимизацию параметров промывки для различных типов пород и автоматизацию контроля за процессом бурения.

### Список литературы:

1. Овчинников В.П., Агзамов Ф.А. и др. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов вузов. – В 5 т. Т. 2 / под общ.ред. В.П. Овчинникова. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 560 с
2. Леонов Е.Г. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин: в 2 ч. Ч. 1: Гидроаэромеханика в бурении / Е.Г. Леонов, В.И. Исаев. – М.: Недра, 2006. – 413 с.
3. Третьяк А.Я. Технологии улучшения очистки ствола скважины / Третьяк А.Я. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 7–13. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4716.

4. Сериков Д.Ю. Перспективная конструкция гидромониторной насадки шарошечного бурового инструмента / Сериков Д.Ю. // Сфера. Нефть и Газ. – 2022. – № 3 (86). – С. 72–78.
5. Рязанов А.А. Технология повторного вскрытия пласта методом радиального бурения каналов с использованием технической системы «Перфобур» / Рязанов А.А., Ермаков А.С., Папиж В.А. и др. // Бурение и нефть. – 2023. – № 5. – С. 12–17. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-5(653)-5-12.
6. Тимофеев Н. Г. Исследование и совершенствование технологии бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2015. – 176 с.
7. Бакирова А.Д. Проблемы и решения, возникающие при бурении скважин в неустойчивых глинисто-аргиллитовых породах / А.Д. Бакирова, Д. В. Шаляпин, Э. В. Бабушкин [и др.]. – DOI 10.31660/0445-0108-2020-2-18-25. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 2. – С. 18–25.
8. Минтруд России. Профессиональный стандарт «Бурильщик эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ» (Приказ № 926н от 27.12.2021).
9. Лягов И.А. Методология расчёта технической эффективности силовых секций малогабаритных винтовых забойных двигателей для системы «Перфобур» / Лягов И.А., Балденко Ф.Д., Лягов А.В. и др. // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С. 694–703.
10. Zhao, X., Yin, Q., Yang, J., Long, Y., Liu, H., & Guo, Y. (2022). Risk assessment of surface conductor jetting installation during deep-water drilling in sloping seabed. Ocean Engineering, 266, 113057.Bains P. CO<sub>2</sub> capture from the industry sector / Bains P., Psarras P., Wilcox J. // Prog Energy Combust Sci. 2017;63:146–72.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

#### МАТЕМАТИКА

#### 2.1. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

#### НЕЛИНЕЙНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

*Любич Артём Алексеевич*

студент,  
Кузбасский гуманитарно-  
педагогический институт,  
ФГБОУ ВО Кемеровский  
государственный университет,  
РФ, г. Новокузнецк

*Загорский Кирилл Павлович*

студент,  
Кузбасский гуманитарно-педагогический институт,  
ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет,  
РФ, г. Новокузнецк

#### NONLINEAR MATHEMATICAL MODELS

*Lyubich Artyom Alekseevich*

Student,  
Kuzbass Humanitarian  
and Pedagogical Institute,  
Kemerovo State University,  
Russia, Novokuznetsk

**Zagorsky Kirill Pavlovich**

*Student,*

*Kuzbass Humanitarian  
and Pedagogical Institute,  
Kemerovo State University,  
Russia, Novokuznetsk*

**Аннотация.** Статья посвящена нелинейным математическим моделям. Рассмотрены их основные типы, ключевые свойства, методы исследования и практическая значимость в различных областях знания.

**Abstract.** The article focuses on nonlinear mathematical models. It examines their main types, key properties, research methods, and practical significance across various fields of study.

**Ключевые слова:** нелинейные модели, математическое моделирование, динамические системы, устойчивость, линеаризация, численные методы.

**Keywords:** nonlinear models, mathematical modeling, dynamical systems, stability, linearization, numerical methods.

Математическое моделирование [1] является одним из ключевых инструментов описания сложных процессов в естественных науках, инженерии, экономике и биологии. Важнейшее место среди этих методов занимают нелинейные математические модели, поскольку большинство реальных систем демонстрирует поведение, которое невозможно адекватно описать линейными зависимостями. Нелинейные модели позволяют учитывать насыщение, ограничение ресурсов, экспоненциальный рост, наличие пороговых эффектов и другие особенности, характерные для реальных объектов.

Нелинейной называется математическая модель, в которой связь между переменными не может быть выражена линейной функцией вида  $y = ax + b$ . К нелинейным моделям относят случаи, где используются степенные функции, экспоненциальные, логарифмические, рациональные, логистические, а также смешанные типы функций.

Нелинейные модели можно разделить на несколько основных групп. Статические, или алгебраические, модели характеризуют уставновившиеся зависимости между параметрами системы. Примерами служат вольтамперная характеристика диода

$$I = I_s(e^{V/(nV_T)} - 1),$$

зависимость спроса от цены

$$Q = a - bP + cP^2,$$

а также различные тепловые и механические нелинейные зависимости

$$y = ax^3, y = \sqrt{x}.$$

Динамические модели [3], описываемые дифференциальными уравнениями, показывают изменение системы во времени. К ним относятся закон охлаждения Ньютона:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{\text{окр}}),$$

уравнение логистического роста

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right),$$

модели зарядки RC-цепи с нелинейным элементом (например, диодом), а также модели накопления средств со сложными процентами и изменяющейся доходностью.

Отдельную важную категорию составляют модели с обратной связью, используемые в экономике, инженерии и экологии. К ним относятся различные регуляторы, автоколебательные системы и классические модели типа «хищник–жертва».

Нелинейные системы обладают рядом особенностей, которые отличают их от линейных. К ним относятся: наличие нескольких решений (система может иметь несколько равновесных состояний); сложная картина устойчивости, когда даже небольшие изменения параметров могут резко изменить поведение; пороговые эффекты, при которых система кардинально меняет режим работы при достижении определённого уровня; эффект насыщения, когда увеличение входного воздействия перестаёт приводить к росту отклика; и нелинейная чувствительность, при которой малое изменение параметра вызывает непропорционально сильную реакцию. Эти особенности делают нелинейные модели одновременно более реалистичными и более сложными для анализа.

Исследование нелинейных математических моделей является более сложной задачей по сравнению с линейными, поскольку

аналитические решения таких моделей существуют далеко не всегда. В связи с этим разработан широкий спектр методов анализа.

Графический метод является первым и наиболее наглядным шагом исследования нелинейной зависимости. Он позволяет визуально оценить форму функции, определить наличие экстремумов, выявить точки насыщения или перегиба, а также определить диапазон изменения выходных переменных. Для динамических моделей, описываемых дифференциальными уравнениями, часто используют фазовые портреты – графики, отражающие траекторию системы в пространстве состояний. Такие графики позволяют увидеть циклы, стремление к равновесию, а также оценить устойчивость или неустойчивость решений.

Когда точное аналитическое решение недоступно, широко применяется метод линеаризации. Поведение системы около точки равновесия можно описать, аппроксимировав её линейной моделью. Суть метода заключается в нахождении стационарной точки  $x_0$  и разложении функции в ряд Тейлора около этой точки с сохранением только первого порядка малости:  $f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$ . Линеаризация особенно востребована в инженерных системах управления, моделировании электротропей и экономических моделях с малым отклонением параметров от нормы, так как позволяет оценивать устойчивость и характер отклика системы на малые возмущения.

Одной из ключевых задач в нелинейных моделях [2] является определение устойчивости равновесных состояний. Именно этот параметр показывает, как система ведёт себя при малых отклонениях: возвращается ли к устойчивому равновесию, наращивает ли отклонения в случае неустойчивости или демонстрирует полуустойчивое поведение. Для анализа устойчивости используют знак производной в статических моделях, собственные значения матрицы Якоби в многопараметрических системах, метод Ляпунова в сложных кинетических моделях и анализ фазовых диаграмм. Этот метод широко применяют при исследовании популяций, моделей распространения инфекции, электронных схем и любых процессов с обратными связями [5].

В большинстве случаев нелинейные уравнения и системы не имеют аналитического решения, поэтому используются численные методы [6]. К ним относятся метод последовательных приближений и метод Ньютона для нахождения корней алгебраических уравнений. Для решения дифференциальных уравнений применяют метод Эйлера, усовершенствованный метод Эйлера и семейство методов Рунге–Кутты, которые являются наиболее популярными. Численные методы стоят в основе всех компьютерных симуляторов, начиная от моделирования климата и заканчивая расчётом электрических схем. Нелинейные

модели находят широкое применение в технике, например моделирование электронных компонентов, термодинамика, в экономике это анализ спроса, оптимизация прибыли, модели финансовых рынков, в биологии участвует в росте популяций, взаимодействие видов, в физике используется в механике, колебаниях, теплопередач и в химии кинетика реакций с насыщением. Именно нелинейность позволяет моделировать ключевые реальные эффекты: экспоненциальный рост, насыщение, пороговый переход и резкие изменения поведения системы [4]. Таким образом, нелинейные математические модели являются важнейшим инструментом анализа сложных процессов, встречающихся в природе, технике и экономике. Они позволяют описывать системы, поведение которых невозможно представить в виде простой пропорциональной зависимости. Понимание структуры и свойств нелинейных моделей, а также владение методами их анализа – графическими, численными и аналитическими – позволяет эффективно применять их в различных областях знания для изучения реальных процессов.

### **Список литературы:**

1. Аюпов, В.В. Математическое моделирование технических систем: учебное пособие / В.В.Аюпов; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2017. – 242 с.
2. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 192 с.
3. Звонарев, С. В. Основы математического моделирования : учебное пособие / С. В. Звонарев. – Екатеринбург : Изд-во Урал, 2019. – 112 с.
4. Малинецкий, Г. Г. Математические основы синергетики : хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. – 7-е изд. – Москва : ЛЕНАНД, 2019. – 312 с.
5. Мышкис, А. Д. Элементы теории математических моделей / А. Д. Мышкис. – 5-е изд., испр. – Москва : ЛЕНАНД, 2020. – 192 с.
6. Самарский, А. А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – Москва : URSS, 2016. – 320 с.

## ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТА В РЕЧЬ, ИНТЕГРИРОВАННАЯ В ADOBE ANIMATE ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Нгуен Тхе Сон*

*магистр,*

*Офицерское училище  
Военно-Воздушных Сил,  
Вьетнам, г. Khanh Hoa*

## AN INTERACTIVE TEXT-TO-SPEECH SYSTEM INTEGRATED INTO ADOBE ANIMATE FOR E-LEARNING APPLICATIONS

*Nguyen The Son*

*Master,*

*Air Force Officer's College,  
Vietnam, Khanh Hoa*

**Аннотация.** В условиях цифровой трансформации образования наблюдается устойчивый рост потребности в интерактивных электронных лекциях и мультимедийных учебных материалах, объединяющих текстовую, речевую и анимационную информацию. В статье представлена интерактивная система преобразования текста в речь, реализованная в среде Adobe Animate с использованием ActionScript 3 и ориентированная на задачи электронного обучения. Предложенное решение основано на трёхуровневом гибридном алгоритме семантической сегментации текста, модуле многостадийного управления воспроизведением аудио с отслеживанием позиции байтов и мультиконтекстной архитектуре, обеспечивающей независимую обработку нескольких текстовых областей. Экспериментальные результаты подтверждают повышение естественности синтезированной речи, устойчивости работы системы и уровня интерактивности по сравнению с традиционными подходами к использованию технологий TTS.

**Abstract.** In the context of digital transformation in education, there is a growing demand for interactive electronic lectures that integrate text, speech, and animation. This paper presents a text-to-speech system implemented in Adobe Animate using ActionScript 3 and designed for e-learning applications. The proposed solution is based on a three-level semantic text segmentation algorithm, a multi-stage audio playback control module,

and a multi-container architecture. Experimental results demonstrate improved speech naturalness, system stability, and interactivity compared to traditional TTS approaches.

**Ключевые слова:** Преобразование текста в речь, Adobe Animate, электронное обучение, цифровое образование; семантическая сегментация текста; мультимедийный контент.

**Keywords:** Text-to-Speech, Adobe Animate, E-learning, digital education; semantic text segmentation; multimedia content.

## 1. Введение

Быстрое развитие цифровых образовательных экосистем и онлайн-платформ обучения обусловило активное внедрение мультимедийных технологий, направленных на повышение эффективности усвоения знаний и качества образовательного процесса. Одной из ключевых таких технологий является преобразование текста в речь (Text-to-Speech, TTS), позволяющее автоматизировать озвучивание учебных материалов, повысить доступность образовательных ресурсов для обучающихся с нарушениями зрения и снизить затраты на создание мультимедийного контента по сравнению с традиционной записью дикторского голоса.

Несмотря на широкое распространение TTS-технологий, их практическое применение в современных системах электронного обучения остаётся ограниченным. Большинство существующих решений ориентированы на линейное воспроизведение коротких текстовых фрагментов, не предоставляют средств интерактивного управления процессом озвучивания и не обеспечивают синхронизацию речи с элементами пользовательского интерфейса и анимации. Данные ограничения существенно снижают педагогическую и дидактическую эффективность мультимедийных учебных материалов.



**Рисунок 1. Иллюстративный пример программного обеспечения, разработанного с использованием Adobe Animate со встроенной функцией преобразования текста в речь (TTS)**

Среда Adobe Animate широко используется при разработке интерактивных электронных лекций, учебных симуляций и анимационных обучающих модулей. Вместе с тем в данной среде отсутствуют встроенные средства синтеза речи, а язык ActionScript 3 не предоставляет нативных механизмов для расширенного управления воспроизведением аудио, таких как приостановка и возобновление проигрывания. В результате разработчики электронного обучения сталкиваются с существенными трудностями при создании автоматизированных систем озвучивания, глубоко интегрированных в логику учебного контента.

Научная новизна настоящей работы заключается в разработке интерактивной системной архитектуры преобразования текста в речь, интегрированной в Adobe Animate и ориентированной на задачи электронного обучения. Впервые предложен трёхуровневый гибридный алгоритм семантической сегментации текста, обеспечивающий устойчивую обработку длинных текстовых блоков в условиях ограничений облачных TTS-сервисов. Кроме того, реализован оригинальный механизм многостадийного управления воспроизведением аудио на основе отслеживания позиции байтов, а также мультиконтекстная архитектура, позволяющая независимо управлять несколькими текстовыми областями и синхронизировать речь с анимацией.

Цель исследования состоит в повышении интерактивности, устойчивости и дидактической эффективности электронного обучения

за счёт глубокой интеграции технологий синтеза речи в мультимедийные образовательные среды.

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

### 2.1. Сбор и упорядочивание текстовых элементов

В проектах Adobe Animate текстовые данные, как правило, размещаются внутри иерархии вложенных объектов типа MovieClip. Для формирования корректной последовательности озвучивания, соответствующей визуальному восприятию обучающихся, в рамках предлагаемой системы используется алгоритм рекурсивного обхода иерархического дерева отображаемых объектов. Целью данного алгоритма является автоматизированное извлечение всех активных элементов TextField, представленных на сцене.

Для каждого текстового элемента вычисляются его глобальные координаты, после чего выполняется сортировка в порядке сверху вниз и слева направо. Такой подход обеспечивает корректную обработку сложных пользовательских интерфейсов, включая глубоко вложенные MovieClip-элементы, маскированные объекты и текст, распределённый по различным кадрам анимации.

### 2.2. Трёхуровневый гибридный алгоритм семантической сегментации текста

Одной из ключевых проблем при использовании облачных TTS-сервисов, в частности Google Text-to-Speech, являются ограничения на длину текстовых запросов и снижение естественности речи при синтезе длинных строк. Для преодоления данных ограничений в работе предложен трёхуровневый гибридный алгоритм семантической сегментации текста.

На первом уровне осуществляется разбиение текста по сильным знакам препинания с сохранением базовой синтаксической структуры предложений. Второй уровень предназначен для дополнительного деления чрезмерно длинных фрагментов с использованием союзов и дискурсивных маркеров с целью соблюдения оптимальных ограничений длины TTS-запросов. Третий уровень основан на семантико-дискурсивных эвристических правилах, учитывающих фокус содержания, границы подлежащего и сказуемого, а также точки логических переходов.

В отличие от традиционных подходов, основанных исключительно на формально-синтаксических признаках, предложенный алгоритм сочетает структурные и семантические характеристики текста, что позволяет приблизить просодическую структуру синтезированной речи

к естественной человеческой интонации и повысить качество восприятия учебного материала.

### **2.3. Многостадийное управление воспроизведением аудио**

В связи с отсутствием в ActionScript 3 нативной поддержки функций приостановки и возобновления воспроизведения аудио в системе реализован механизм управления на основе отслеживания позиции байтов объекта SoundChannel. При постановке воспроизведения на паузу текущая позиция сохраняется, а при возобновлении аудиосигнал повторно загружается и воспроизводится, начиная с сохранённого положения. Данный подход обеспечивает устойчивую реализацию интерактивных функций управления воспроизведением.

### **2.4. Мультиконтейнерная архитектура**

Система построена на основе мультиконтейнерной архитектуры, в рамках которой каждая текстовая область обладает собственной очередью синтеза речи, состоянием воспроизведения и механизмами синхронизации с анимацией. Такой подход обеспечивает независимую обработку нескольких текстовых блоков и поддерживает нелинейные траектории обучения, ориентированные на индивидуальные особенности обучающихся.

### **2.5. Мониторинг состояния сети и синхронизация с анимацией**

Для повышения устойчивости работы системы в условиях нестабильного сетевого соединения реализован модуль мониторинга сети, автоматически управляющий состоянием элементов управления и повторной загрузкой аудиоданных. Каждый сегмент текста связан с соответствующими анимационными состояниями, что обеспечивает синхронизацию речи с визуальными событиями и способствует более глубокому когнитивному восприятию учебного материала.

## **3. Особенности практической реализации системы**

Предлагаемая система была реализована и интегрирована в реальные мультимедийные учебные модули, разработанные в среде Adobe Animate. В процессе практической реализации особое внимание уделялось обработке ограничений облачных TTS-сервисов, управлению очередями синтеза речи, восстановлению воспроизведения при сетевых сбоях, а также синхронизации аудиоконтента с анимационными элементами. Практическое использование системы подтвердило её корректную работу при озвучивании протяжённых текстовых материалов и взаимодействии с несколькими независимыми текстовыми контейнерами

в рамках одного учебного сценария. Полученные результаты свидетельствуют о применимости предложенных архитектурных и алгоритмических решений для разработки интерактивных образовательных мультимедийных приложений.

#### 4. Заключение

В статье представлена интерактивная система преобразования текста в речь, интегрированная в среду Adobe Animate и ориентированная на задачи электронного обучения. Использование трёхуровневого гибридного алгоритма семантической сегментации текста, многостадийного управления воспроизведением аудио и мультиконцептной архитектуры позволяет эффективно преодолеть ограничения традиционных TTS-решений и повысить дидактическую эффективность мультимедийных учебных материалов.

Предложенный подход может рассматриваться как перспективное направление развития интеллектуальных мультимедийных систем электронного обучения и служить основой для дальнейших исследований, связанных с интеграцией нейросетевых моделей синтеза речи и адаптацией системы к современным веб-платформам.

#### Список литературы:

1. Google Developers. Text-to-Speech API. 2024.
2. Adobe Inc. Adobe Animate ActionScript 3 Documentation. 2023.
3. Taylor P. Text-to-Speech Synthesis. Cambridge University Press, 2020.
4. Schultz T., Kirchhoff K. Multilingual Processing in Speech Technology. Elsevier, 2019.
5. Gales M. et al. Speech Synthesis and Applications. IEEE Signal Processing Magazine, 2021.

## РАЗДЕЛ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. ОПТИКА

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА МОТИВАЦИЮ И ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРЕС УЧАЩИХСЯ К РАЗДЕЛУ «СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

*Юдина Светлана Юрьевна*

*магистрант,  
Казахский национальный  
педагогический университет имени Абая,  
Казахстан, г. Алма-Ата*

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние различных видов образовательных ресурсов – лабораторных работ, практического решения задач и виртуальных лабораторий – на формирование познавательного интереса и учебной мотивации учащихся при изучении темы «Световые явления» курса физики средней школы. Анализируются возможности применения традиционных и электронных средств обучения, а также их влияние на активизацию познавательной деятельности. Показано, что сочетание реальных и виртуальных экспериментов способствует повышению мотивации, улучшает качество усвоения учебного материала и формирует устойчивый интерес к физике.

**Ключевые слова:** физика, световые явления, мотивация, познавательный интерес, образовательные ресурсы, виртуальная лаборатория, цифровые технологии.

#### Введение

Современная система образования Республики Казахстан направлена на повышение качества обучения и формирование личности,

способной к самостоятельному мышлению и исследовательской деятельности. В контексте обновления содержания среднего образования особое значение приобретает развитие познавательного интереса учащихся, который является важным фактором успешного усвоения учебного материала.

Раздел «Световые явления» курса физики средней школы имеет большое значение, так как раскрывает фундаментальные закономерности природы, демонстрирует связь физических явлений с практическими применениями – от оптики до лазерных технологий. Однако наблюдается тенденция снижения интереса учащихся к физике, что связано с недостаточной наглядностью и теоретичностью подачи материала. [2].

Одним из эффективных путей решения данной проблемы является использование разнообразных образовательных ресурсов: лабораторных работ, практического решения задач и виртуальных лабораторий. Их сочетание способствует активизации познавательной деятельности и повышению мотивации к изучению физики.

Цель исследования – определить влияние различных видов образовательных ресурсов на мотивацию и познавательный интерес учащихся при изучении раздела «Световые явления».

### **Как мотивация влияет на интерес школьников к обучению**

Мотивация – это совокупность причин психологического характера, объясняющих поведение человека, его начало, направленность и активность [1].

Мотивация – это совокупность внутренних и внешних факторов, побуждающих человека к деятельности, направленной на достижение определённой цели.

В школьном обучении мотивация определяет, почему и зачем ученик учится, насколько он заинтересован в получении знаний и стремится к успеху. [5]

Каждым человеком/учеником движет определенный вид мотивации:

1. *Внутренняя мотивация*. Возникает из интереса к самому процессу обучения. Ученик учится, потому что ему нравится узнавать новое, решать задачи, экспериментировать, обсуждать. Она является наиболее устойчивой и глубокой. Такие ученики проявляют инициативу, задают вопросы, ищут дополнительные источники информации и легче усваивают материал.

2. *Внешняя мотивация*. Связана с внешними стимулами – наградой, оценкой, похвалой или наказанием. Ученик учится ради: хорошей

отметки; похвалы родителей или учителя; поступления в вуз; избегания наказания. Внешняя мотивация может временно повысить активность, но без внутреннего интереса она быстро угасает. Если ученик учится только ради отметок, его познавательный интерес может быть поверхностным.

3. *Познавательная мотивация*. Подвид внутренней мотивации, направленный именно на познание, развитие мышления и интеллекта. Она формируется через: проблемные вопросы; эксперименты и исследования; практическую значимость знаний. Развитая познавательная мотивация делает процесс обучения осмысленным – ученик понимает, зачем он изучает материал.

4. *Социальная мотивация*. Основана на желании занять определённое место в коллективе, получить одобрение окружающих, быть «хорошим учеником». Социальная мотивация помогает включать учеников в деятельность через групповую работу, соревнования, проекты, взаимопомощь.

В заключении можно сделать вывод, что мотивация – ключевой фактор успешного обучения. Чтобы развивать интерес школьников, учителю важно создавать условия для формирования внутренней и познавательной мотивации, сочетая её с внешним поощрением и социальными стимулами. Интерес возрастает, когда ученик видит смысл, практическую пользу и эмоциональную привлекательность изучаемого материала, что достаточно легко сделать в условиях преподавания главы «Световые явления» в физике.

### **Теоретические основы исследования**

#### **Анализ влияния различных образовательных ресурсов на мотивацию и познавательный интерес**

Сущность лабораторных работ заключается в непосредственном проведении реальных экспериментов с использованием стандартного лабораторного оборудования: источников света, зеркал, линз, призм, экранов, оптических скамеек и измерительных приборов. В процессе работы учащиеся самостоятельно воспроизводят явления отражения, преломления, интерференции, дифракции и дисперсии света, наблюдают закономерности и проводят измерения, позволяющие подтвердить известные физические законы.

#### **Преимущества для формирования мотивации и познавательного интереса**

**1. Наглядность.** Одним из важнейших достоинств традиционных лабораторных работ является высокая степень наглядности. Учащиеся

имеют возможность наблюдать физические явления непосредственно, что значительно усиливает эмоциональное восприятие материала. Например, явления преломления, интерференции и дифракции света выглядят эффектно и вызывают у школьников чувство удивления и познавательного интереса.

**2. Практическая деятельность.** Работа с реальным оборудованием способствует развитию практических умений: точному измерению физических величин, правильному обращению с оптическими приборами, умению собирать экспериментальные установки и фиксировать результаты наблюдений. Практическая активность помогает учащимся осознать, что физика – это не только теория, но и прикладная наука, тесно связанная с реальной жизнью.

**3. Ощущение «открытия».** Лабораторный эксперимент создает у школьников ощущение исследовательского поиска. Возможность самостоятельно измерить угол преломления, получить спектр или определить фокусное расстояние линзы формирует чувство личного участия в научном открытии. Это повышает внутреннюю мотивацию и способствует формированию устойчивого интереса к предмету.

**4. Развитие мышления.** В процессе выполнения лабораторных работ учащиеся учатся анализировать причинно-следственные связи, выдвигать гипотезы, сопоставлять экспериментальные данные с теоретическими моделями. Такая деятельность способствует развитию критического и логического мышления, формированию исследовательского подхода и умений делать аргументированные выводы.

### **Практическое решение задач по разделу «Световые явления»**

Практическое решение задач по разделу «Световые явления» представляет собой важный компонент обучения физике, направленный на применение теоретических знаний для решения конкретных физических проблем.

Работа над задачами позволяет учащимся глубже понять сущность явлений отражения, преломления, интерференции, дифракции и поляризации света. Решение задач способствует формированию умений анализировать условия, выбирать подходящие физические законы, строить логические рассуждения и проводить вычисления, опираясь на полученные ранее знания.

### **Преимущества для формирования мотивации и познавательного интереса**

**1. Углубление понимания.** Решение задач способствует осознанию взаимосвязи между физическими величинами, закреплению

формул, законов и принципов, изучаемых в курсе оптики. Это помогает не просто запомнить теоретические положения, но и понять, как они работают на практике, в конкретных ситуациях.

**2. Развитие логического мышления.** Каждая задача требует анализа условий, выделения известных и искомых величин, выбора оптимального пути решения. Такая деятельность формирует структурированное и логичное мышление, умение рассуждать поэтапно.

**3. Самостоятельность и ответственность.** Умение самостоятельно решать задачи по физике способствует развитию познавательной инициативы и ответственности за результат. Учащийся выступает как исследователь, самостоятельно находящий способ решения и проверяющий правильность полученных данных.

**4. Повышение уверенности.** Успешное решение задачи даёт школьнику чувство удовлетворения и уверенности в своих силах. Это усиливает внутреннюю мотивацию и положительное отношение к предмету, способствует формированию устойчивого интереса к физике.

**5. Связь с реальным миром.** Многие задачи имеют прикладной характер и демонстрируют связь оптики с жизнью: расчёт фокусного расстояния линз в фотоаппаратах, определение увеличения микроскопа, оценка угла преломления в стекле или воде, вычисление длины световой волны. Такие задания помогают учащимся увидеть практическую значимость физических знаний.

### **Виртуальные лаборатории и интерактивные симуляции по разделу «Световые явления»**

Виртуальные лаборатории и интерактивные симуляции по разделу «Световые явления» представляют собой современную форму организации учебной деятельности, основанную на использовании компьютерных технологий для моделирования физических экспериментов и явлений.

С помощью специальных программных средств учащиеся могут наблюдать и исследовать процессы отражения, преломления, интерференции, дифракции, поляризации и других оптических эффектов, не прибегая к использованию реального оборудования.

Такие ресурсы, как PhET Interactive Simulations, Crocodile Physics, Virtual Physics Lab, позволяют проводить эксперименты в интерактивной среде, изменять параметры, получать результаты и делать выводы, аналогичные реальным лабораторным исследованиям. [8].

Использование виртуальных лабораторий становится особенно актуальным в условиях ограниченного доступа к лабораторному оборудованию, а также при дистанционном или смешанном обучении.

## Преимущества для формирования мотивации и познавательного интереса

**1. Доступность.** Виртуальные лаборатории не требуют дорогостоящего оборудования и могут быть использованы индивидуально каждым учеником на школьных компьютерах или личных устройствах. Это значительно расширяет возможности проведения практических занятий по оптике даже в школах с ограниченными ресурсами.

**2. Безопасность.** Компьютерное моделирование полностью исключает риск травм или повреждения оборудования. Учащиеся могут безопасно изучать даже сложные или потенциально опасные опыты, включая эксперименты с лазерами или высокointенсивными источниками света.

**3. Наглядность и интерактивность.** Симуляции позволяют изменять параметры эксперимента в реальном времени и сразу наблюдать результат: изменение угла падения луча, фокусное расстояние линзы, расстояние между интерференционными полосами и т.д. Это создаёт эффект присутствия и усиливает понимание закономерностей.

**4. «Игровой» элемент.** Многие симуляции имеют привлекательный интерфейс, элементы геймификации (очки, задания, уровни сложности), что повышает вовлечённость и делает обучение эмоционально насыщенным. Это особенно эффективно при работе с подростками, для которых игровая форма воспринимается естественно.

**5. Визуализация абстрактных понятий.** Виртуальные модели позволяют наглядно представить процессы, которые невозможно наблюдать напрямую, например распространение световых волн, интерференцию на атомарном уровне или поведение фотонов в квантовых моделях. Это облегчает понимание сложных разделов физики света.

## Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что использование различных образовательных ресурсов в процессе изучения раздела «Световые явления» способствует повышению учебной мотивации и познавательного интереса учащихся.

Каждый вид ресурса имеет собственные педагогические преимущества:

- Лабораторные работы обеспечивают практическую направленность и связь теории с реальностью.
- Практическое решение задач развивает логическое мышление и аналитические способности.
- Виртуальные лаборатории повышают наглядность и вовлечённость, способствуют развитию исследовательских навыков.

Наиболее высокий эффект достигается при комбинированном использовании традиционных и электронных ресурсов, что соответствует современным требованиям к качеству физического образования и способствует реализации компетентностного подхода.

**Список литературы:**

1. Р. С. Немов. М.: Юрайт. Психология : учебник для бакалавров, 2014 г. (639 с.).
2. Полат Е.С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. – М.: Академия, 2020.
3. Баранов С.П. Методика преподавания физики в основной школе. – М.: Просвещение, 2018.
4. Лебедев С.А. Развитие познавательного интереса учащихся при обучении физике с использованием ИКТ // Физика в школе. – 2019. – №4. – С. 12–16.
5. Бершадский М.Е. Психолого-педагогические основы мотивации учебной деятельности школьников. – М.: Педагогика, 2017.
6. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. – <https://phet.colorado.edu>
7. <https://phydemo.app/ray-optics>
8. Ляшенко И.В. Использование виртуальных лабораторий в преподавании физики // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – №6.

## ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ МАҚАЛАЛАР

### ИНЖЕНЕРЛІК

#### 1-БОЛІМ.

### ИНЖЕНЕРЛІК

#### 1.1. ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ СӘУЛЕТ

## ГЕОСИНТЕТИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНЫП ТЕМІРЖОЛДЫҢ ЖЕР ТӨСЕМЕСІН НЫҒАЙТЫП ЖӘНЕ ТҮРАҚТАНДЫРУ

*Барманқұлов Жасулан Бакытбекович*

*магистрант,  
АО ALT университет  
имени Мухамеджсана Тынышбаева,  
РК, Алматы*

*Алимқұлов Мурат Маметкулович  
научный руководитель,  
канд. техн. наук, доц.,  
ассоциированный профессор,  
АО ALT университет  
имени Мухамеджсана Тынышбаева,  
РК, Алматы*

Теміржолдың жер төсемесі, теміржолдың құрылымында негізгі құрылымдарының бірі болып табылады, жол қозғалысында ең маңызды сенімділігінің қауіпсіздік және бүкіл беріктік кешенді рольін атқарады.

Аймақтың географиялық орналаласуына, температуралық қазіргі таңда өзгерүіне байланысты, жердің мауысымдық көктемде, қыста, жазда температура аплитудысының өзгеруі жер төсемесінің топырағының ерімен, қатайуының барысында құрамы өзгере бастайды, сондықтан тұрақтылығы мен беріктігіне ерекше көз қарас қарастырылады [1, с.2]. Қазіргі таңда темір жол тасымалының күрт өзгерүіне, ұлғайуына байланысты, темір жолдың жук көтергіші артып, жер төсемесінің деформациялануына байланысты, қәзіргі таңда инновациялық әр түрлі материалдар шығып жатыр және заманына сай қолдану талап етіліп жатыр. Темір жолдың құрылышында жер төсемесінің құрылымын ең заманауи тұрақтандыру, нығайту, бағыттардың бірі геосинтетикалық материалдарды пайдалануды қажет етеді. Тағыда қолданыстағы материалдардың түрлеріне геосинтетика, геотекстильдер, геоторлар, геоматтар, композиттік материалдар жатады [2, с.13]. Геосинтетикалық материалдардың түрлері мына 1 сүйретте көрсетілген. Осы материалдарды қолданысы темір жолдың жер төсемесіне түсken күштерді тарату процесстерін атқарады, деформациялануды алдын алу және топырақ құрамында судың деңгейі көтерілу барысындағы дренажды жақсарту, судың топырақ құрамын ыдырату әлсіздігін азайту шараларына қолданады. Темір жолдың құрылымын ұзак мерзімде тұрақтылығына жұмыс істеуге мүмкіндік береді [3, с.10].



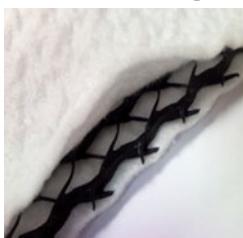
Геотекстильдер



Жалпақ георешотка



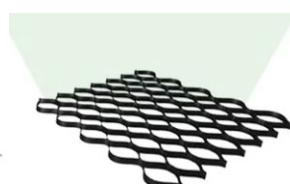
Композиттік материал



Дренажндық композит



Геосетка



Көлемді геотор



Geosynthetic membrane



Geotextile



Geogrid

### *Сүйрет 1. Геоматериалдардың түрлери*

Жер төсемесінің тұрақтылығын экономикалық тиімділігін қарастыра отырып қазіргі таңғы тиімді жобалардың бірі геоматериалдарды қолдану болып табылады. Теміржолды курдеді жөндеу барысында геоматериалдарды қолдану экономикалық тиімділігін қарастыратын болсак, техникалық қолданысы және жөндеу ағымдылығының жер төсемесінің нығайтудың көрсеткішінің шығындарын есқі әдісімен салыстырсақ, тиімдісі геоматериалдарды қолдану болып табылады.

Жер төсемесіне геоматериалдардың қолдануы қазіргі таңда кеңінен қолданыста таралған. Қолданыстың басты артықшылығы, төзімділік пен сенімділікті арттырып, жер төсемесінің жұмыс істеу қабілеттілігін тұрақты және ұзак тиімді мерзімге жұмыс жағдайын жасауға болады. Осы әдістерді қолдану барысында топырақтың қасиетін белгілі бір жоғары деңгейге жақсартыға мүмкіндік береді [4, с.22].

Геосинтетика деп – көлік саласында топырақты нығыздау және қызыздау барысында, немесе геотехникада басқада құрылым салаларында топырақпен байланысты шараларда қолданатын жалпақ пішіндер, орамдар, таспалар түріндегі синтетикалық немесе полимерлі материалдардан жасалынған материалдарды айтылады.

Геосинтетикалық материалдарды қазіргі таңмен салыстырмалы тарихи шолу жасайтын болсак, геосинтетика ондаған жылдар бойы көлік саласында қолданып келеді. Қалған геоматериалдары жаңа формадағысы қазіргі уақытта сынақ түрінде және тәжірібелік түрде қолданылып жатыр.

Жер төсемесінің беріктігін күшету әртүрлі материалдармен қолданады, соның бірі франсуз инженері А. Видал арматуралық әдіспенен күшеттеді, осы құрылымды ойлап тапқаннына 45 жылдан астам уақыт етті. Бұл әдіс қазіргі таңғадейін қолданып жатыр жәнеде осы секілді топырақты күшету әдісі алдағы жалдарға қарастырылады. Осы әдістер секілді геосинтетикалық материалдар қазіргі таңда жаңау процесі жылдам

каркын жүріп жатыр және қолданыста. Геосинтетикалық материалдар қазіргі таңда тек көлік саласындағана емес, гидротехникалық, жер асты құрылышында қолданып жатыр. Бұл геосинтетикалық қолданыс әдісі экономикалық тиімді жағдайларда қолданылады. Қазіргі таңда экологиялық және экономикалық жағдайға байланысты темір бетонды дәстүрлі топырақ материалдарын беріктеу барысы аз қолданып жатыр. Осы геосинтетикалық материалдармен топырақты беріктеу барысы қазіргі таңда, келешекте нығайа түседі [5, с.15]. Геосинтетика материалдарының қолданыс дәлелі, құрылыш мерзімінің ұлғайуы, тасымалдауы тиімді болып келеді, сосын пайдалану шығындары басқа материалдарға қарғанда төмен.

Жоғары беріктік сипаттамаларына байланысты, тұрақты су өткізгіштік қабілетінің, химиялық тұрақтылығымен геосинтетикалық материалдардың сенімділігі мен беріктігін, жұмыс сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Қазіргі таңда бірден бір әдістердің бірі еңбек шығындарын азайту, технологиялық әдістерін женілдетіп, жұмыс сапасын жоғары деңгейге көтеру болып табылады [5, с.17].

Геосинтетикалық материалдардың қолданысы әртүрлі полимер материалдардың құрылымына және төзімділігіне байланысты жер төсемесінің конструктивті түрғыда келесі негізгі қолдануға сәйкес бөлнеді:

- геосинтетика материалдар түрлері;
- құрылымдық элементтерінің орналастыру түрлері;
- жер төсемдерінде оргаластыру түрлері;
- қолданыс түрлері.

Геосинтетика материалдарын жер төсемесіне қолдану белгілері бойынша жіктелуі және жер төсемесін күшету мына кестеде көрсетілген 1.1.

**Кесте 1.1.**

**Жер төсемесін геотекстильдің көмегімен күшейтіп талдау**

Қолдану мақсаты	Жер төсемесінде құрылымдық түрде қолдану	Құрылымдық элементтері	Геосинтетикалық материалдар қолдануы
Арматуралық әдіспен күшету Бөлу түрлері Жылу оқшаулау түрлері Сүзу кабілеті Гидроизоляциял ау түрлері Дірілден қорғау түрлері	Жер төсемесінің негізгі алаңының жұмыс аймағы Үйінді топырақтың негізгі алаңының жұмыс аймағы Жер төсемесінің беткейлері және берма негіздері	Полимерлі плиталар Пленкалар Геотекстильдер: – тоқылмаған; – тоқылған Георешеткалар Геосеткалар Төсеништер Құбырлар	Полимерлер: – полиэтилендер; – полипропилендер; – полиэфирлер – полиамидтер Пенопласттар: – пенополиэтилорлдар;

**Әдебиеттер тізімі:**

1. ГОСТ Р 52129-2003. Геосинтетические материалы. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 56378-2018. Материалы геосинтетические. Методы испытаний.
3. СНиП 32-01-95. Железные дороги. Нормы проектирования.
4. Инструкция по применению геотекстильных материалов в дорожном строительстве. АО «КаздорНИИ», 2021.
5. Технический каталог продукции «TenCate Geosynthetics». – 2022.
6. Технический каталог продукции «Maccaferri Geosynthetics». – 2023.

## ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ҒЫЛЫМДАРЫ

### БӨЛІМ

#### 2. ФИЗИКА

#### 2.1. АТОМ ЯДРОСЫ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТАР БӨЛШЕКТЕР ФИЗИКАСЫ

#### МЕКТЕПТЕГІ АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА ЕСЕПТЕРІН ТИІМДІ ОҚЫТУ ЖОЛДАРЫ

*Рыскулбек Данислай Бауыржанұлы*

магистранты,  
Абай атындағы Қазақ ұлттық  
педагогикалық университеті,  
ҚР, Алматы қ.

*Қырықбаева Әсем Ақылшықызы*

ғылыми жетекші,  
PhD аға оқытушы,  
Абай атындағы Қазақ ұлттық  
педагогикалық университеті,  
ҚР, Алматы қ.

**Аннотация.** Бұл мақалада мектеп оқушыларын «Мектептегі атомдық және кванттық физика есептерін тиімді оқыту жолдары» қарастырылады. Кванттық процесстердің табиғаты классикалық заңдылықтармен толық түсіндірілмейтіндікten, оқушылардың абстракттылы ойлауын, логикалық моделдеуін және сынни талдау дағдыларын дамыту қажеттілігі арта түседі. Зерттеу барысында халықаралық тәжірибелерге сүйене отырып, Spin First тұжырымдамасының мүмкіндіктері, кванттық оқытудың мотивацияға әсері, есеп шығаруда туындастын когнитивтік қындықтар және физика

курсын инклузивті оқытуға бейімдеу мәселелері талданады. Мақалада кванттық ұғымдарды менгерту үшін визуалды модельдеу, цифрлық симуляциялар, зертханалық тапсырмаларды интеграциялау және проблемалық оқыту технологияларының тиімділігі дәлелденеді. Нәтижелер окушылардың кванттық түсініктерді игеру сапасы қолданылған әдістемелік қағидаттарға тікелей байланысты екенін көрсетіп, педагогтерге практикалық ұсынымдар ұсынады.

**Кілт сөздер:** кванттық физика, атом моделі, есеп шығару әдістемесі, Spin First, мотивация, визуалды модельдеу, инклузивті оқыту, когнитивтік қындықтар.

### Кіріспе

Қазіргі кезеңдегі ғылыми-техникалық прогресс білім беру жүйесіне жаңа міндеттер жүктейді. Соның ішінде кванттық технологиялар, наноғизика, лазерлік жүйелер, ядролық энергетика және кванттық компьютерлердің дамуы мектеп физикасының мазмұнын терендетуді талап етеді. Кванттық физика – болашақ ғылыми кадрларды даярлаудаған емес, окушылардың теориялық ойлаудың дамытуда да іргелі рөл атқарытын сала. Осыған орай “Атомдық және кванттық физика” белгімі бойынша есеп шығаруға үйрету әдістемесін жетілдіру педагогикалық тұрғыдан өзекті міндет болып табылады. Мақаланың өзектілігі кванттық физиканың ерекше сипатында. Микродүниегі құбылыстар классикалық интуицияға сыймайтындықтан, окушылар жиі қиналады. Абстракциялау деңгейінде жеткіліксіздігі, математикалық моделдеудің қындығы, кванттық ұғымдардың физикалық мағынасының курделілігі мұғалімнен арнайы әдістемелік тәсілдерді талап етеді. Сондықтан тиімді оқыту құрылымын жасау – зерттеудің негізгі мәселесі.

Мақаланың мақсаты – мектеп окушыларын кванттық және атомдық физика есептерін шығаруға тиімді үйретудің әдістемелік моделін ұсыну. Міндеттері:

- окушылардың есеп шығару дағыларын дамытуға ықпал ететін халықаралық тәжірибелерді талдау;
- кванттық тақырыптарды оқытуда туындастын когнитивтік қындықтарды анықтау;
- мотивациялық және дамытушы факторларды айқындау;
- есеп шығарудың жаңа әдістемелік компоненттерін негіздеу.

Зерттеудің жаңалығы – кванттық физиканы мектеп деңгейінде менгертудің инновациялық жолдарын халықаралық зерттеулермен

салыстыру арқылы құрылымдау, сондай-ақ оқушының есептеу дәғдышына әсер ететін педагогикалық тетіктерді жүйелі сипаттау.

### Әдебиеттерге шолу

Альберт К., Ферстер М. және Постх Г. Spin First тұжырымдамасына негізделген кванттық физика бағдарламасын әзірлей отырып, кванттық құбылыстарды түсіндірудің визуалды-модельдік тәсілдері оқушылардың күрделі ұғымдарды қабылдауын айтартықтай жөнілдететінін айтады. Олар «кванттық тақырыптарды классикалық логикалық тізбектен бөлек оқыту оқушының ойлау жүйесін икемді етеді» деді деп жазады [1,4].

Spin First тәсілінің басты артықшылығы – физикалық мағынаны формуладан бұрын түсіндіру. Авторлар кванттық есеп шығаруға үйретуде симметрия, спин, суперпозиция секілді ұғымдарды алдын ала түсіндіру оқушының есептеу барысындағы қателерін азайтатынын дәлелдейді.

Азиза С.Н. және әріптестері кванттық оқытудың мотивацияға және есеп шығару дәғдышына әсерін зерттей келе, «оқушының ішкі қызығушылығын арттырған жағдайда есептің күрделілігі қабылданатын жүктемеге айналады» деді деп көрсетеді [2,6].

Олардың зерттеуінде Quantum Teaching әдісі қолданылған: топтық жұмыс, динамикалық диалог, визуалды эксперимент видеолары, ойын элементтері. Нәтижесінде оқушылардың есеп шығаруға деген сенімділігі артқаны анықталған.

Ә. Боначчи кванттық физиканы оқытудың алты негізгі проблемасын айқындаиды. Оның пікірінше, «кванттық механика – математикалық формализм мен физикалық мағынаның сәйкестенуін талап ететін ерекше орта» деді деп жазады [3,12].

Боначчи көрсеткен қындықтар: математикалық тілдің күрделілігі, модельдердің көзге көрінбейуі, интуитивті түсініктің болмауы, абстрактілік символдардың көптігі және оқушының қабылдау шегінің тез толуы.

Мусенгимана Т. және авторлар жүргізген зерттеу есеп шығару дәғдышының қалыптасуы тек әдістемеге ғана емес, оқушының когнитивтік стратегияларына да тәуелді екенін көрсетеді. Олар «есеп шығару – білімнің қолданылуы ғана емес, ойлау әрекетінің құрылымы» деді деп жазады [4,7].

Ал Коллетти Л. және оның әріптестері инклюзивті тәсілдің тиімділігін дәлелдей отырып, «кванттық физиканы оқытуда әртүрлі деңгейдегі оқушылар үшін қолжетімді орта құру – табыстың басты шартты» деді деп көрсетеді [5,3].

Олар визуалды құралдар, анимациялар, қарапайым тілмен берілген түсінірuler, жеңіл есептерден күрделісіне өтудің сатылы жүйесі арқылы оқушылардың танымдық белсенділігі арта түсетінін дәлелдеген.

## Талқылау

Мектеп окушыларын “Атомдық және кванттық физика” бөлімінің есептерін шығаруға үйрету – тек физикалық білімді тереңдегу емес, сондай-ақ ғылыми ойлау мәдениетін қалыптастыру ісі. Кванттық процестердің табиғаты окушының логикалық, интуитивтік және абстрактылық ойлау дағдыларын қатар іске қосады. Сондыктан бұл бөлімнің есептерін менгерту дәстүрлі әдістерге ғана сүйенбей, окушының таным ерекшелігіне бағытталған жаңа педагогикалық тәсілдерді талап етеді.

Ең алдымен, кванттық физика есептері классикалық механика немесе электродинамика есептерінен түбекейлі ерекшеленеді. Окушы атом моделін, энергия деңгейлерін, кванттalu шарттарын, ерістің дискретті табиғатын абстракциялау арқылы түсіну керек. Осыған байланысты есеп шығару барысында формуланы жаттау жеткіліксіз: міндет – оның физикалық мағынасын түсіну. Есеп шығарудың ойлау құрылымы да өзгеше. Классикалық есептерде шешім көбіне белгілі алгоритм арқылы табылса, кванттық есептерде шешім логикалық моделдеу мен физикалық интерпретацияға сүйенеді.

Талқылау барысында зерттеулер көрсеткен тағы бір маңызды мәселе – окушының ішкі мотивациясы. Кванттық әлемді тануға деген қызығушылық болса, окушы күрделі есептерді ықыласпен орындаіды. Бұл түрғыдан Quantum Teaching әдісінің нәтижелері бағалы. Окушы есеп шығару қажеттілігін түсінгенде, ол теорияны да жылдам менгереді. Яғни, мотивация – есеп шығарудың кіріспе бөлігі.

Екінші маңызды фактор – көрнекілік пен визуалды модельдеу. Кванттық физика табиғи түрде көзге көрінбейтін процестерді сипаттайтын: электронның орбитальдары, толқындық функциялар, спин түсінігі, кванттық өтүлөр. Осы құбылыстардың графикалық, анимациялық моделдері окушының елестету дағдысын қалыптастырады. Визуалды түсіндіру есептің физикалық мазмұнын жақсы ашуға көмектеседі.

Ушінші аспект – есептердің сатылы жүйесі. Басында қарапайым, бір ғана формуланы қолданатын есептер беріледі. Кейіннен күрделілік артып, бірнеше зандылықты қатар қолдану, кванттық қорытынды жасау, логикалық түсіндіру элементтері қосылады. Мұндай жүйе жүктемені біртінде арттыру арқылы окушыны қындықтан қорықпауга үйретеді.

Төртінші аспект – инклюзивті оқыту. Қабілеті әртүрлі окушыларға кванттық физиканы үйретуде деңгейлік тапсырмалар мен адаптивті түсіндіру тәсілдерін қолдану тиімді. Бір окушы математикалық формуланы тез қабылдаса, екіншісі бейнелі түсіндіруді жақсы түсінуі мүмкін. Сол себепті кванттық есептерді оқытуда мұғалім стратегиясын окушы ерекшелігіне қарай бейімдеу қажет.

Бесінші аспект – қателермен жұмыс. Кванттық есептің шешімінде жиі кездесетін қателер: кванттық сандарды қате түсіну, энергия деңгейлерін шатастыру, формуланы механикалық қолдану, физикалық мағынаға назар аудармау. Бұл қателер арнайы талдауды қажет етеді. Мұғалім қате шешімді талқылау арқылы оқушының ойлауын түзетеді. Жалпы, талқылау көрсеткендей, кванттық есеп шығару – жай есептеу өрекеті емес, оқушының ғылыми дүниетанымын дамыту құралы.

### Мысал есептер

Мысал есеп 1. Фотоэффекттің шартын анықтау (сапалық есеп)

**Есеп:** Жарық жиілігі артқанда фотоэлектрондардың саны өзгермей, ал энергиясы артатыны неліктен?

**Түсіндіру:** Жарық интенсивтілігі – электрон санына, ал жарық жиілігі – электрон энергиясына әсер етеді.

**Әдістемелік мәні:** Бұл есеп кванттық көзқарасты қалыптастырады, классикалық физикамен салыстыруға мүмкіндік береді.

Мысал есеп 2. Энергия деңгейлері (логикалық есеп)

**Есеп:** Электрон атомда энергиясы аз күйге өткенде не болады?

**Жауабы:** Атом жарық шығарады (квант).

**Әдістемелік мәні:** Бұл есеп спектрлердің шығу табигатын түсіндіруге көмектеседі.

### Нәтижелер

Зерттеу нәтижелері мектеп оқушыларын кванттық физика есептерін шығаруға үйретудің тиімділігі қолданылатын әдістеме құрылымына тікелей тәуелді екенін көрсетті. Халықаралық тәжірибелерге сүйене отырып жасалған талдау темендең көрінісінде оқушылардың жағындағы.

Біріншіден, Spin First әдісін қолдану оқушылардың кванттық үғымдарды түсіну деңгейін арттырады. Физикалық мағынаны формуладан бұрын беру оқушының үғымдық базасын күштейтеді. Нәтижесінде есеп шығару барысында қателер саны айтарлықтай азаяды. Альберт, Ферстер және Постник жүргізген тәжірибелер бұл тәсілдің тиімділігін дәлелдеп отыр [1,8].

Екіншіден, мотивация деңгейін көтеретін Quantum Teaching әдісі есеп шығаруға деген қызығушылықты күштейтеді. Азиза және авторлар көрсеткендей, оқушының ішкі қызығушылығын ояту есепті түсіну жылдамдығын арттырады және оқыту сапасын жогарылатады [2,6].

Үшіншіден, Боначчидің зерттеуі көрсеткендей, кванттық физиканы оқытудағы ең үлкен қындық – абстракция. Бұл қындықты визуалды модельдеу, симуляция, графикалық көрсетілімдер, интерактивті

платформалар арқылы женуге болады. Нәтижелер көрсеткендей, көрнекілік элементтері бар ортада окушылар кванттық формулаларды тез түсінеді [3,15].

Төртіншіден, Мусенгимана және әріптестері анықтағандай, есеп шыгару дағдысы когнитивтік стратегияларға тәуелді. Яғни, окушы тек ережелерді қолданбай, мәселеңі логикалық талдау арқылы шешуі керек. Бұл тәсіл есеп шешу сапасын арттырады [4,10].

Бесіншіден, Коллетти мен ұжымының зерттеуі инклюзивті оқытудың жоғары тиімділігін көрсетті. Әртүрлі деңгейдегі окушыларға бір тақырыпты менгерту үшін бейімделген тапсырмалар, икемді түсінірү және сатылы оқыту қажет. Бұл тәсіл окушылардың ұлгерім деңгейін тенестіруге мүмкіндік береді [5,5]. Жалпы зерттеу кванттық есептерді оқытудың тиімді моделі – мотивация, көрнекілік, бейімделген тапсырмалар, когнитивтік стратегиялар және қателермен жұмыс жүйесінің үйлесімі екенін көрсетті.

### Қорытынды

Зерттеу нәтижелерін жинақтай отырып, “Атомдық және кванттық физика” бөлімінің есептерін окушыларға үйретудің заманауи әдістемесі көпқырлы педагогикалық жүйе болуға тиіс деген қорытындыға келеміз. Кванттық физика – тек формула емес, ол ғылымның философиялық және логикалық теренеңдігі бар ерекше саласы. Окушы микродүниені түсіну арқылы таным қөкжиегін кеңейтеді, абстрактылы ойлауын дамытады және ғылыми зерттеуге дайындық қалыптастырады.

Мақалада талданған зерттеулердің нәтижелері кванттық есеп шыгаруға үйрету әдістемесінің келесі қасиеттерін маңызды етеді:

- окушыларды мотивациялау;
- күрделі ұғымдарды визуализациялау;
- сатылы және құрылымдалған есеп жүйесі;
- инклюзивті тәсіл;
- қателерді талдау арқылы рефлексия.

Мектепте кванттық физиканы тиімді оқыту – Қазақстанның болашақ ғылыми әлеуетін арттыруға бағытталған стратегиялық міндет. Жаңа әдістемелер мұғалімдерге қыын тақырыпты оңай әрі қолжетімді етіп түсіндіруге мүмкіндік береді. Кванттық есептерді шыгарға алған жас – тек физиканы емес, ғылыми ойлау мәдениетін менгерген азамат.

**Пайдаланылған әдебиеттер:**

1. Альберт К., Ферстер М., Поспих Г. Орта буынға арналған кванттық физика бағдарламасын әзірлеу: Spin First оқыту тұжырымдамасының құрылымы және алғашқы әмпирікалық нәтижелер [Мәтін] // EPJ Quantum Technology. – 2025. – URL: <https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-025-00436-0>
2. Азиза С.Н. және авторлар. Кванттық оқытудың физика пәніндегі есеп шығару дағдылары мен мотивацияға әсері [Мәтін]. – 2024. – URL: <https://www.atlantis-press.com/article/126003197.pdf>
3. Боначчи Э. Орта мектептерде кванттық физиканы оқыту: алты мәселе және мүмкіндіктер [Мәтін] // Athens Journal of Education. – 2020. – Т. 7, №3. – URL: <https://www.athensjournals.gr/education/2020-7-3-5-Bonacci.pdf>
4. Мусенгимана Т., Ядав Л.Л., Увамахоро Ж., Низейимана Г. және т.б. Физика есептерін шығару дағдыларын бағалау: базалық зерттеу [Мәтін]. – 2025. – DOI: 10.1007/s44217-025-00640-1
5. Коллетти Л. және авторлар. Кванттық механиканы инклузивті оқыту: физиканы қолжетімді ету [Мәтін] // Education Sciences. – 2023. – Т. 13, №2. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/2/168>

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам ХСII международной  
научно-практической конференции*

№ 1 (92)  
Январь 2026 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 12.01.2025. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 5,5. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: [tech@nauchforum.ru](mailto:tech@nauchforum.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1

16+



НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
[nauchforum.ru](http://nauchforum.ru)