

Подписной индекс: 75185
Регистрационный №16734-ж
Выходит 4 раза в год. Основан в 2001 году

**С.ҰТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ
АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

Ғылыми журнал

**ВЕСТНИК
АТЫРАУСКОГО УНИВЕРСИТЕТА НЕФТИ И ГАЗА
ИМЕНИ С.УТЕБАЕВА**

Научный журнал

**BULLETIN
OF THE ATYRAU OIL AND GAS UNIVERSITY
NAMED AFTER S.UTEBAYEV**

Scientific journal

№2-3(74-75) 2025

Атырау

Научный журнал «Вестник Атырауского университета нефти и газа им.С.Утебаева» зарегистрирован в Министерстве культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан (свидетельство № 16734-ж от 08.11.2017г.), включен в Каталог АО «Казпочта» с присвоением подписного индекса 75185 для организации подписки. Вестник зарегистрирован в Парижской книжной палате и имеет международный шифр ISSN 1683 – 1675.

Главный редактор:

Шакуликова Г.Т., доктор экономических наук, профессор,
Председатель правления - ректор АУНГ имени С.Утебаева

Заместитель главного редактора:

Искаков Р.М., проректор по научной работе и инновациям АУНГ им.С.Утебаева

Ответственный секретарь: Канбетов А.Ш.

Редакционная коллегия:

Ашурбеков Н.А.	доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Багрий Е.И.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Борисов Ю.А.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Боронина Л.В.	кандидат технических наук (АГАСУ, Россия)
Гордадзе Г.Н.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Гумаров Г.С.	доктор технических наук, профессор (Казахстан)
Жирнов Б.С.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Зайцев В.Ф.	доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Кудайкулов А.К.	доктор физико-математических наук, профессор (Казахстан)
Михеева Т.И.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Нурмагамбет Е.Т.	Доктор PhD, ассоц. профессор (Казахстан)
Оразбаев Б.Б.	доктор технических наук, профессор (Казахстан)
Пименов Ю.Т.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Руденко М.Ф.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Сагинаев А.Т.	доктор химических наук, профессор (Казахстан)
Табачникова Т.Б.	кандидат технических наук, доцент (Россия)
Теляшев Э.Г.	доктор технических наук (Россия)
Федотова А.В.	доктор биологических наук, профессор (Россия)
Фролов В.Я.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Хайрудинов И.Р.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Цюй Чжань	доктор наук (СНУ, Китай)

Периодичность издания: 4 раза в год.

Основная тематическая направленность: научные статьи по техническим, физико-математическим, экономическим и социально-гуманитарным наукам.

ISSN 1683-1675

© Атырауский университет нефти и газа им.С.Утебаева, 2025

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ, БУРЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

УДК 62-932.2
МРНТИ 52.47.29

А.С. Каримова, А.С. Аскаров, С.Р. Кабышев
«КМГ Инжиниринг», филиал в г.Атырау

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С АБРАЗИВНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ ПО МЕЖПРОМЫСЛОВЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

Аннотация. Актуальной проблемой при добыче, транспортировке и подготовке продукции нефтяных скважин остаётся наличие механических примесей, преимущественно песка, который вызывает образование абразивных отложений на технологическом оборудовании. Наибольшая интенсивность выноса песка наблюдается при эксплуатации месторождений с вязкой нефтью, разрабатываемых в меловых отложениях. Такие абразивные частицы преимущественно скапливаются в оборудовании, где реализуется процесс механической деэмульсации, например, в гравитационных отстойниках с ламинарным режимом потока. К числу таких аппаратов относятся сосуда, работающие под давлением выше 0,7 атм (СРД), вертикальные и горизонтальные резервуары (РВС и РГС соответственно). Наличие абразивов значительно снижает эксплуатационную эффективность этих установок и ускоряет их износ за счёт эрозионных процессов.

Аналогичные проблемы фиксируются и в системе межпромысловых трубопроводов, где интенсивное воздействие абразивов негативно отражается на целостности и сроке службы трубопроводных линий.

Ключевые слова: межпромысловый трубопровод (МТ), нефтегазовый сепаратор (НГС), трубчатая печь (ПТ), вертикальный резервуар (РВС), горизонтальный отстойник (ОГ), буровой насос (НБ), центробежный насос секционного типа (ЦНС), сборный пункт (СП), центральный пункт подготовки нефти (ЦППН), поточный пескоотделитель (ПП).

Для удаления абразивных отложений, накапливающихся в оборудовании, чаще всего применяется механическая очистка, требующая временного отключения установки. Данные работы выполняются либо персоналом промысла, либо специализированными подрядными организациями. В межпромысловых трубопроводных системах для очистки применяются устройства запуска и приёма очистных снарядов.

В данной статье проводится сравнительный анализ различных трубопроводов по технологическим характеристикам и степени воздействия на них абразивных включений, а также рассматриваются методы снижения этого воздействия. Особое внимание уделяется сравнению поведения абразивов в трубопроводах из различных материалов.

Целью исследования является проведение обзорного анализа текущего состояния подготовки и транспортировки продукции скважин в условиях присутствия абразивных примесей, а также определение эффективных технологических решений для устранения этих проблем. Воздействие абразивных частиц на межпромысловый нефтепровод будет рассмотрено на примере участка, соединяющего месторождения X и Z.

Анализ текущего состояния системы подготовки скважинной продукции

На месторождении X (рис. 1) существует текущая технологическая схема сбора и транспортировки сырой нефти для последующей подготовки до товарной кондиции на ЦППН «Z» (рис. 2). Производственный цикл ЦППН «Z» включает несколько ключевых технологических операций:

– Подогрев скважинной продукции: В этой операции скважинная продукция, содержащая нефть и возможно эмульсии, подогревается для снижения ее вязкости. Подогретая нефть легче транспортируется по трубопроводам и проходит более эффективную обработку.

– Обезвоживание нефти: Важная стадия производственного цикла, где из сырой нефти удаляют воду и другие примеси. Обезвоженная нефть обладает лучшими технологическими свойствами и может быть дополнительно обработана для повышения качества.

– Хранение нефти в технологическом резервуаре: После подогрева и обезвоживания нефть передается в технологический резервуар, где она временно хранится. Это позволяет регулировать потоки нефти и обеспечивать стабильное снабжение ЦППН и последующих этапов производственного процесса.

– Сдача товарной продукции: После всех необходимых технологических операций и подготовки сырой нефти, она превращается в товарную продукцию, готовую для дальнейшей транспортировки или использования в различных отраслях экономики.

На базе месторождения X (см. рисунок 1) функционирует действующая схема сбора и последующей транспортировки добытой нефти, направляемой для доведения до товарных характеристик на ЦППН «Z» (см. рисунок 2).

Технологическая цепочка, реализуемая на центральном пункте подготовки нефти «Z», охватывает ряд основных этапов обработки сырья, обеспечивая его соответствие нормативным требованиям:

– Температурная подготовка скважинной смеси: На первоначальной стадии продукция из скважин, в составе которой могут присутствовать нефть, вода и эмульсионные соединения, подвергается нагреву. Повышение температуры способствует уменьшению вязкости, что облегчает транспортировку по трубопроводной системе и улучшает условия последующей переработки.

– Удаление водяной фазы и примесей: На следующем этапе происходит сепарация нежелательных компонентов — в первую очередь, воды и механических включений. Такая очистка улучшает физико-химические характеристики нефти и подготавливает её к дальнейшим технологическим процедурам.

– Временное накопление в резервуарных ёмкостях: После первичной подготовки нефть поступает в специальные резервуары для краткосрочного хранения. Это необходимо для балансировки поступающего объёма сырья и обеспечения бесперебойной подачи на последующие производственные участки.

– Получение готовой продукции: Финальной стадией цикла является формирование товарной нефти. После выполнения всех технологических операций материал становится пригодным для последующей транспортировки, коммерческой реализации или использования в промышленных целях.

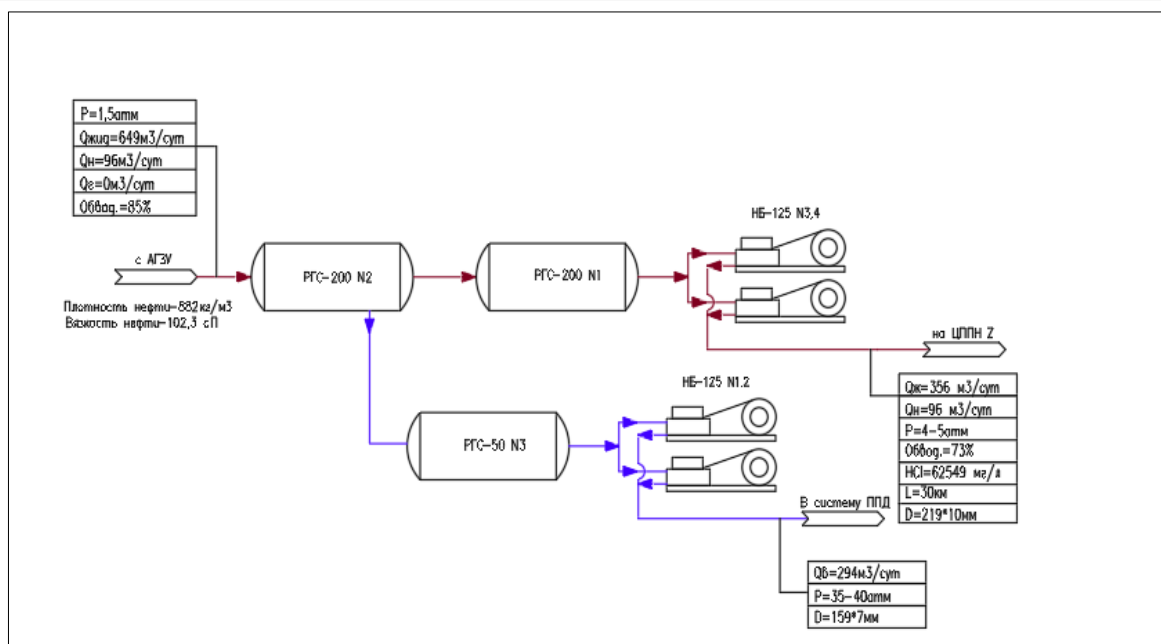


Рисунок 1. Принципиальная схема сборного пункта X

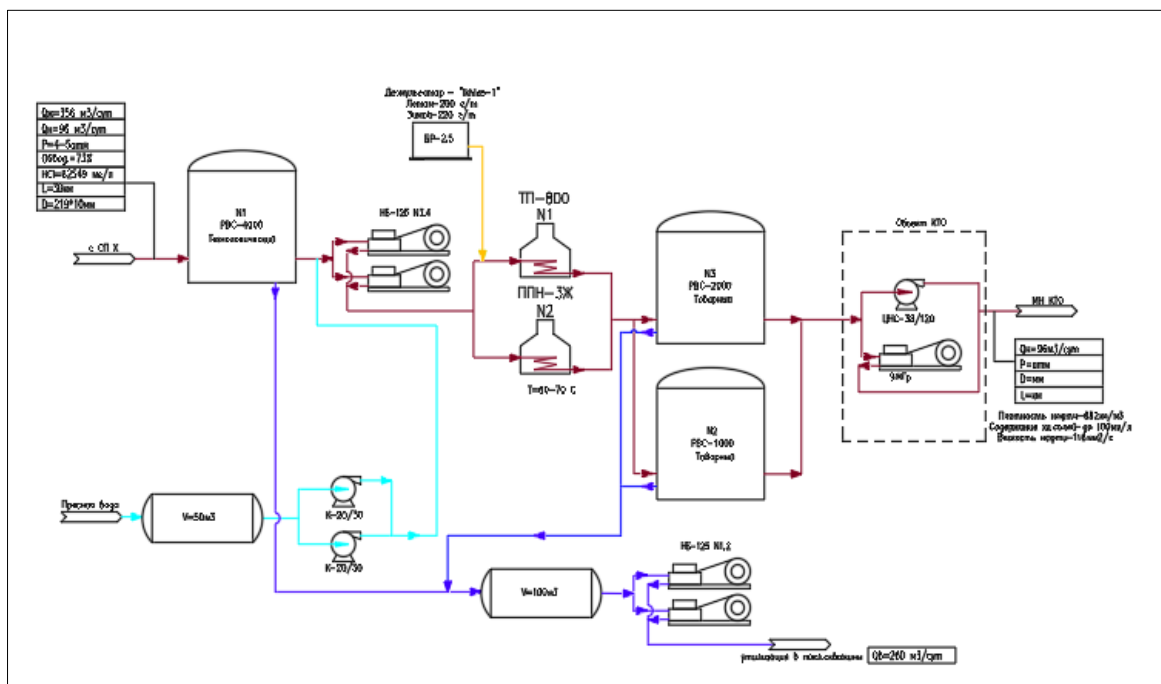


Рисунок 2. Принципиальная схема центрального пункта подготовки нефти Z

Технологический режим СП X

На территории месторождения X осуществляется сбор скважинной продукции, включающей в себя смесь нефти и пластовой воды. Первичный этап обработки заключается в их разделении, которое реализуется методом гравитационного отстоя внутри горизонтального резервуара РГС №2, рассчитанного на объем 200 м³.

Отделившаяся пластовая вода частично направляется в другой резервуар — РГС №3 вместимостью 50 м³, откуда она подается на линию всасывания насосного агрегата НБ-125 №1 (резервный – НБ-125 №2). Далее сточная вода проходит через измерительный расходомер и поступает на водораспределительный пункт (ВРП), откуда перенаправляется в нагнетательные скважины для дальнейшего закачивания.

Оставшаяся нефтяная эмульсия, всё ещё содержащая воду, также аккумулируется в РГС №2, а затем откачивается насосом НБ-125 №3 (в резерве – НБ-125 №4) через массомер (счетчик нефти), и далее транспортируется по существующему межпромысловому трубопроводу "Х–Z" диаметром 219 мм и длиной 30 км на объект подготовки нефти — ЦППН Z.

Такая схема сбора и разделения позволяет эффективно организовать начальную сепарацию нефти и воды на промысле и обеспечить централизованную доставку эмульсии к месту дальнейшей подготовки.

На ЦППН "Z" осуществляется полная технологическая обработка поступающей с месторождения X нефти. Продукт, содержащий 10–15% воды, перемещается по трубопроводу при температуре от 2 до 10°C и давлении 5–7 атм. По прибытии нефть поступает в резервуар №1, объём которого составляет 4000 м³, где осуществляется учет поступления с помощью расходомера марки KROHNE.

После фиксации объема нефти, начинается её технологическая подготовка. Сырая нефть нагнетается поршневым насосом НБ-125 с рабочим давлением 8–14 атм и проходит через трубчатую печь ТП–800. Для нужд предприятия расход нефти дополнительно контролируется расходомером марки Proline Promass 80.

Для обеспечения технологического процесса свежая вода доставляется в автоцистернах и сливается в дренажную емкость. Далее она откачивается насосом НБ-50 в резервуар №2 объемом 1000 м³. Для дозированной подачи воды при подготовке нефти применяется ёмкость на 50 м³ ($V=50$). Из этой емкости вода с добавлением деэмульгатора (дозируемого насосом НД 10/100) подается насосом К-20/30 на приёмную линию основного насоса НБ-125. Расход деэмульгатора регулируется в пределах 180–200 г/т нефти.

После стадии химической обработки нефть с остатками воды поступает в резервуар №3 (ёмкость 2000 м³), где завершается процесс разделения фаз. Подтоварная вода откачивается поршневым насосом НБ-125 в утилизационную скважину, а её объём фиксируется с помощью градуированной шкалы на стенке резервуара. По окончании слива проводится анализ контрольной пробы воды на содержание хлоридов, допустимая концентрация которых не должна превышать 100 мг/л.

Источники и характеристика абразивов в нефтяной эмульсии.

К абразивным примесям в нефтяной эмульсии относят:

- песок (кварц, полевые шпаты);
- минерализованные глинистые частицы;
- продукты коррозии (ржавчина);
- окалина и металлическая стружка (при ремонте, сварке).

Размер частиц может варьироваться от микронных (тонкодисперсных) до миллиметровых. Удельная твердость (по Моосу) часто составляет 6–7 единиц (например, кварц ~7), что делает их опасными абразивами.

Как было сказано ранее на месторождении X происходит лишь гравитационный отстой нефти от воды, однако данный способ не способен полностью устранить абразивы из потока жидкости. Часть абразивов все также уносится вместе с скважинной продукцией, тем самым являясь потенциальной причиной таким проблемам, как:

- эрозийный износ стенок трубопроводов, особенно на коленах и сужениях;
- повреждение насосного оборудования (лопатки, уплотнения);
- засорение и повреждение КИП (контрольно-измерительных приборов);
- ухудшение качества разделения эмульсии на нефть и воду;
- рост эксплуатационных расходов на очистку и ремонт.

Подбор трубопровода для транспортировки скважинной продукции от месторождения X до месторождения Z.

В рамках анализа предложенного технологического решения была выполнена тепло-гидравлическая модель транспортировки жидкости от сборного пункта "X" до ЦППН "Z" с

применением специализированного программного обеспечения PIPESIM. При построении расчетной схемы были учтены все ключевые параметры, включая геометрические и эксплуатационные характеристики трубопровода, климатические условия региона, особенности ландшафта, а также свойства перекачиваемой продукции — как физические, так и химические. Также в расчет закладывались прогнозные показатели добычи, согласованные с бизнес-стратегией недропользователя.

Процесс гидродинамического моделирования однолинейного трубопровода включал в себя выполнение комплекса расчетов, требующих применения численных методов и анализа многофазных потоков. В качестве методологической базы использовались положения нормативного документа ВСН 51-3-85, регламентирующего проектирование промысловых трубопроводных систем из стали. Эти рекомендации легли в основу выбора диаметра труб, гидравлических режимов и других параметров системы.

Для визуального отображения конфигурации трубопроводной сети в среде PIPESIM применялся инструмент GIS Map. На карте координатами была задана исходная точка — сборный пункт X — в качестве источника (Source), а конечный пункт — ЦППН Z — обозначен как сток (Sink).

Гидравлические расчёты по стали (рис. 3), выполненные для трубопровода диаметром 159 мм, обобщены в таблице 1. Также проведено моделирование транспортировки по стекловолоконному трубопроводу (далее СВТ) и по гибким полимерным армированным трубам (далее ГПАТ) от компании "Fibron Pipe GmbH", имеющим условный диаметр 150 мм (рис. 4). Результаты расчётов для этих вариантов при различных степенях обводнённости продукции (от 30% до 73%) приведены в таблице 2.



Рисунок 3. Гидравлический расчет нефтепровода в стальном исполнении Ду=159 мм для транспортировки жидкости с СП X на ЦППН Z

Таблица 1. Гидравлический расчет транспортировки скважинной продукции по межпромысловому нефтепроводу в стальном исполнении Ду = 159 мм

Наименование	Протяжённость, м	Высота, м	Давление, атм.	Температура, °С	Скорость потока, м/с	Содержание потока, %	Эрозия	Внутренний диаметр, мм	Объем потока жидкости, м³/сут	Обвод, %
СП X	0	5,380025	3,2	10	0,2914	100	0,07	151	452	73
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	5,5	0,2910	100	0,07	151	452	
СП X	0	5,380025	42,6	10	0,2908	100	0,07	151	452	50
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	6,2	0,2907	100	0,07	151	452	
СП Xь	0	5,380025	43,2	10	0,2903	100	0,07	151	452	30
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	6,1	0,2904	100	0,07	151	452	



Рисунок 4. Гидравлический расчет транспортировки жидкости с СП «X» на ЦППН «Z» по нефтепроводу в СВТ и ГПАТ исполнении Ду = 150 мм

Таблица 2. Гидравлический расчет транспортировки скважинной продукции по нефтепроводу в СВТ и ГПАТ исполнении Ду=150 мм

Наименование	Протяжённость, м	Высота, м	Давление, атм.	Температура, °С	Скорость потока, м/с	Содержание потока, %	Эрозия	Внутренний диаметр, мм	Объем потока жидкости, м³/сут	Обвод, %
СП X	0	5,05	3,2	10	0,2953	100	0,07	150	452	73
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	6,7	0,2950	100	0,07	150	452	
СП X	0	5,05	40,0	10	0,2947	100	0,07	150	452	50
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	7,4	0,2947	100	0,07	150	452	
СП X	0	5,05	40,0	10	0,2945	100	0,07	150	452	30
ЦППН Z	40465,51	-2,17E-15	1,0	7,3	0,2945	100	0,07	150	452	

На основании данных из таблицы 1, можно отметить, что при снижении водосодержания продукции с 73% до 30%, для стального межпромыслового трубопровода требуется значительное увеличение давления на выходе насосной станции — с 3,2 атм до 43,2 атм. При этом скорость потока остаётся практически стабильной — от 0,2904 м/с до 0,2914 м/с.

Сравнительный анализ альтернативных решений, представленных в таблице 2, показывает аналогичную зависимость: при уменьшении доли воды в продукции при использовании трубопроводов из стекловолокна и ГПАТ фирмы Fibron Pipe GmbH, давление нагнетания возрастает с 3,2 до 40,0 атм, при незначительном изменении скорости движения среды — от 0,2945 м/с до 0,2953 м/с.

Полученные данные позволяют сделать вывод: при водосодержании ниже 50%, целесообразным решением в технологическом плане и с позиции экономической эффективности будет внедрение дожимной насосной станции, обеспечивающей стабильные параметры транспортировки при оптимальных затратах.

В ходе данного исследования также была проведена экономическая оценка альтернативных вариантов проекта, направленная на выбор наиболее выгодного решения для транспортировки скважинной продукции с месторождения X. В рамках анализа были учтены как капитальные затраты, так и текущие эксплуатационные расходы, а также показатели потенциальной рентабельности и срока окупаемости инвестиций.

Сводные результаты расчетов представлены в таблицах 8–10, где приведены ключевые экономические параметры по каждому из исследованных вариантов. На основе сопоставления этих показателей был определён оптимальный подход, демонстрирующий лучшие результаты в части затрат и эффективности, что подтверждает его целесообразность с точки зрения внедрения в промышленную эксплуатацию.

Выводы по материалу трубопровода.

Проведённый сравнительный экономический анализ позволил оценить различные инженерные решения по транспортировке скважинной продукции с месторождения X с точки зрения их финансовой эффективности и влияния на общую реализацию проекта.

В рамках оценки были рассмотрены три возможных сценария организации транспортировки:

Применение стального межпромыслового трубопровода с условным диаметром 150 мм, предназначенного для перекачки нефтяной эмульсии на ЦППН Z.

Реализация проекта по устройству стеклопластикового трубопровода диаметром 150 мм, проложенного по подземной трассе.

Внедрение трубопроводной системы в ГПАТ исполнении от компании Fibron Pipe

GmbH также диаметром 150 мм, с возможностью дополнительно модернизировать технологический процесс транспортировки для повышения эффективности.

Для каждой из вышеуказанных альтернатив были рассчитаны ключевые экономические параметры, включая капитальные вложения, эксплуатационные затраты, потенциальную прибыль, а также срок возврата инвестиций. В анализ были также включены внешние факторы риска, такие как возможные изменения рыночной конъюнктуры и технологические ограничения.

Сравнение полученных данных показало, что второй вариант — строительство стеклопластикового трубопровода — продемонстрировал наилучшие финансовые показатели. Этот подход позволяет значительно сократить как первоначальные инвестиции, так и последующие расходы на обслуживание, что в совокупности обеспечивает более высокую экономическую отдачу. Кроме того, за счёт сокращения затрат, связанных с эксплуатацией ЦППН Z (в том числе возможным демонтажом отдельных участков), достигается дополнительный эффект оптимизации затрат.

Таким образом, итогом анализа стала рекомендация в пользу второго варианта, как наиболее обоснованного с точки зрения совокупной экономической выгоды. Согласно расчётам, период окупаемости данного решения составляет 8 лет с момента ввода трубопровода в эксплуатацию.

Влияние абразивов на трубопроводы различного материального исполнения

Сделав выводы по экономическим показателям нефтепровода в различном материальном исполнении, нам необходимо понять, каково воздействие абразивов на данные трубопроводы. В таблицах 3-7 приведены основные параметры, которые описывают данное воздействие.

Таблица 3. Устойчивость к абразивному износу

Материал трубы	Потери толщины при воздействии кварцевого песка, мм/1000 ч	Скорость потока, при которой начинается интенсивный износ, м/с
Сталь (углеродистая)	0.05–0.20 (без футеровки)	2.5–3.5
СВТ	0.2–0.4	1.0–1.5
ГПАТ	0.03–0.10 (при полиамидном слое)	3.0–4.0

Таблица 4. Стойкость к ударному воздействию абразивов

Материал трубы	Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м²	Давление разрушения от локального удара, МПа
Сталь	100–150	25–35
СВТ	10–30 (вдоль волокон)	5–8
ГПАТ	50–100 (зависит от полиэтилена и армировки)	15–25

Таблица 5. Срок службы в условиях абразивного износа

Материал трубы	Оценочный срок службы, лет	Условия
Сталь	10–15	При наличии внутренней защиты (например, эпоксидного покрытия)
СВТ	3–5	При содержании твёрдых частиц до 0.5% и низкой скорости
ГТ	15–25	При правильном подборе внутреннего слоя и скорости ≤ 3 м/с

Таблица 6. Возможность ремонта и восстановления

Материал трубы	Методы ремонта	Время восстановления, ч/секция
Сталь	Сварка, футеровка, накладка	2–6
СВТ	Замена участка, ограниченная клеевая вставка	6–12
ГПАТ	Сменные муфты, замена секции	4–8

Таблица 7. Масса и коррозионная стойкость

Материал трубы	Плотность, г/см ³	Масса 1 м, кг	Коррозионная стойкость (в H ₂ S / CO ₂ среде)
Сталь	7.85	28–32	Низкая, требуется защита (эмаль, эпоксидка)
СВТ	~2.0	9–11	Высокая
ГПАТ	~1.5	6–8	Высокая

Вывод по воздействию абразивов на трубопроводы различного материального исполнения

При транспортировке жидкостей и газов, содержащих абразивные частицы (песок, твёрдые включения, окалина), выбор материала трубопровода играет ключевую роль в обеспечении надёжности, срока службы и безопасности эксплуатации системы.

Стальные трубопроводы демонстрируют высокую прочность и устойчивость к ударным нагрузкам, что делает их надёжными в условиях переменного давления и при наличии песчаных пробок. Однако при отсутствии внутренней защиты они подвержены интенсивному абразивному износу и коррозии, особенно при наличии воды, CO₂ и H₂S. Их масса велика, но при этом они легко ремонтируются, что особенно ценно в удалённых или ответственных объектах.

СВТ обладают низкой стойкостью к абразивному износу и чувствительны к механическим повреждениям. Несмотря на высокую коррозионную стойкость и малый вес, они не рекомендуются к применению в потоках, содержащих твёрдые частицы, особенно при скоростях выше 1,5 м/с. При повреждении СВТ требует полной замены участка, что ограничивает его применение в абразивных условиях.

ГПАТ демонстрируют высокую устойчивость к абразивному износу благодаря внутреннему слою из полиэтилена или полиамида, а также хорошую ударную стойкость. Они эффективно работают при скоростях до 4 м/с и обладают высокой химической и коррозионной стойкостью. ГПАТ легче стальных труб и удобны в монтаже, однако требуют аккуратного обращения и соблюдения радиуса изгиба. Их ремонт возможен секционно, что делает их удобными для применения в полевых условиях.

Таким образом, наиболее универсальным решением в условиях абразивного износа при умеренных давлениях является использование ГПАТ, особенно в сочетании с коррозионно-агрессивными средами. Сталь остаётся предпочтительным материалом для тяжёлых условий, когда необходима высокая прочность и возможность экстренного ремонта. СВТ следует использовать только в чистых средах, без абразивных включений.

Технико-технологические решения

В итоге стекловолоконные трубы требуют более очищенной продукции, в тоже время, данный материал трубопровода является все еще является самым предпочтительным с точки зрения совокупной экономической выгоды.

Для устранения рассматриваемой технологической проблемы предлагается внедрение специализированного оборудования — поточного пескоотделителя типа Tore Online Vessel Desander (OVD). Данное устройство (см. рисунок 5) предназначено для удаления механических примесей из потока жидкости и реализует концепцию гидротранспортировки твердых частиц за счёт использования естественных гидродинамических сил. Поточный пескоотделитель эффективно справляется как с песчаными, так и с глинистыми включениями.

Конструкция устройства основана на принципе псевдооживления, при котором твёрдые частицы, находящиеся на дне сосуда, поднимаются восходящим потоком жидкости, формируя подвижный слой. Такая система способна функционировать даже при полном погружении в

плотные песчаные отложения. В процессе работы вокруг зоны скопления песка создаётся локальный вихрь, за счёт подачи жидкости через кольцевую полость между напорной трубой и основанием устройства. В результате этого вихря частицы переходят в псевдооживленное состояние и втягиваются в центральную ось потока, направляясь далее по выпускной линии. Важно отметить, что локальный характер вихря исключает воздействие на границы фазовых разделов в многофазных сосудах.

Устройство разработано с учётом максимальной эффективности удаления осадков и может быть установлено внутри существующих аппаратов, таких как отстойники и сепараторы, без необходимости полной их замены. Благодаря простоте монтажа, внедрение пескоотделителя в действующую систему обычно занимает не более двух суток, включая демонтаж накопившегося осадка (песок, глина и т.д.).

В зависимости от размеров оборудования подбирается соответствующее количество рабочих элементов. Так, для компактных сосудов достаточно одной продольной секции OVD, включающей четыре рабочих узла, размещённых вдоль центральной оси днища.

Для большегабаритных ёмкостей применяется модуль Tore OVD, который может включать 8, 12 или более единиц, кратных четырем, что позволяет добиться равномерного охвата всей площади дна. В случаях, когда ширина сосуда превышает 3 метра, устройства выполняются в виде сдвоенных модулей. Чтобы избежать пересечения зон действия отдельных блоков, рекомендуется устанавливать накопители на расстоянии от 0,8 до 1,2 метра друг от друга — это обеспечивает равномерное покрытие и оптимальное извлечение твердых частиц по всей поверхности емкости.

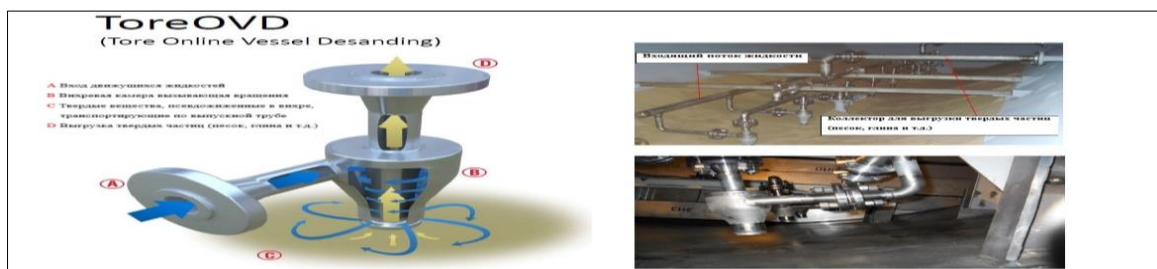


Рисунок 5 Поточный пескоотделитель ToreOVD

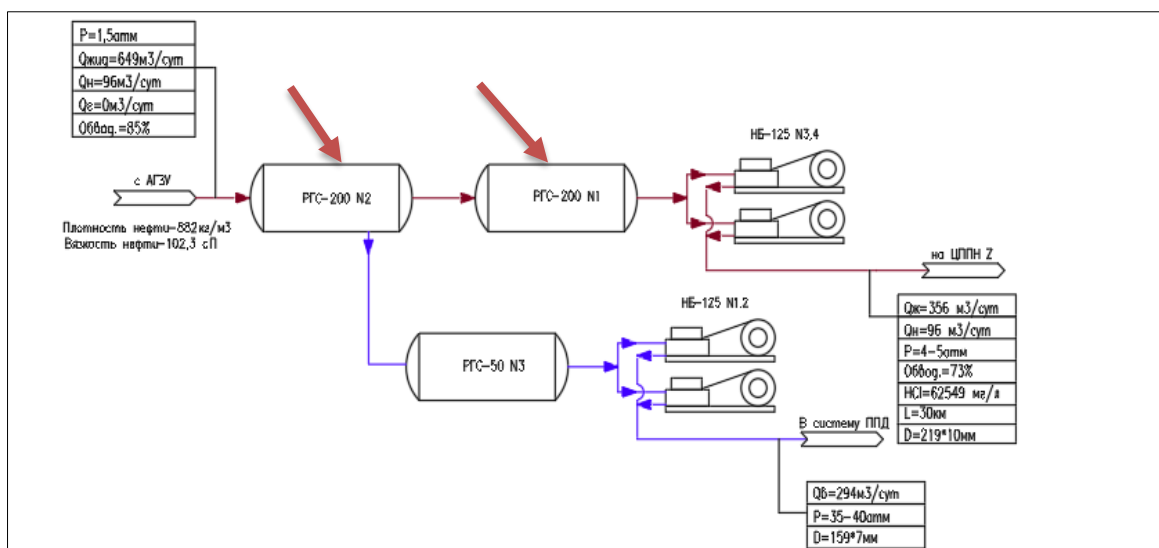


Рисунок 6. Принципиальная технологическая схема с рекомендуемыми оборудованием для установки поточного пескоотделителя ToreAVD

Таблица 8. Экономические показатели при транспортировке жидкости по стальному межпромысловому трубопроводу Ду=150мм СП Х-ЦППН Z

Наименование	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год
Труба стальная бесшовная диам. Ду=159 мм с автодорогой (щебёночным покрытием)	5 188 283										
Операционные затраты ЦППН Z	401 330	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04	515 735,96	528 629,36	541 845,10
Поток	4 786 953	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04	515 735,96	528 629,36	541 845,10
Накопленный поток	4 786 953,06	4 369 569,86	3 933 404,41	3 481 973,18	3 014 741,85	2 535 829,74	2 044 944,83	1 541 787,79	1 026 051,83	- 497 422,47	44 422,63
Чистая приведенная стоимость (12,24%)	4 264 926,10	3 933 612,21	3 625 145,51	3 340 698,77	3 078 401,56	2 838 866,07	2 620 117,07	2 420 350,74	2 237 919,80	- 2 071 319,91	- 1 919 177,29

Таблица 9. Экономические показатели при транспортировке жидкости по СВТ межпромысловому трубопроводу Ду=150мм СП Х-ЦППН Z

Наименование	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год
Труба СВТ бесшовная диам. Ду=150 мм с автодорогой (щебёночным покрытием)	3 611 378							
Операционные затраты ЦППН Z	401 330	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04
Поток	3 210 048	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04
Накопленный поток	3 210 048,32	2 792 665,12	2 356 499,68	1 905 068,44	1 437 837,12	958 925,01	468 040,09	35 116,95
Чистая приведенная стоимость (12,24%)	2 859 986,03	2 528 672,14	2 220 205,44	1 935 758,70	1 673 461,49	1 433 926,00	1 215 177,00	1 015 410,67

Таблица 10. Экономические показатели при транспортировке жидкости межпромысловому по трубопровода из гибкого композитного полиэтилена «Fibron Pipe GmbH Ду=150мм СП X-ЦППН Z

Наименование	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год
Труба FIBRON PIPE бесшовная диам. Ду=150 мм с автодорогой (щебёночным покрытием)	4 770 150										
Операционные затраты ЦППН Z	401 330,00	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04	515 735,96	528 629,36	541 845,10
Поток	4 368 820,48	417 383,20	436 165,44	451 431,23	467 231,33	478 912,11	490 884,91	503 157,04	515 735,96	528 629,36	541 845,10
Накопленный поток	4 368 820,48	3 951 437,28	3 515 271,84	3 063 840,60	2 596 609,27	2 117 697,16	1 626 812,25	1 123 655,21	607 919,25	79 289,89	462 555,21
Чистая приведенная стоимость (12,24%)	3 892 391,73	3 561 077,84	3 252 611,14	2 968 164,40	2 705 867,19	2 466 331,70	2 247 582,70	2 047 816,37	1 865 385,43	1 698 785,54	1 546 642,92

Список литературы

1. А.А. Ишмурзин, Р.А. Храмов «Процессы и оборудование системы сбора и подготовки нефти, газа и воды» - Уфа, 2003г;
2. Лутошкин Г.С. «Сбор и подготовка нефти, газа и воды» - М., ООО ТИД Альянс, 2005г, 320 с.;
3. «Нормы технологического проектирование объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений» - ВНТП 3-85, 1986г.;
4. Мордвинов В. А. «Эксплуатация нефтегазопромысловых систем: программа и метод. Указания» – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013г, 31 с.;
5. СТ РК 1662-2007 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству»;
6. Земенков Ю.Д., Александров М.А., Маркова Л.М., Дудин С.М., Подорожников С.Ю., Никитина А.В. «Техника и технологий сбора и подготовки нефти и газа» - Тюмень, 2015г
7. «Проектирование промысловых стальных трубопроводов» ВСН-51-3-85, 1985г.;
8. «Нормы технологического проектирование объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений» - ВНТП 3-85, 1986г.;
9. Мордвинов В. А. «Эксплуатация нефтегазопромысловых систем: программа и метод. Указания» – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013г, 31 с.;
10. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. - М., ООО ТИД Альянс, 2005г, 320 с.;

А.С. Каримова, А.С. Асқаров, С.Р. Кабышев

МҰНАЙДЫ МЕЖКЕН ОРЫНДАР АРАЛЫҚ ҚҰБЫРЛАРМЕН ТАСЫМАЛДАУ КЕЗІНДЕ АБРАЗИВТІ ШӨГІНДІЛЕРМЕН КҮРЕСУГЕ АРНАЛҒАН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕР

Аннотация. Мұнай ұңғымаларының өнімін өндіру, тасымалдау және дайындау кезінде механикалық қоспалардың, негізінен құмның болуы өзекті мәселе болып қала береді. Құм әсіресе тұтқыр мұнай өндіретін, бор шөгінділерінде орналасқан кен орындарын игеру кезінде көптеп шығарылады. Мұндай абразивті бөлшектер көбінесе ламинарлы ағын режимі бар ауырлық күшіне негізделген тұндырғыштар сияқты механикалық деэмульсация жүретін жабдықтарда жиналады. Мұндай аппараттарға қысымы 0,7 атм жоғары (СРД) жұмыс істейтін ыдыстар, тік және көлденең резервуарлар (тиісінше РВС және РГС) жатады. Абразивтердің болуы бұл қондырғылардың пайдалану тиімділігін айтарлықтай төмендетіп, эрозиялық процестердің салдарынан тозу жылдамдығын арттырады.

Осыған ұқсас мәселелер межкен орындар аралық құбыр жүйесінде де кездеседі, онда абразивтердің қарқынды әсері құбыр желілерінің бүтіндігін және қызмет ету мерзімін теріс әсерге ұшыратады.

Түйінді сөздер: межкен орындар аралық құбыр (МКҚ), мұнай-газ сепараторы (МГС), түтікшелі пеш (ТП), тік резервуар (ТР), көлденең тұндырғыш (КТ), бұрғылау насостары (БН), секциялық типтегі центрифугалық насос (СТЦН), жинақтау пункті (ЖП), мұнайды орталықтан дайындау пункті (МОДП), ағынды құм бөлгіш (АҚБ).

A.S. Karimova, A.S. Askarov, S.R. Kabyshev

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR COMBATING ABRASIVE DEPOSITS DURING CRUDE OIL TRANSPORTATION THROUGH INTERFIELD PIPELINES

Abstract. The presence of mechanical impurities—primarily sand—remains a relevant issue during the production, transportation, and treatment of crude oil. Sand carryover is especially intense in the development of oil fields with viscous oil located in chalk formations. Such abrasive particles mainly

accumulate in equipment where mechanical demulsification takes place, such as gravity settlers operating under laminar flow conditions. These include pressure vessels operating above 0.7 atm (PRV), as well as vertical and horizontal tanks (VST and HST, respectively). The presence of abrasives significantly reduces the operational efficiency of these units and accelerates wear due to erosion.

Similar problems are observed in interfield pipeline systems, where the intensive impact of abrasives negatively affects the integrity and service life of the pipelines.

Keywords: interfield pipeline (IFP), oil-gas separator (OGS), tubular furnace (TF), vertical storage tank (VST), horizontal settler (HS), drilling pump (DP), sectional centrifugal pump (SCP), gathering station (GS), central oil treatment facility (COTF), inline sand separator (ISS).

УДК 553.982.2: 51-74

А. Сабыржанқызы, Д. Боранбаев

Атырау Мұнай және газ университеті. С. Өтебаева, Атырау, Қазақстан

E-mail: akmaral.sabyrzhanqyzy@mail.ru

КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ ҰЗАҚМЕРЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУҒА АРНАЛҒАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Аннотация. Мақалада көлденең ұңғымалардың беріктігі мен сенімділігін арттыруға бағытталған инновациялық материалдар мен технологиялар қарастырылған. Жоғары берікті коррозияға төзімді болаттар, композитті құбырлар, наномодификацияланған цемент жүйелері және ұңғы жағдайын бақылайтын цифрлық технологиялар талданады. Мұнай-газ өнеркәсібінде жаңа материалдар мен басқару жүйелерін енгізудің мысалдары келтіріліп, олардың ұңғының пайдалану мерзіміне және экономикалық тиімділігіне әсері бағаланған.

Түйін сөздер: көлденең ұңғыма, инновациялық материалдар, композитті құбырлар, нанотехнология, цементтеу жүйелері, ұңғының бүтінділігі, коррозиядан қорғау, интеллектуалды ұңғы, цифрлық егіз, ұзақмерзімділік.

Көлденең бұрғылау қазіргі мұнай-газ инженериясының негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Бұл технология төмен өткізгіштігі бар қабаттарды тиімді дренаждауға және мұнайды алу коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді.

Алайда көлденең ұңғымаларды пайдалану кезінде келесі мәселелер жиі туындайды:

- бұрғылау және шегендеу құбырларының тез тозуы;
- цемент тасының герметикалығының бұзылуы;
- агрессивті орта (H_2S , CO_2 , хлоридтер) әсерінен коррозия;
- жоғары температура қысым әсерінен болатын термомеханикалық жүктемелер.

Сондықтан көлденең ұңғымалардың ұзақмерзімділігі тек жобалау бұрғылау сапасына емес, сонымен қатар инновациялық материалдар интеллектуалды технологияларды қолдануға байланысты.

Ұңғыманың қызмет ету мерзімін қысқартатын негізгі факторлар:

1. Металл коррозиясы – агрессивті флюидтердің әсерінен;
2. Механикалық қажалу – қисық учаскелерде үйкелістің артуы;
3. Цемент тасының жарықтануы мен жарылуы, нәтижесінде қабатаралық ағындардың пайда болуы;
4. Парафин, тұз және асфальтен шөгінділері;
5. Мониторингтің жеткіліксіздігі, яғни ұңғы жағдайының уақтылы бақыланбауы.

Бұл мәселелерді шешу үшін инновациялық материалдар, технологиялар және интеллектуалды бақылау жүйелерін біріктіретін кешенді тәсіл қажет.

Шегендеу және бұрғылау колонналарына арналған инновациялық материалдар

- Жаңа буындағы жоғары берікті болаттар

1. 13Cr, 25Cr, Super Duplex, Incoloy 825 сияқты болат маркалары коррозия мен эрозияға төзімділігімен ерекшеленеді.

2. Титан және никель негізіндегі суперқорытпаларды қолдану агрессивті қабат жағдайында құбырлардың қызмет ету мерзімін 30–50%- дейін арттырады.

- Композитті құбырлар

Шыныталшықты, көміртекті және базальтты композиттер болат құбырларды біртіндеп алмастыруда. Олардың артықшылықтары:

- массасы болаттан 3–5 есе жеңіл;
- коррозияға мүлде ұшырамайды;
- магнитсіз, геофизикалық өлшеулерге кедергі келтірмейді;
- қызмет ету мерзімі — 25–30 жылға дейін.

Мұндай композитті шегендеу құбырлары Қарашығанақ, Теңіз және Permian Basin (АҚШ) орындарында табысты қолданылып келеді.

- Наноқаптамалар

Титан карбиді (TiC), бор нитриді (BN), графен негізіндегі наноқабықтар үйкеліс коэффициентін азайтып, металдың коррозиясын тежейді. Мұндай жабындар бұрғылау құбырларының тозуын 2–3 есеге дейін төмендетеді және жоғары температурада бұранда байланыстарының тығыздығын сақтайды.

Цементтеу және изоляциялау материалдарының жаңа түрлері

- Өзін-өзі қалпына келтіретін цементтер

Цемент құрамына арнайы микрокапсулалар енгізіледі. Жарық пайда болған кезде капсула жарылып, ішіндегі гель цемент тастың жарығын толтырады. Нәтижесінде герметикалық қасиет 90% дейін қалпына келеді.

- Наномодификацияланған цементтер

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, графен сияқты нанобөлшектерді енгізу цементтің адгезиясын, беріктігін және термотұрақтылығын арттырады. Мұндай цемент сақинасының қызмет ету мерзімі 25 жылдан асады.

- Полимерлі тампонаж жүйелері

Полимерлі қоспалар цементке серпімділік береді, ол температураның ауытқуына бейімделіп, жарық пайда болуына жол бермейді.

Инновациялық бұрғылау және пайдалану технологиялары

- Интеллектуалды бұрғылау (Smart Drilling)

Нағыз уақыт режимінде қысым, температура, діріл және айналу моментін өлшейтін датчиктермен жабдықталған смарт-жүйелер бұрғылау параметрлерін автоматты түрде реттейді. Baker Hughes AutoTrak және Halliburton iCruise жүйелері бағыттың дәлдігін 0,5°-тан төмен ауытқумен қамтамасыз етеді.

- Нанотехнологиялық бұрғылау ерітінділері

SiO₂, Fe₃O₄, Al₂O₃ сияқты нанобөлшектер бұрғылау сұйықтарының термотұрақтылығын және сүзгіштік қасиеттерін арттырады.

Сонымен қатар нанобөлшектер қабырғада жұқа, берік сүзгі қабатын түзіп, қабырғаның құлауын және сұйықтың жоғалуын болдырмайды.

- Ұңғының цифрлық егіздері

Schlumberger DELFI, Halliburton Digital Twin секілді платформалар виртуалды ұңғы моделін жасайды. Бұл модель нақты деректер негізінде механикалық шаршауды және материалдардың тозуын болжай алады.

- Мониторинг және диагностика жүйелері

Ұңғының ұзақмерзімділігін арттыру үшін келесі заманауи жүйелер кеңінен қолданылады:

- оптикалық талшықты датчиктер (DAS, DTS) – температура акустикалық толқындарды өлшейді;
- шегендеу құбырларына орнатылған сенсорлар – қысым мен деформацияны бақылайды;
- сымсыз ұңғы датчиктері (Wireless Downhole Sensors) – құрылғыны түсірмей деректерді жібереді.

Бұл жүйелер цемент сақинасының ығысуы, ұсақ ағып кетулер басқа ақауларды ерте анықтап, апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Коррозия және шөгінділерден қорғау

Қорғау шараларына мыналар жатады:

- катодтық қорғау және жаңа буын ингибиторлары;
- ішкі полимерлі жабындар (нанобөлшектермен күшейтілген);
- антипарафинді фторполимерлі қабықшалар;
- «ақылды» ингибиторлар, олар рН немесе температура өзгергенде ғана белсендіріледі.

Осы әдістердің нәтижесінде коррозия жылдамдығы 0,01 мм/жылға дейін төмендеп, көлденең учаскелердегі шөгінді көлемі 40–60% азаяды.

Инновациялық материалдар мен технологияларды енгізу бастапқы инвестицияны қажет етеді, бірақ олардың тиімділігі айқын:

- жөндеу жиілігінің төмендеуі;
- ұңғының тоқтау уақытын қысқарту;
- аралық жөндеу мерзімінің ұзартылуы;
- жалпы қызмет ету мерзімінің 25–40% артуы.

SPE деректері бойынша (2024 ж.), композитті шегендеу және наномодификацияланған цемент қолдану көлденең ұңғымалардағы апаттылықты 37% төмендетіп, қызмет ету мерзімін 10 жылға дейін арттырған.

Қорытынды

Инновациялық материалдар технологиялар көлденең ұңғымалардың ұзақмерзімділігін арттырудың негізгі факторы болып табылады. Нанотехнологиялар, композиттік құрылымдар, өзін-өзі қалпына келтіретін цементтер және цифрлық егіздер негізінде интеллектуалды ұңғылардың жаңа буыны қалыптасуда. Мұнай-газ саласының болашағы — материалтану, цифрландыру және автоматтандыру бағыттарының интеграциясында. Бұл шешімдер энергетикалық ресурстарды тұрақты әрі қауіпсіз игеруге жол ашады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Bai, M., Li, Z. (2022). Advanced Materials for Wellbore Integrity in Horizontal Drilling. Journal of Petroleum Science and Engineering.
2. Zhang, Y., et al. (2021). Smart Nanocomposite Cement Systems for Long-Term Zonal Isolation. SPE Journal.
3. Омаров К.Т., Ержанов С.Б. (2023). Көлденең ұңғымаларға арналған инновациялық шегендеу материалдары. Мұнай-газ технологиялары журналы.
4. Halliburton (2024). Интеллектуалды ұңғыны аяқтау жүйелері: бүтіндікті арттыру. Техникалық есеп.
5. API RP 10B-2 (2021). Well Cements сынақтарына арналған нұсқаулық.
6. Schlumberger (2023). Көлденең ұңғымалардың цифрлық егіздері және болжаулы диагностика. Ақ кітап (White Paper).

А. Сабыржанкызы, Д. Боранбаев

**ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН**

Аннотация. В статье рассматриваются инновационные материалы и технологии, направленные на повышение прочности и надежности горизонтальных скважин. Анализируются высокопрочные коррозионно-стойкие стали, композитные трубы, наномодифицированные цементные системы, а также цифровые технологии мониторинга состояния скважин. Приведены примеры внедрения новых материалов и систем управления в нефтегазовой промышленности и оценено их влияние на срок эксплуатации скважин и экономическую эффективность.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, инновационные материалы, композитные трубы, нанотехнологии, цементные системы, целостность скважины, защита от коррозии, интеллектуальная скважина, цифровой двойник, долговечность.

A.Sabyrzhankyzy, D. Boranbaev

**INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR ENHANCING THE LONG-
TERM DURABILITY OF HORIZONTAL WELLS**

Abstract. The article discusses innovative materials and technologies aimed at improving the strength and reliability of horizontal wells. High-strength corrosion-resistant steels, composite pipes, nanomodified cement systems, and digital technologies for monitoring well integrity are analyzed. Examples of implementing new materials and control systems in the oil and gas industry are presented, and their impact on well service life and economic efficiency is evaluated.

Keywords: horizontal well, innovative materials, composite pipes, nanotechnology, cementing systems, well integrity, corrosion protection, intelligent well, digital twin, durability.

УДК 553.982.2: 51-74

А. Сабыржанкызы, А. Миданов, А. Марданова

Атырауский университет нефти и газа им. С.Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: akmaral.sabyrzhankyzy@mail.ru**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ С
ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные методы повышения нефтеотдачи пластов с применением систем поддержания пластового давления. Проведен анализ существующих технологий, включая водонагнетательные системы, газонагнетательные методы, а также химические реагенты. Особое внимание уделено перспективным направлениям, таким как цифровое моделирование и интеллектуальные системы управления. Представлены преимущества и недостатки различных методов, а также их эффективность на реальных месторождениях. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и оптимизации систем повышения нефтеотдачи для повышения эффективности добычи углеводородов. Также рассмотрены инновационные подходы, такие как использование нанотехнологий и микробиологических методов, которые показывают высокую эффективность в условиях сложных геологических структур. Проанализированы данные о применении полимерно-водных технологий на различных месторождениях Казахстана. Особое внимание уделено влиянию систем ППД на экологическую безопасность и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Описаны перспективы

внедрения интеллектуальных систем управления, основанных на алгоритмах машинного обучения. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований по использованию биополимеров для повышения нефтеотдачи. Проведен сравнительный анализ эффективности различных методов в зависимости от геологических условий. Подчеркнута роль цифровых технологий в обеспечении непрерывного мониторинга процессов ППД. Представлены данные о влиянии температуры и солености воды на эффективность полимерных реагентов. Обоснована необходимость комплексного подхода при выборе методов повышения нефтеотдачи. Описаны перспективы дальнейшего развития технологий с учетом современных тенденций в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: нефтеотдача, поддержание пластового давления, полимерно-водные технологии, микробиологические методы, цифровые технологии, SCADA-системы, наночастицы, биополимеры, автоматизация, интеллектуальные системы.

Системы поддержания пластового давления играют ключевую роль в процессе повышения нефтеотдачи. В зависимости от условий месторождения применяются различные методы, которые отличаются по эффективности, затратам и экологической безопасности.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ методов повышения нефтеотдачи с применением систем ППД.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов повышения нефтеотдачи с применением систем ППД

Метод	Эффективность, %	Преимущества	Недостатки	Область применения
Водонапорные системы	30-50	Низкая стоимость, простота	Образование водонефтяных эмульсий	Месторождения с высокой проницаемостью
Газонапорные системы	40-60	Высокая эффективность	Высокие затраты, экологические риски	Пласты с низкой проницаемостью
Полимерно-водные технологии	50-70	Повышение вязкости воды, равномерное вытеснение	Высокая стоимость реагентов	Гетерогенные пласты
Нанотехнологии	60-80	Высокая эффективность, экологичность	Дорогостоящие материалы	Низкопроницаемые пласты
Биополимеры	50-75	Экологическая безопасность, снижение затрат	Ограниченная применимость	Пласты с высокой вязкостью нефти

Описание методов

- Водонапорные системы: Широко применяются на месторождениях с высокой проницаемостью пластов. Они обеспечивают дополнительное давление за счет закачки воды в нагнетательные скважины, однако могут способствовать образованию эмульсий, что снижает эффективность добычи.

- Газонапорные системы: Применяются на низкопроницаемых пластах. Закачка газа позволяет значительно увеличить нефтеотдачу, однако данный метод требует высоких затрат и может представлять экологическую опасность.

- Полимерно-водные технологии: Введение полимеров в закачиваемую воду увеличивает её вязкость, что способствует более равномерному вытеснению нефти. Метод особенно эффективен на гетерогенных пластах с разной проницаемостью.
- Нанотехнологии: Один из самых перспективных методов, который позволяет улучшить смачиваемость породы и снизить межфазное натяжение, что увеличивает коэффициент нефтеотдачи. Однако высокая стоимость ограничивает широкое внедрение.
- Биополимеры: Экологически безопасные реагенты, которые повышают вязкость вытесняющего агента. Этот метод экономичен, но его эффективность ограничена для пластов с низкой проницаемостью.

Анализ эффективности методов на примере месторождений Казахстана

Для оценки эффективности современных методов повышения нефтеотдачи с применением систем ППД были рассмотрены данные с нескольких крупных месторождений Казахстана.

- Месторождение Тенгиз: Применение полимерного заводнения позволило увеличить коэффициент извлечения нефти с 40% до 55%. Дополнительное внедрение систем мониторинга привело к сокращению расходов на реагенты.
- Месторождение Карачаганак: Использование газонапорных систем показало увеличение нефтеотдачи на 20%, однако сопровождалось высокими затратами на утилизацию газа и экологическими рисками.
- Месторождение Узень: Нанотехнологии продемонстрировали рост коэффициента извлечения нефти до 75%, что сделало метод наиболее эффективным среди представленных.
- Месторождение Жанажол: Применение биополимеров позволило снизить себестоимость добычи на 15% при сохранении высокой экологической безопасности.

Анализ показывает, что выбор метода повышения нефтеотдачи должен основываться на характеристиках пласта, экономической целесообразности и экологических аспектах.

Кроме того, результаты исследования подтверждают, что комбинированное применение нескольких методов может значительно повысить эффективность добычи. Наиболее перспективными являются нанотехнологии и полимерно-водные технологии, благодаря их высокой эффективности и экологической безопасности.

Важным аспектом при выборе метода является также доступность реагентов и инфраструктуры для реализации технологии. Внедрение систем мониторинга и автоматизированного управления позволяет повысить эффективность систем ППД и снизить эксплуатационные расходы.

Примеры месторождений Казахстана демонстрируют, что применение современных технологий позволяет значительно увеличить коэффициент извлечения нефти и снизить себестоимость добычи.

Таким образом, дальнейшее развитие и внедрение инновационных методов ППД в нефтяной отрасли Казахстана является перспективным направлением, способствующим устойчивому развитию энергетического сектора страны.

Современные методы повышения нефтеотдачи

Современные методы повышения нефтеотдачи с применением систем ППД включают широкий спектр технологий, направленных на улучшение извлечения углеводородов. Наиболее перспективными методами, активно применяемыми в Казахстане, являются полимерно-водные технологии, наночастицы, биополимеры и микробиологические методы.

В Казахстане для повышения нефтеотдачи пластов применяются различные современные методы, включая полимерно-водные технологии, нанотехнологии, биополимеры и микробиологические методы. Национальная компания «КазМунайГаз» (КМГ) разработала Программу технологических вызовов, предусматривающую индивидуальный подход к каждому месторождению. В 2024 году благодаря этой программе удалось дополнительно добыть 418 тыс. тонн нефти, а в 2025 году планируется увеличить этот показатель до 519 тыс. тонн. Особое внимание уделяется внедрению пилотных проектов по применению наночастиц

и микробиологических методов на зрелых месторождениях. Кроме того, на месторождении Узень проводится тестирование комбинированного метода с применением полимеров и биополимеров, что позволяет повысить коэффициент извлечения нефти на 10-15%. Программа технологических вызовов также включает исследования по адаптации методов повышения нефтеотдачи к сложным геологическим условиям Казахстана. Ведется активная работа по внедрению интеллектуальных систем мониторинга, которые позволяют в реальном времени контролировать процессы закачки реагентов и оптимизировать параметры эксплуатации. Одним из перспективных направлений является использование углекислотного заводнения, которое позволяет не только повысить нефтеотдачу, но и снизить выбросы парниковых газов. Важным аспектом программы является повышение квалификации инженерно-технического персонала, что способствует более эффективному применению современных технологий. Благодаря комплексному подходу и государственной поддержке, Казахстан занимает лидирующие позиции в регионе по внедрению инновационных методов повышения нефтеотдачи.

Применение цифровых технологий для мониторинга систем ППД

Цифровые технологии играют ключевую роль в повышении эффективности систем ППД, обеспечивая мониторинг и автоматизацию процессов в реальном времени. Современные цифровые системы позволяют интегрировать данные с различных сенсоров и датчиков, обеспечивая комплексный контроль параметров разработки месторождений. Это дает возможность оперативно реагировать на изменения пластового давления, минимизировать риски аварийных ситуаций и повысить общую эффективность добычи.

- **Big Data:** Анализ больших объемов данных позволяет прогнозировать поведение пластов, оптимизировать режим закачки и минимизировать затраты. Прогнозирование осуществляется на основе исторических данных, что позволяет выявлять закономерности и принимать оптимальные решения.

- **SCADA-системы:** Автоматизированные системы управления позволяют контролировать параметры давления, дебита и качества закачиваемого агента в реальном времени. SCADA-системы обеспечивают мгновенное реагирование на отклонения, что повышает оперативность принятия решений.

- **Автоматизация процессов:** Внедрение интеллектуальных систем управления способствует снижению влияния человеческого фактора, увеличению точности операций и повышению безопасности. Программируемые логические контроллеры (PLC) позволяют автоматически регулировать параметры закачки в зависимости от текущих данных.

Применение цифровых технологий в системах ППД позволяет не только повысить эффективность процессов, но и обеспечить экологическую безопасность за счет оптимального использования ресурсов и снижения выбросов. Такие технологии становятся неотъемлемой частью современных систем разработки месторождений, обеспечивая конкурентоспособность и устойчивость нефтегазовой отрасли.

Заключение.

Современные методы повышения нефтеотдачи с применением систем ППД играют важную роль в развитии нефтегазовой отрасли, обеспечивая максимальное извлечение углеводородов из пластов. Внедрение таких технологий, как полимерно-водные методы, нанотехнологии, биополимеры и микробиологические методы, позволяет значительно повысить коэффициент извлечения нефти и снизить себестоимость добычи. Особую значимость приобретает использование цифровых технологий, таких как Big Data, SCADA-системы и искусственный интеллект, которые обеспечивают автоматизацию процессов, оптимизацию режимов работы и экологическую безопасность. Анализ применения методов на месторождениях Казахстана показывает, что комплексный подход, включающий современные технологии и цифровые решения, является наиболее эффективным способом повышения нефтеотдачи. Перспективы дальнейшего развития отрасли связаны с внедрением инновационных технологий, что позволит повысить энергоэффективность, снизить

экологическую нагрузку и обеспечить устойчивое развитие нефтегазового сектора. В условиях роста мирового спроса на энергоресурсы и необходимости снижения экологического воздействия, интеграция передовых методов и цифровых решений становится приоритетной задачей для нефтегазовых компаний. Таким образом, дальнейшие исследования и разработки в данной области будут способствовать не только увеличению объемов добычи, но и обеспечению устойчивого развития отрасли в целом.

Список литературы

1. Обзор современных методов повышения нефтеотдачи пласта // Технологическое оборудование и газоснабжение. – URL: [Тегаз](#)
2. Способы повышения нефтеотдачи: классификация и примеры // Нефтегаз-Экспо. – URL: [Нефтегаз Экспо](#)
3. Новые технологии повышения нефтеотдачи // Нефтегаз-2025. – URL: [Нефтегаз Экспо](#)
4. Поддержание пластового давления (ППД) на нефтяных залежах // Neftegaz.RU. – URL: [neftegaz.ru](#)
5. Системы поддержания пластового давления: нынешнее состояние и перспективы развития // Neftegaz.RU. – URL: [neftegaz.ru](#)
6. Систему ППД оптимизируют с помощью цифровой модели // НАНГС. – URL: [nangs.org](#)
7. Газпром нефть повышает эффективность управления добычей с помощью цифровых технологий // НАНГС. – URL: [nangs.org](#)
8. Применение электронно-измерительного устройства контроля параметров воды для систем поддержания пластового давления // КиберЛенинка. – URL: [КиберЛенинка](#)
9. Управление системой поддержания пластового давления с использованием моделей конечно-автоматного вида // КиберЛенинка. – URL: [КиберЛенинка](#)
10. Технологии повышения нефтеотдачи пластов с использованием современных химических реагентов // КиберЛенинка. – URL: [КиберЛенинка](#)
11. Методы повышения нефтеотдачи пластов // Библиотека Оренбургского государственного университета. – URL: [БКПТ](#)
12. Новейшие методы увеличения нефтеотдачи // Нефтегазовая вертикаль. – URL: [НГВ](#)
13. Усовершенствование методов поддержания пластового давления // Электронный архив Томского политехнического университета. – URL: [earchive.tpu.ru](#)
14. Анализ поддержания пластового давления на месторождениях // Электронная библиотека СФУ. – URL: [elib.sfu-kras.ru](#)
15. Методические рекомендации по мониторингу целостности пластов-флюидоупоров при разработке шельфовых месторождений // Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых. – URL: [gkz-rf.ru](#)
16. ППД – путь инноваций // ROGTEC Magazine. – URL: [rogtecmagazine.com](#)
17. Технологии для поддержания пластового давления и утилизации // Главтех. – URL: [glavteh.ru](#)
18. Разработка экспресс-методики оптимизации системы поддержания пластового давления // Научно-технический журнал «Нефтяное хозяйство». – URL: [ntj-oil.ru](#)
19. Технология и техника методов повышения нефтеотдачи пластов // Санкт-Петербургский горный университет. – URL: [spmi.ru](#)
20. Применение цифровых технологий для мониторинга систем поддержания пластового давления // Нефтегазовая отрасль.

А. Сабыржанқызы, А. Миданов, А. Марданова

ҚАБАТ ҚЫСЫМЫН ҰСТАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІ

Аннотация. Бұл мақалада қабат қысымын ұстап тұру жүйелерін қолдану арқылы қабаттардың мұнай қайтарымдылығын арттырудың заманауи әдістері қарастырылады. Бар су айдау жүйелері, газ айдау әдістері, сондай-ақ химиялық реагенттер сияқты технологиялар талданған. Цифрлық модельдеу және интеллектуалды басқару жүйелері сияқты перспективалы бағыттарға ерекше назар аударылды. Әртүрлі әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ олардың нақты кен орындарындағы тиімділігі ұсынылған. Алынған нәтижелер көмірсутектер өндіру тиімділігін арттыру үшін мұнай қайтарымдылығын арттыру жүйелерін әзірлеу және оңтайландыру кезінде қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, күрделі геологиялық құрылымдар жағдайында жоғары тиімділікті көрсететін нанотехнологиялар мен микробиологиялық әдістер сияқты инновациялық тәсілдер қарастырылған. Қазақстанның әртүрлі кен орындарында полимерлі-сулы технологияларды қолдану бойынша мәліметтер талданды. Қабат қысымын ұстап тұру жүйелерінің экологиялық қауіпсіздікке әсері және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға ерекше назар аударылды. Машиналық оқыту алгоритмдеріне негізделген интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу перспективалары сипатталған. Мұнай қайтарымдылығын арттыру үшін биополимерлерді қолдану бойынша эксперименттік зерттеулердің нәтижелері қарастырылды. Геологиялық жағдайларға байланысты әртүрлі әдістердің тиімділігіне салыстырмалы талдау жүргізілді. Цифрлық технологиялардың ППД процестерін үздіксіз бақылауды қамтамасыз етудегі рөлі атап өтілді. Полимер реагенттерінің тиімділігіне температура мен судың тұздылығының әсері туралы мәліметтер ұсынылған. Мұнай қайтарымдылығын арттыру әдістерін таңдауда кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделген. Мұнай-газ саласындағы заманауи үрдістерді ескере отырып, технологияларды одан әрі дамыту перспективалары сипатталған.

Түйінді сөздер: мұнай бергіштік, қабат қысымын ұстау, полимерлі-сулы технологиялар, микробиологиялық әдістер, цифрлық технологиялар, SCADA-жүйелері, нанобөлшектер, биополимерлер, автоматтандыру, зияткерлік жүйелер.

A. Sabyrzhanqyzy, A. Midanov, A. Mardanov

MODERN METHODS OF ENHANCING OIL RECOVERY USING RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEMS

Abstract. This article examines modern methods of enhancing oil recovery from reservoirs using pressure maintenance systems. The analysis covers existing technologies, including water injection systems, gas injection methods, and chemical reagents. Special attention is paid to promising areas such as digital modeling and intelligent control systems. The advantages and disadvantages of various methods, as well as their effectiveness in real oil fields, are presented. The obtained results can be used in the development and optimization of enhanced oil recovery systems to increase hydrocarbon production efficiency. Innovative approaches, such as the use of nanotechnology and microbiological methods, which show high efficiency in complex geological structures, are also considered. Data on the application of polymer-water technologies at various oil fields in Kazakhstan have been analyzed. Particular attention is paid to the impact of pressure maintenance systems on environmental safety and minimizing negative environmental impacts. The prospects for the implementation of intelligent control systems based on machine learning algorithms are described. The results of experimental studies on the use of biopolymers to enhance oil recovery are examined. A comparative analysis of the effectiveness of various methods depending on geological conditions has been carried out. The role of digital technologies in ensuring continuous monitoring of pressure maintenance processes is highlighted. Data on the influence of temperature and water salinity on the efficiency of polymer reagents are presented. The necessity of a comprehensive approach in selecting enhanced oil recovery methods is substantiated. The prospects for further technological development, considering modern trends in the oil and gas industry, are described.

Keywords: oil recovery, reservoir pressure maintenance, polymer-water technologies, microbiological methods, digital technologies, SCADA systems, nanoparticles, biopolymers, automation, intelligent systems.

УДК 553.982.2: 51-74

А.С. Сейтмуханова, А.А. Капизоллаева

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: seitmukhanovaaidana@gmail.com**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТА НА РАЗВИТИЕ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЙ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ КАЗАХСТАНА**

Аннотация. Основной целью данной работы является изучение основных геомеханических параметров пласта, выявление их взаимосвязи с пескопроявлением в скважинах, а также определение влияния этих параметров на устойчивость ствола скважины.

В ходе проведённых исследований установлены ключевые механизмы, инициирующие вынос песка, которые связаны с нарушением целостности пород и их объемным разрушением. Предложен новый подход, основанный на анализе взаимосвязи геомеханических параметров пласта с процессами пескопроявления в скважинах. Выполнен расчёт прогноза выноса песка на основе определённых механических свойств пород, представляющих собой последовательный процесс оценки характеристик горных пород и их отклика на воздействие в условиях разработки месторождения. На основе полученных данных сформулированы выводы и рекомендации, направленные на дальнейшее широкое применение геомеханических исследований для предотвращения и минимизации пескопроявлений.

Ключевые слова: пескопроявление, геомеханические параметры, круги Мора, модуль упругости, предел прочности, песчаниковые коллекторы, нормальное напряжение, касательное напряжение, трехосное сжатие.

Введение

Пескопроявление является одним из глобальных проблем в области нефти и газа. В большинстве случаев возникает при добыче углеводородов из песчаниковых коллекторов в результате неустойчивости ствола скважины и разрушения перфорационных каналов в пластах. Также следует отметить, что, ОАО «НК «Роснефть» [0] указывают на то, что причины выноса песка (рис.1) также могут быть разделены на три группы. Аналогичный подход встречается и в зарубежных исследованиях, согласно [0] процесс пескопроявления включает три основные стадии: разрушение пород при вскрытии пласта или перфорации, отделение частиц породы из-за потока флюидов после разрушения, перенос частиц пластовыми флюидами к стволу скважины. Важно подчеркнуть, что пескопроявление преимущественно наблюдается при разработке молодых и мелкозалегающих осадочных формаций. В частности, третичные формации, образованные в кайнозойскую эпоху, часто характеризуется как несцементированные или слабо сцементированные [0].

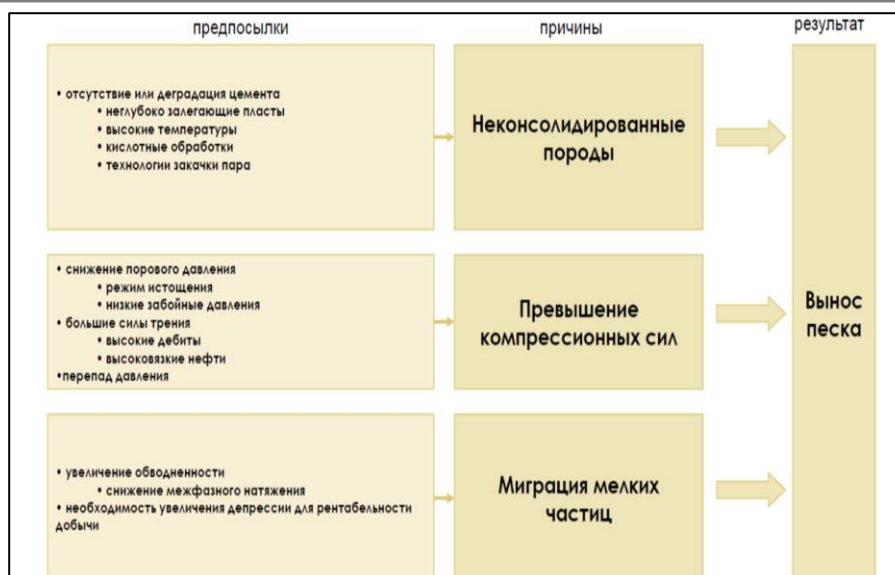


Рисунок 1. Причины выноса песка

Согласно [0] пескопроявление вызывает серьёзные осложнения в процессе добычи углеводородов. Основные последствия представлены на рисунке 2, где схематично отражено влияние пескопроявлений на эксплуатационное состояние скважины.



Рисунок 2. Последствия выноса песка

Известно, что устойчивость ствола скважины зависит от характеристики горных пород, их прочности, напряжения в пласте, наличия анизотропии. Все это относится к геомеханическим параметрам пласта, определение которых может предотвратить или помочь устранить некоторые проблемы в процессе эксплуатации. Вышеупомянутые геомеханические свойства позволяют определить в каких условиях начнется процесс пескопроявления. Модели прогноза должны создаваться на начальных этапах разработки или проектирования, чтобы определить соответствия применения каких-либо методов борьбы с нарушением целостности горных пород. К данным моделям можно отнести геомеханические модели, механико-математические модели, так же эти данные позволяют оценивать устойчивость горных пород и производить механические тесты для определения условий их разрушения. Кроме этого, они важны для получения максимально точной оценки реакции породы на техногенное воздействие (бурение скважины, проведение гидроразрыва пласта, создание депрессии на забое скважины). Также она позволяет подбирать оптимальную плотность бурового раствора,

корректировать траекторию при проектировании скважины, и предсказывать возможные осложнения при её эксплуатации, связанные с механическими свойствами пород. С помощью таких моделей определяется оптимальный способ заканчивания скважин, размещения перфораций и оцениваются критические депрессии для снижения объемов выносимого песка [0].

Глубокие и сверхглубокие газовые пласты характеризуются более высокими температурами, более высоким пластовым давлением и существенно иными механизмами движения флюидов по сравнению с более мелкозалегающими пластами.

В ходе разведки и разработки было обнаружено, что породы глубокого залегания характеризуются высокой степенью уплотнения и цементации, что делает их менее склонными к разрушению. Однако из-за взаимодействия температурных, гидродинамических и напряженных полей структура породы демонстрирует сложные закономерности разрушения, что делает вынос песка из нефтяных скважин частым явлением при добыче [0].

Особенно на поздних стадиях разработки месторождений прочность цементации породы коллектора снижается, а обводненность увеличивается, что облегчает вынос пластового песка жидкостью в ствол скважины во время добычи, тем самым усугубляя вынос песка.

Вынос песка в настоящее время является одной из основных проблем при разведке и разработке нефтяных скважин.

Вынос песка отрицательно влияет на производительность нефтяных скважин. Например, он приводит к износу скважинного и устьевого оборудования, значительно сокращая срок их службы. Умеренный или сильный вынос песка может привести к закупорке скважины, скоплению песка и жидкости, а в более серьезных случаях — к длительной остановке скважины [0].

В последние годы многие отечественные и зарубежные специалисты и ученые провели масштабные исследования механизмов и закономерностей выноса песка из нефтяных и газовых пластов.

Для решения проблемы выноса песка в слабосцементированных коллекторах Казахстана была предложена прогностическая модель. Прогноз этой модели согласуется с фактическим выносом песка на местном нефтяном месторождении. Результаты показывают, что проницаемость пластической зоны является наиболее значимым контролирующим фактором в результатах прогнозирования [0], предложили метод моделирования процесса выноса песка, основанный на методе конечных элементов. С помощью моделирования процесса выноса песка в скважинах с открытым стволом и перфорированной обсадной колонной было показано, что на вынос песка в стволе скважины в основном влияют пластическая деформация и скорость потока. В то же время перепад давления, геонапряжение и направление перфорации влияют на скорость выноса песка [0]. использовали метод решеточной модели Больцмана и метод сопряжения дискретных элементов для проведения двумерного моделирования явления выноса песка в нефтяных скважинах слабосцементированных песчаных коллекторов. Результаты показывают, что количество выносимого песка в значительной степени зависит от скорости потока и всестороннего давления. При определённом расходе накопленный вынос песка уменьшается с ростом давления обжима. При любом давлении обжима превышение критической скорости потока приведёт к значительному увеличению скорости выноса песка [0].

В настоящее время исследования выноса песка в основном сосредоточены на неглубоких и средних по глубине пластах, а исследования выноса песка в глубоких и сверхглубоких газовых скважинах ограничены. В отличие от моделей для неглубоких и средних по глубине нефтяных и газовых пластов, модели разработки глубоких и сверхглубоких газовых пластов должны учитывать такие характеристики пласта, как высокая температура, высокое давление и высокие напряжения.

Основной целью данной работы является изучение основных геомеханических параметров пласта, выявление их взаимосвязи с пескопроявлением в скважинах, а также

определение влияния этих параметров на устойчивость ствола скважины. На основе вышеперечисленного предложить методы по прогнозированию пескопроявления, используя результаты наблюдения и рассчитать их эффективность.

В рамках данной работы рассматривается месторождения Каражанбас. Каражанбас — нефтяное месторождение в Тупкараганском районе Мангистауской области Казахстана, на полуострове Бузачи. Относится к Северо-Бузашинской нефтегазоносной области, трещиноватый песчаный нефтегазоносный пласт. В последние годы эксплуатационные скважины на месторождении Каражанбас демонстрировали разную степень выноса песка [0].

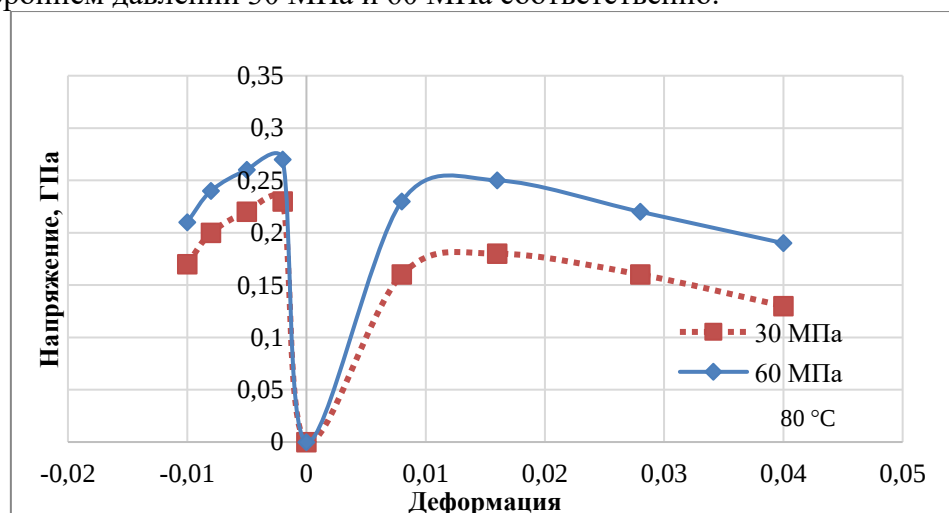
1. Экспериментальная часть

В 2020 году на 13 новых образцах керна было проведено комплексное геохимическое исследование.

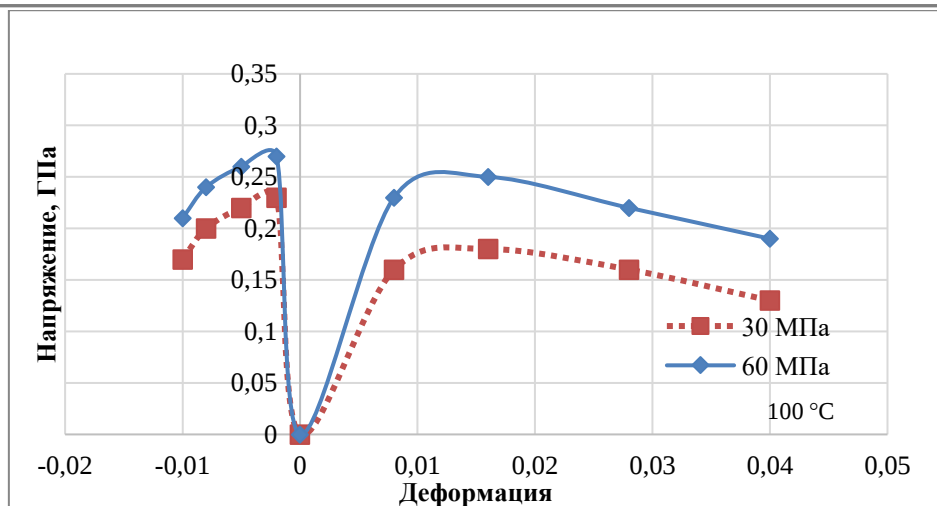
Перед экспериментом из кернов песчаника были изготовлены стандартные цилиндрические образцы диаметром 25 мм и длиной 50 мм. Экспериментальный процесс имитировал температуру и давление глубокого резервуара, а механические параметры, необходимые для численного моделирования, были получены в результате эксперимента.

Для измерения параметров механики горных пород при различных условиях разрушения горных пород, построения критерия разрушения песчаника при высокой температуре и высоком давлении, а также выявления механизма разрушения горных пород при высокой температуре и высоком давлении были проведены трехосные механические эксперименты при различных температурах и давлениях обжима. Всего было проведено 12 серий механических экспериментов при следующих условиях эксперимента: давление обжима 30 МПа и 60 МПа, температура эксперимента 80, 100, 120, 140, 160 и 180 °С.

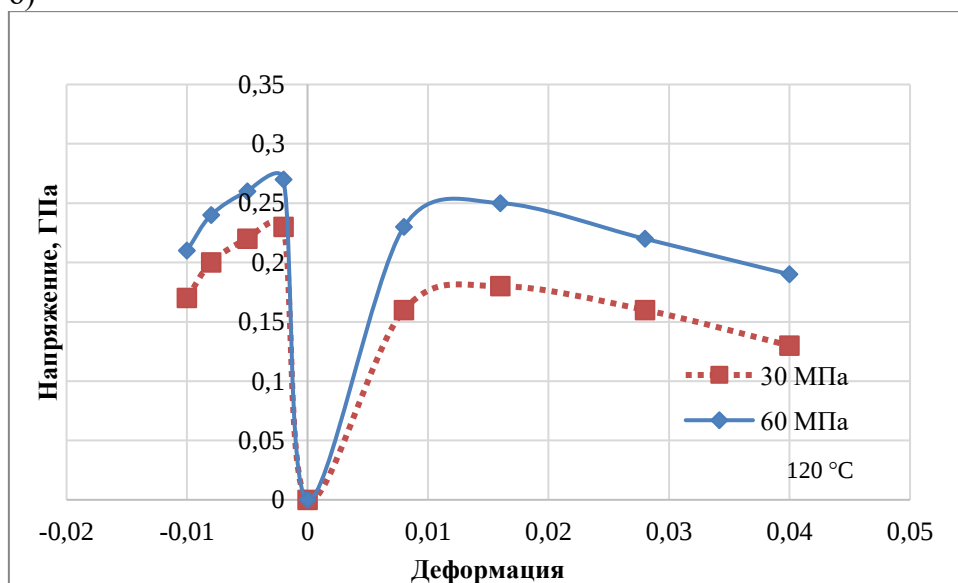
Эксперименты по трёхосному сжатию проводились с использованием образцов горных пород, извлеченных с места работ при различных температурах и условиях ограничивающего давления. Подготовленные стандартные образцы горных пород были сжаты верхним и нижним блоками давления и обернуты термоусадочной трубкой. Датчики деформации были установлены снаружи и помещены внутрь испытательного цилиндра высокого давления. Цилиндр высокого давления был заполнен маслом, и система контроля температуры была активирована для нагрева гидравлического масла внутри цилиндра. Как только температура гидравлического масла достигала требуемой температуры, была активирована система ограничивающего давления. Осевое давление подавалось на керн породы через систему управления осевым смещением до тех пор, пока керн породы не разрушался, после чего подача давления прекращалась, и эксперимент завершался. Кривые зависимости напряжения от деформации, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3. Рисунки 3(а)–3(ж) показывают кривые напряжение–деформация для керна при температурах 80–180 °С и всестороннем давлении 30 МПа и 60 МПа соответственно.



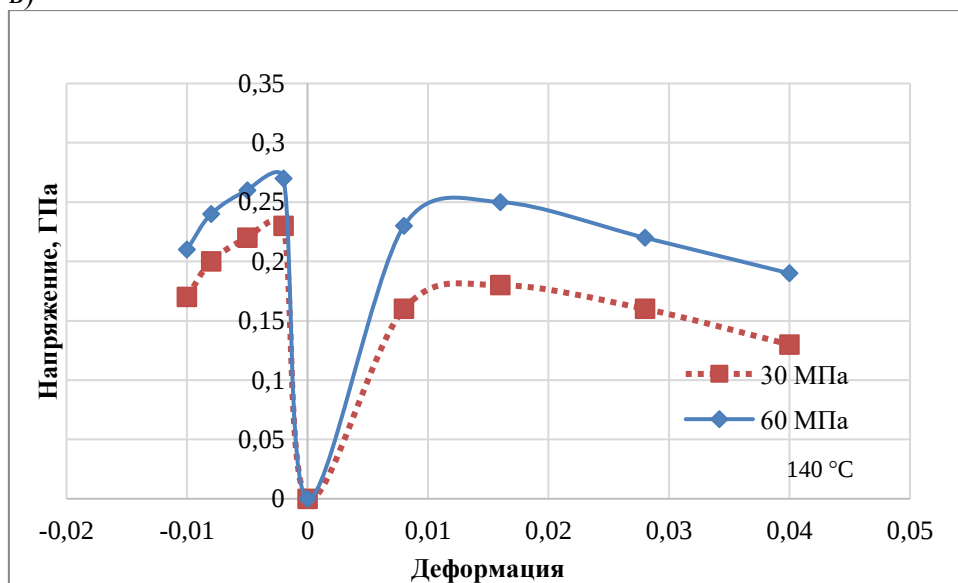
а)



б)



в)



г)

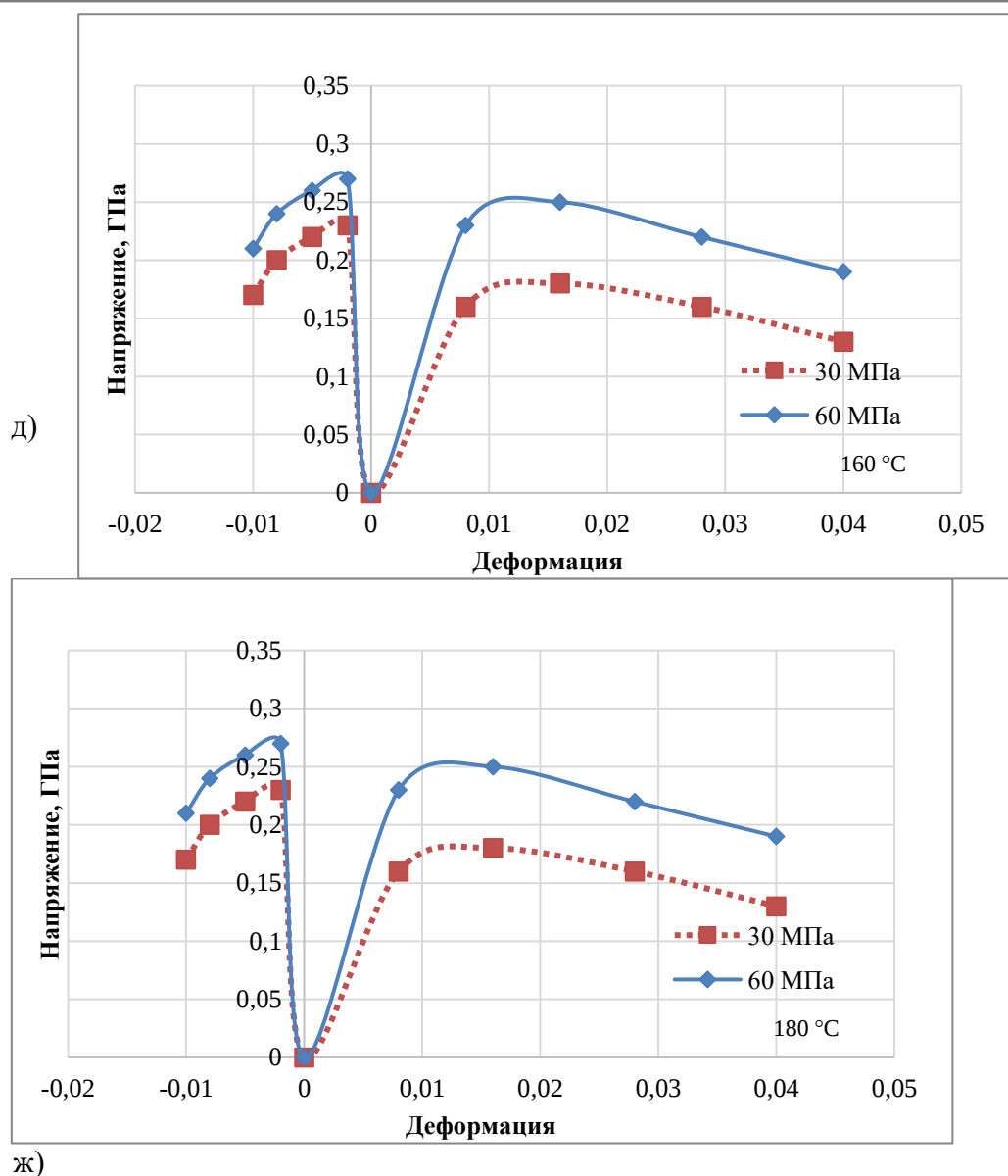


Рисунок 3. Кривая напряжения-деформации

Модуль упругости и пиковая прочность кернов горных пород, полученные в ходе трехосных экспериментов при различных условиях температуры и давления, показаны на рисунках 4(а) и 4(б). При повышении температуры от 80 °C до 180 °C и при всестороннем давлении 30 МПа модуль упругости породы уменьшается примерно на 10 ГПа, а пиковая прочность — примерно на 83 МПа; при всестороннем давлении 60 МПа модуль упругости породы уменьшается примерно на 6 ГПа, а пиковая прочность — примерно на 89 МПа. С повышением температуры модуль упругости и пиковая прочность уменьшаются, что указывает на снижение прочности горных пород.

Экспериментальные результаты показывают, что образцы подвергались сдвиговому разрушению при различных условиях температуры и давления. Круги Мора при различных температурах показаны на рисунке 5. Видно, что кулоновская огибающая Мора при высоких температурах нелинейна. Регрессия позволяет получить модель критерия разрушения горной породы в этом блоке при различных высоких температурах.

$$\tau = 498,55T^{0,54} \ln \sigma - 3873,8T^{0,835} \quad (1)$$

В уравнении (1):

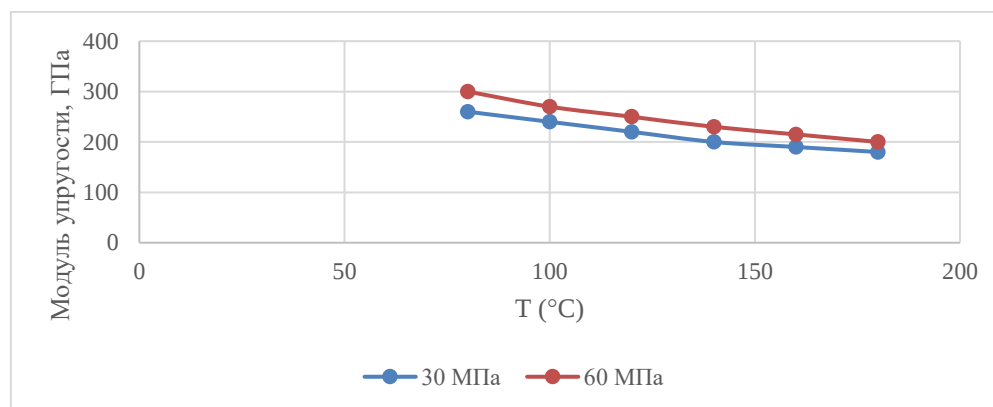
σ — нормальное напряжение, МПа

τ — касательное напряжение, МПа

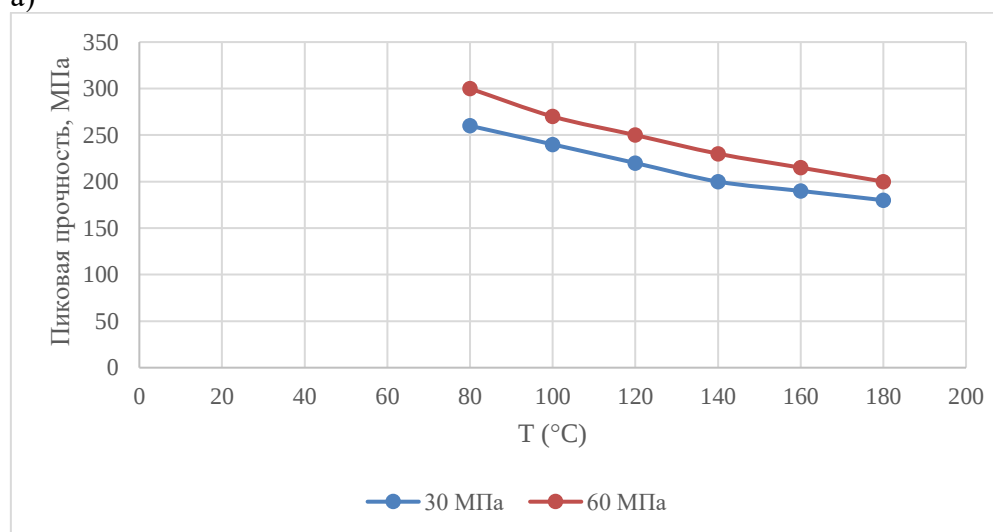
T — температура, °C

Коэффициент и угол внутреннего трения породы-коллектора при различных температурах были рассчитаны на основе критерия разрушения Мора-Кулона, а результаты показаны на рисунке 66666666. Коэффициент и угол внутреннего трения породы-коллектора постепенно увеличиваются с повышением температуры. Внутреннее трение постепенно уменьшается: при повышении температуры от 80°C до 180°C сцепление породы уменьшается с 43,40 МПа до 35,11 МПа, а угол внутреннего трения уменьшается с 24,24° до 18,02°.

Комплексный анализ показывает, что при повышении температуры от 80°C до 180°C прочность горных пород снижается, а микроструктура горных пород становится более подверженной повреждениям.



а)



б)

Рисунок 4. Результаты трехосного испытания

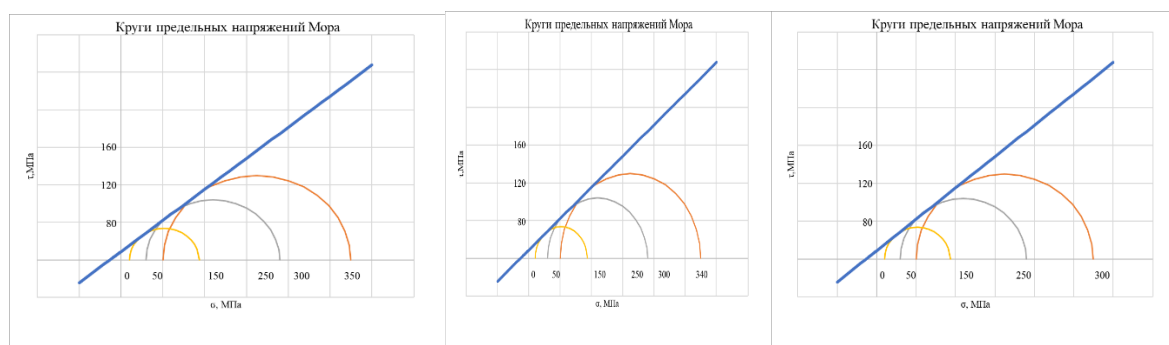
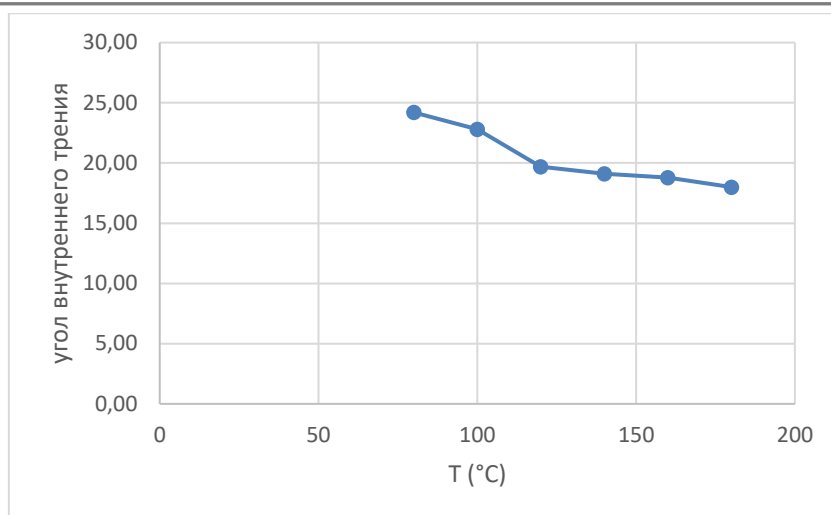
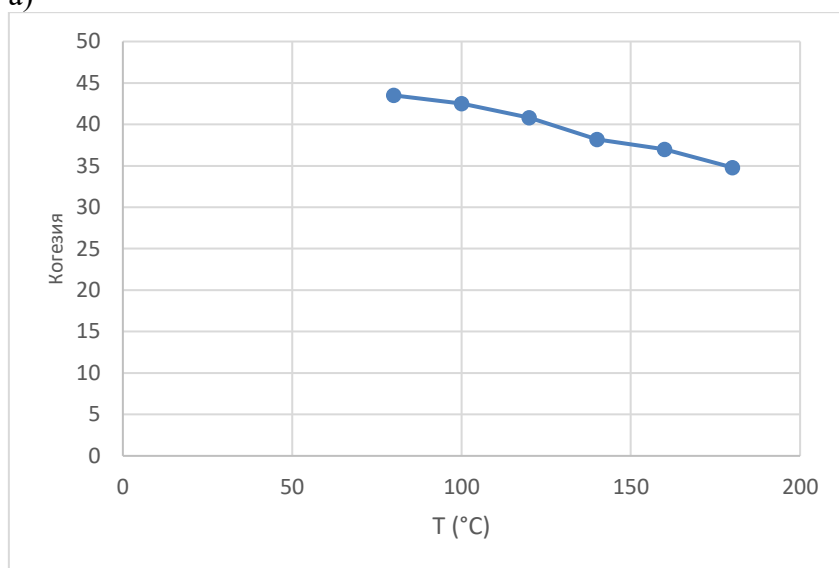


Рисунок 5. Круги предельных напряжений Мора



а)



б)

Рисунок 6. Когезия и угол внутреннего трения

2. Построение модели выноса песка при добыче

2.1. Модель термо–гидро–механического взаимодействия

2.1.1 Модель температурного поля при взаимодействии теплоносителя и твердого тела в пористых пластовых средах

Уравнение теплового баланса скелета пласта имеет вид:

$$(1-\varphi)\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \nabla \cdot [(1-\varphi)\lambda_s \nabla T_s] + Q_s \quad (2)$$

c_s — удельная теплоемкость пласта, λ_s — теплопроводность скелета пласта, φ — пористость, Q_s — скорость тепловыделения скелета пласта. На основании закона сохранения энергии уравнение управления температурным полем получается следующим образом:

$$[(1-\varphi)\rho_s c_s + \varphi\rho_w c_w] \frac{\partial T}{\partial t} = \varphi\lambda_w \nabla^2 T + (1-\varphi)\lambda_s \nabla^2 T - \rho_w c_w v \cdot \nabla T + Q_s \quad (3)$$

2.1.2. Модель фильтрационного поля в пористой среде пласта с термо-флюидно-твёрдой связью

$$\frac{1}{v} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{v} \frac{\partial v_s}{\partial t} + \frac{1}{v} \frac{\partial v_w}{\partial t} = \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} \quad (4)$$

$$\frac{1}{v} \frac{\partial v_s}{\partial t} = (1-\varphi)\alpha \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{1-\varphi}{K_s} \frac{\partial p_w}{\partial t} + \frac{1}{3K_s} \delta_{ij} \frac{\sigma'_{ij}}{\partial t} \quad (5)$$

$$\frac{1}{V} \frac{\partial V_w}{\partial T} = -\nabla q_w + \varphi \alpha_w \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\varphi}{K_w} \frac{\partial p_w}{\partial t} \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (4)–(6) дает уравнение неразрывности

$$\nabla q_w - \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} + [\varphi \alpha_w + (1 - \varphi) \alpha] \frac{\partial T}{\partial t} - \left(\frac{\varphi}{K_w} - \frac{1 - \varphi}{K_s} \right) \frac{\partial p_w}{\partial t} - \frac{1}{3K_s} \delta_{ij} \frac{\sigma'_{ij}}{\partial t} \quad (7)$$

Если не учитывать влияние теплопроводности среды, уравнение неразрывности выражается следующим образом:

$$q_w = -k \nabla (p_w + \rho_w g z) \quad (8)$$

Объединяя уравнения (7) и (8), получаем следующее выражение для уравнения фильтрации:

$$\nabla \cdot [k \nabla (p_w + \rho_w g z)] = c_1 \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} - c_2 \frac{\partial T}{\partial t} + c_3 \frac{\partial p_w}{\partial t} \quad (9)$$

$$c_1 = 1 - \frac{K'}{K_s} \quad (10)$$

$$c_2 = \varphi \alpha_w + \left(1 - \varphi - \frac{2G + 3\lambda}{K_s} \right) \alpha_s \quad (11)$$

$$c_3 = \frac{\varphi}{K_w} + \frac{1 - \varphi}{K_s} \quad (12)$$

$$K' = \frac{2G(1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)} \quad (13)$$

Проведённый теоретический анализ показал, что фильтрационные процессы в пористой среде пласта не могут рассматриваться изолированно от её термических и геомеханических свойств. Совместное решение уравнений изменения объёма флюида, деформации скелета и закона фильтрации (формулы (4)–(13)) подтверждает, что давление, температура и напряжённо-деформированное состояние породы образуют единую взаимосвязанную систему. Введение эффективного модуля сжимаемости K' и коэффициентов c_1, c_2, c_3 позволяет количественно учитывать влияние геомеханических параметров (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, компрессия породы, тепловое расширение) на динамику давления и изменение пористости [0].

Таким образом, развитие пескопроявлений в скважине следует рассматривать как следствие не только гидродинамического воздействия, но и изменения напряжений в пласте, вызванного фильтрацией, снижением давления, температурными воздействиями и деформацией порового каркаса. Теоретическая модель подтверждает, что прогноз устойчивости пород и рисков выноса песка требует учёта комплекса факторов: фильтрационных параметров, геомеханики и термовлияний. Это создаёт методологическую основу для дальнейшего моделирования критического давления разрушения, определения безопасных условий эксплуатации и выбора методов предотвращения пескопроявлений [0].

2.2. Критерии оценки выноса песка

В процессе добычи пласт вокруг скважины наиболее подвержен повреждению, что приводит к возникновению определённого диапазона пластической деформации вблизи неё. Поэтому считается, что появление пластической деформации вокруг скважины при численном моделировании указывает на риск выноса песка в данной области; и наоборот, отсутствие пластической деформации вокруг скважины указывает на отсутствие выноса песка в пласте. В системе анализа риск выноса песка определяется главным образом на основе величины и диапазона распределения пластической деформации. Степень выноса песка оценивается главным образом по величине эквивалентной пластической деформации. Согласно определяющему соотношению и результатам трёхосных испытаний, если значение эквивалентной пластической деформации превышает 1%, считается, что пласт выносит песок, а критическое значение эквивалентной пластической деформации для опасного выноса песка устанавливается на уровне 3%. Если значение эквивалентной пластической деформации меньше 1%, считается, что пласт не выносит песок. Если значение эквивалентной пластической деформации находится в диапазоне от 1% до 3%, считается, что пескопроявление контролируемо, то есть его можно контролировать с помощью

определённых методов контроля. Если значение эквивалентной пластической деформации превышает 3%, считается, что пласт подвержен опасному пескопроявлению [0].

2.4. Численная модель

Для моделирования был выбран фрагмент пласта, соответствующий четверти зоны вокруг скважины. Радиус ствола скважины принят равным 0,108 м, а границы модели — 5×5 м. В расчёт также были заложены исходные условия: температура пласта и температура в скважине, начальное поровое и забойное давление, а также значения максимального и минимального горизонтальных напряжений и давление перекрывающих пород.

С использованием метода конечных элементов была построена численная модель, позволяющая оценить вынос песка из необсаженного интервала скважины, пробурённого в глубокие песчаниковые коллекторы. Для исследования новой залежи были проведены геомеханические исследования керна, которые дали полную информацию о механических свойствах пород данной залежи (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, акустические свойства и коэффициент сжимаемости). Данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты определения скорости пробега упругих волн для расчёта динамического модуля Юнга и коэффициента Пуассона

Объёмная плотность образца $\times 10^3$, кг/м ³	Давление обжима, МПа	Скорость продольной волны V_p , м/с	Скорость поперечной волны V_{s1} , м/с	Скорость поперечной волны V_{s2} , м/с	Модуль Юнга E , ГПа	Коэффициент Пуассона ν
2,643	5	5915	3469	3450	78,4	0,240
2,643	10	5952	3510	3441	79,3	0,241
2,643	15	5999	3551	3451	80,5	0,242
2,654	5	5673	3310	3255	71,4	0,248
2,654	10	5684	3328	3239	71,5	0,250
2,654	15	5713	3328	3236	71,7	0,254

Таблица 2 – Результаты определения объёмного модуля, коэффициента сжимаемости и модуля сдвига

Объёмная плотность образца $\times 10^3$, кг/м ³	Объёмный модуль, ГПа	Коэффициент сжимаемости $\times 10^{-5}$ МПа ⁻¹	Модуль сдвига, ГПа
2,643	31,28	3,20	14,55
2,654	32,38	3,09	13,78
2,657	31,15	3,21	11,56
2,672	30,13	3,32	15,64

На основе результатов максимальной эквивалентной пластической деформации при разных перепадах давления, методом регрессии была получена зависимость между максимальной эквивалентной пластической деформацией и перепадом давления, выраженная формулой:

$$Y = 0,003 x^2 + 0,012 x + 2,9007 \quad (29) \quad (14)$$

где Y — максимальная эквивалентная пластическая деформация, %; x — перепад давления, МПа.

Согласно критерию предельной пластической деформации песчаника, используя формулу (29), можно вычислить, что для рассматриваемого интервала пласта критический перепад давления (при котором начинается интенсивное вынос песка) составляет 3,97 МПа.

3. Влияние горного давления на вынесение песка при вскрытии глубоких пластов

Поскольку глубокие газовые пласты могут испытывать значительное горное давление, изменения горного напряжённого состояния, а также динамические возмущения при разработке могут привести к неустойчивости породы в околоскважинной зоне. Это, в свою очередь, вызывает разрушение коллектора и вынос песка в процессе эксплуатации скважины. Поэтому необходимо анализировать влияние изменения горизонтальных напряжений на развитие деформации породы и вынос песка в глубоких пластах. Через расчёт горизонтальных напряжений и эквивалентного напряжения можно определить зону возможного разрушения и прогнозировать интенсивность пескопроявлений [0].

Если заданы определённые параметры, то при изменении горизонтального напряжения можно разделить область вокруг ствола на зону перераспределения напряжений и зону, в которой порода сохраняет первоначальное состояние. Чем больше перепад горизонтальных напряжений, тем ближе порода к пределу прочности, тем выше вероятность разрушения и вынесения песка.

При различных уровнях изменения напряжений можно видеть, что максимальное эквивалентное напряжение в околоскважинной зоне постепенно увеличивается. Когда горизонтальные напряжения отличаются друг от друга, порода испытывает неравномерную нагрузку, и локальные концентрации напряжений становятся источником разрушения. Таким образом, увеличение разности напряжений приводит к тому, что околоскважинная зона становится более нестабильной, особенно в условиях высоких пластовых давлений.

При разнице горизонтальных напряжений 12 МПа эквивалентное напряжение вблизи стенки скважины превышает предел текучести породы, что указывает на необходимость принятия мер по предупреждению выноса песка (например: установка фильтровой колонны, использование пескоудерживающих технологий, оптимизация депрессии на пласт).

Заключение

Механические свойства породы показывают, что с повышением температуры прочность песчаника снижается, и он легче разрушается. На вынос пластового песка при добыче наиболее сильно влияют такие факторы, как увеличение времени эксплуатации скважины, рост перепада давления (который вызывает повышение пластической деформации), высокая температура пласта, неравномерность горизонтального напряжения и низкая прочность цементации породы. Наибольшее влияние на интенсивность выноса песка оказывает неоднородность горизонтального геонапряжения, далее следуют прочность цементации породы и перепад давления, тогда как температура пласта является фактором с наименьшим воздействием.

Список литературы

1. Mohebbinia Gh., Iranmanesh H. Sand Production Prediction and Control Methods in Oil and Gas Wells: A Review // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – Vol. 196. – P. 107–114.
2. Ben Mahmud H., Irawan S., Al-Kaabi A. Sand Production Mechanisms in Horizontal Wells // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2018. – Vol. 8(3). – P. 521–532.
3. Mirzaahmadian H., Kadkhodaie A., Rezaee R. Prediction of Sand Production Onset Using Geomechanical Modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – Vol. 62. – P. 290–301.
4. Пенский Е.В., Джалимбаева Н.Х. Изучение литолого-петрографических особенностей и коллекторских свойств пород новой залежи // в сб.: Российская наука в современном мире. – М.: Актуальность.РФ, 2022. – С. 127–140. (Упомянулась в контексте коллекторов и их изменений при разработке).
5. Сулейманов Р.А., Даулетбаева А.Т. Геомеханическое моделирование и оценка риска пескопроявлений на нефтяных месторождениях Казахстана // Вестник КазНУ. – 2020. – №3. – С. 155–162. (упоминалось при обосновании рисков на Каражанбасе)
6. Рекомендованные методики по выбору способа заканчивания скважин в условиях

пескопроявления. Корпоративный научно-технический центр ОАО «НК «Роснефть». Управление новых технологий, 2011 г.

7. Alipour Tabrizy, V., Mirzaahmadian, Y. (2012). Investigation of sand production onset: A new approach based on petrophysical logs. In: SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control. SPE, Paper No. SPE-150529-MS.

8. Aadnoy, B.S., Looyeh, R., 2019. Petroleum rock mechanics: drilling operations and well design. Gulf Professional Publishing.

9. Fjaer, E., Holt, R.M., Horsrud, P., Raaen, A.M., 2008. Petroleum related rock mechanics. Elsevier.

10. Mohammed, A.K., Selman, N.S., 2020. Building 1D mechanical earth model for Zubair oilfield in Iraq. Journal of Engineering, 26(5).

11. Heffer, K. Geomechanical Influences in Water Injection Projects: An Overview / K. Heffer. – Oil & Gas Science and Technology. – 2002. – № 57 (5). – P. 415–422.

12. Б. Мырзахметов, Ж. Нуркас, А. Султабаев, Б. Калиев. Особенности эксплуатации нефтяных скважин в условиях высокого пескопроявления. Oil&Gas Journal Russia. С. 60.

А.С. Сейтмұханова, А.А. Капизоллаева

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МҰНАЙ ҰНҒЫМДАРЫНДА ҚҰМ ӨНДІРУГЕ ҚОЙМА ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты - коллектордың негізгі геомеханикалық параметрлерін зерттеу, олардың ұңғымалардағы құм өндірісімен байланысын анықтау және бұл параметрлердің ұңғыма дінінің тұрақтылығына әсерін анықтау.

Бұл зерттеулер тау жыныстарының тұтастығының бұзылуымен және көлемдік жарықшақпен байланысты құм өндірісін бастайтын негізгі механизмдерді анықтады. Коллектордың геомеханикалық параметрлері мен ұңғымалардағы құм өндірісі процестері арасындағы байланысты талдауға негізделген жаңа тәсіл ұсынылады. Құм өндірісі болжамы тау жыныстарының сипаттамаларын және олардың кен орнын игеру жағдайындағы әсерге реакциясын бағалаудың тізбекті процесін білдіретін нақты тау жыныстарының механикалық қасиеттеріне негізделген есептелді. Алынған деректер негізінде құм өндірісінің алдын алу және азайту үшін геомеханикалық зерттеулерді одан әрі кеңінен қолдану үшін қорытындылар мен ұсыныстар жасалды.

Кілт сөздер: құм өндіру, геомеханикалық параметрлер, Мор шеңберлері, серпімділік модулі, созылу беріктігі, құмтас коллекторлары, қалыпты кернеу, ығысу кернеуі, үш осьті қысу.

A.S. Seitmukhanova, A.A. Kapizollaeva

THE INFLUENCE OF RESERVOIR GEOMECHANICAL PARAMETERS ON SAND PRODUCTION IN OIL WELLS IN KAZAKHSTAN

Abstract. The main objective of this study is to study the key geomechanical parameters of the reservoir, identify their relationship with sand production in wells, and determine the impact of these parameters on wellbore stability.

These studies identified key mechanisms initiating sand production, which are associated with rock integrity disruption and volumetric fracture. A new approach based on analyzing the relationship between reservoir geomechanical parameters and sand production processes in wells is proposed. A sand production forecast was calculated based on specific rock mechanical properties, representing a sequential process for assessing rock characteristics and their response to impacts under field development conditions. Based on the obtained data, conclusions and recommendations were formulated for the further widespread use of geomechanical studies to prevent and minimize sand production.

Keywords: sand production, geomechanical parameters, Mohr circles, elastic modulus, tensile strength, sandstone reservoirs, normal stress, shear stress, triaxial compression.

Р.Т. Сулейменова, Г.Р. Қарасаева, М.Б. Мурзиев, Б.Е. Жалғас, Р.Б. Құттыбай
С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙБЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІН НЕГІЗДЕУ КЕЗІНДЕ PVT-ТАЛДАУДЫ ҚОЛДАНУ

Аннотация. Бұл мақалада қабаттардың мұнайбергіштігін арттыру әдістерін негіздеу кезінде PVT-талдауды қолдану маңыздылығы талданады. Қабаттардың мұнайбергіштігін арттыру әдістерін жоспарлау кезінде негізгі өнімділік көрсеткіштері анықталады, оның ішінде жылдық газ өндіру, қабат қысымы, жұмыс істеп тұрған өндіру ұңғымаларының саны, күшейткіш және негізгі компрессорлық станциялардың қуаты салыстырылады. Қайта біріктірілген формация сұйықтығы үлгісін генерациялау және PVT талдауын PVT 3000-L қондырғысын пайдалану арқылы жүргізу процесі қарастырылады.

Түйін сөздер: коллекторлық инженерия, PVT-талдауы, қабаттық мұнай, жұмыс қысымы, мұнай тұтқырлығы, концентрация, аналитикалық процесс.

Қабат сұйықтықтарының PVT қасиеттері туралы сенімді деректердің болуы мұнай мен газ кен орындарының қорларын бағалауда, мұнай өндіру коэффициенттерін бағалауда, ұңғымаларды сынауда, сандық коллекторлық модельдеуде және кен орындарын игеруді жоспарлауда негізделген шешімдер қабылдауда маңызды рөл атқарады. Іс жүзінде табиғи көмірсутек қоспаларының қасиеттерін негіздеу үшін далалық, зертханалық және теориялық зерттеулердің нәтижелері бір мезгілде қолданылады. Осы кезеңдердің әрқайсысында мамандар алынған деректердің сенімділігін арттыруға тырысады және оларды түсіндіру әдістерін әзірлейді. Мұнай кен орнындағы қабат сұйықтықтарының қасиеттерін анықтау әртүрлі ұңғымаларды ынталандыру әдістерін тиімді қолдану және ұңғымаларды пайдалану жабдықтарын таңдау үшін міндетті шарт болып табылады. Коллекторлық сұйықтықтың қасиеттері әртүрлі қысым-температура жағдайларымен анықталады және коллектордың ағымдағы жағдайына және коллекторлық қысымның өзгеру сипаттамаларына байланысты өзгереді. Коллекторлық сұйықтықтың қасиеттерін анықтаудың барлық белгілі әдістері екі топқа бөлінеді: эксперименттік және есептеу. Әрбір топтың артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Эксперименттік зерттеулер жүргізу күрделі және қымбат жабдықтар мен жоғары білікті мамандарды қажет етеді. Сонымен қатар, терең үлгілерді жинау күрделі операция болып табылады. Қазіргі уақытта мұнай кен орындарының сұйықтықтарының қасиеттері туралы айтарлықтай дерекқор жинақталды. Мұндай жағдайларда есептеу әдістерін пайдалану негізгі бағыт болуы мүмкін [1].

Қабаттардың мұнайбергіштігін арттыру әдістерін жоспарлау кезінде негізгі өнімділік көрсеткіштері анықталады, оның ішінде жылдық газ өндіру, қабат қысымы, жұмыс істеп тұрған өндіру ұңғымаларының саны, күшейткіш және негізгі компрессорлық станциялардың қуаты және басқалары. Кен орнын игеруді жоспарлаудың негізгі мақсаты - қабаттардың мұнайбергіштігін арттыру және кен орнын игерудің оңтайлы жүйесін табу. Әртүрлі уақытта газ және газ конденсаты кен орындарын игеруді оңтайландыру мәселесі жөнінде А.М. Кулиев, В.Г. Тагиев, С.Н. Закиров, В.И. Васильев, А.И. Гутников сияқты зерттеушілердің еңбектерінен көруге болады.

PVT-талдауы мұнай-газ өнеркәсібіндегі коллекторлық инженерия мен мұнай сұйықтықтарының динамикасында негізгі әдіс болып табылады. Бұл аналитикалық процесс қысым мен температураның өзгеруі кезінде көмірсутектердің баланысын түсінуге, коллекторлық сипаттамалар мен сұйықтық қасиеттері туралы маңызды ақпарат беруге бағытталған. PVT-талдауы фазалық модельдерді, сығылу және тұтқырлық сияқты факторларды ескере отырып, коллекторлық сұйықтық үлгілерін өлшеу және талдау үшін зертханалық тәжірибелерді қамтиды. PVT-талдауын қолдана отырып, инженерлер

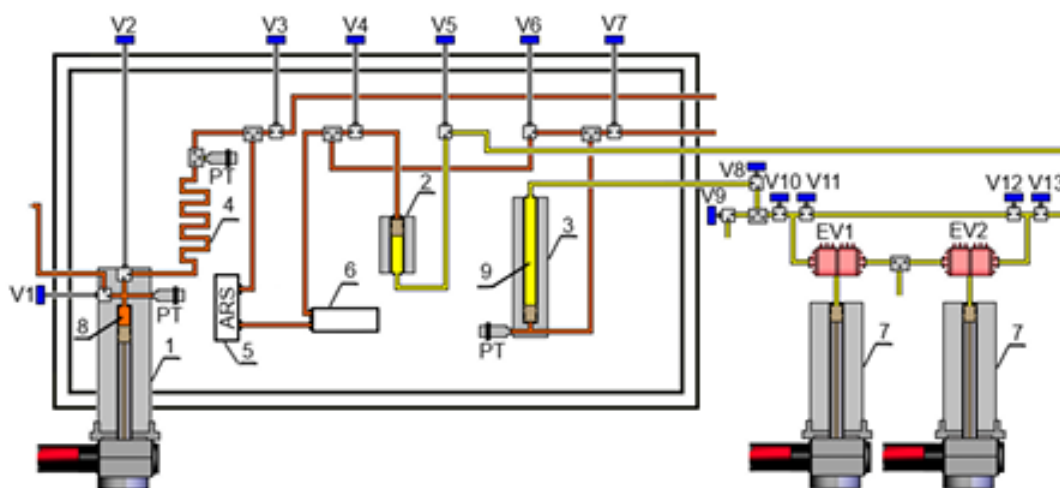
коллекторлық сұйықтықтардың физикалық қасиеттерін, соның ішінде қалпына келтірілетін көмірсутектердің көлемін, олардың фазалық ауысуларын және қысым өзгерістерінің сұйықтық құрамына әсерін анықтайды. Күй теңдеулері және эмпирикалық корреляциялар PVT-талдау деректерін түсіндіру үшін қолданылады, бұл дәл коллекторлық модельдер мен өндірістік болжамдарды жасауға көмектеседі. Коллекторлық сұйықтықтардың PVT-талдау сипаттамаларын түсіну өндірістік процестерді жобалау, ұңғымаларды аяқтау стратегияларын оңтайландыру және уақыт өте келе коллекторлық баланысты болжау үшін өте маңызды [2].

PVT-талдауы сонымен қатар мұнай өндіруді жақсарту әдістерінде маңызды рөл атқарады, инженерлерге көмірсутектерді өндіруді барынша арттыру үшін ең қолайлы әдістерді таңдауға көмектеседі. Технология дамыған сайын, PVT талдауы мұнай-газ кен орындарының өмірлік циклі бойында мұнай-газ кен орындарының сипаттамаларын дәлірек анықтауға және тиімдірек шешім қабылдауға мүмкіндік беретін басқа әдістермен, мысалы, коллекторлық модельдеу және деректерді талдаумен біріктірілуде.

Қайта біріктірілген формация сұйықтығы үлгісін генерациялау және PVT талдауы АҚШ-тың Chandler Engineering компаниясының PVT 3000-L қондырғысын пайдалану арқылы жүргізілді. Осы мақсатта СИМСП-20ВМ сынама алғыштарынан алынған мұнай үлгілері PVT қондырғысына ауыстырылып, араластырылып жатқанда, 1,77 МПа мақсатты қанығу қысымына жеткенше ұңғыма сағасындағы газбен қанықтырылды. PVT 3000-L блогы мыналарды қамтитын толық жүйе болып табылады [3]:

- поршеньді магниттік араластырғыштары бар жоғары қысымды элементтер;
- капиллярлық вискозиметр;
- сандық тығыздық өлшегіш;
- ультрадыбыстық элемент;
- сандық бейне жүйесі;
- блокты басқару бағдарламалық жасақтамасы бар дербес компьютер [4].

Жүйенің жұмыс қысымы 103,4 МПа, ал жұмыс температурасы 204°C. Орнату қондырғыларының схемасы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – PVT 3000-L Chandler Engineering блогының схемасы

V1-V13 – реттеуіш клапандар; EV1-EV2 – электрондық клапандар; 1 – сорғы элементі; 2 – қалқымалы поршеньді бар қосалқы элемент; 3 – мини элемент; 4 – капиллярлық вискозиметр; 5 – қатты фазаны тіркеуге арналған ультрадыбыстық жүйе; 6 – сандық тығыздық өлшегіш; 7 – екі цилиндрлі сандық сорғы.

Рекомбинацияланған мұнай үлгілерін жасау үшін зертхана резервуарлық мұнай үшін

бастапқы қанығу қысымын 1,77 МПа қабылдады. Рекомбинацияланған үлгіні дайындағаннан кейін, резервуарлық мұнайдың артық көлемі кейінгі талдау үшін СИМСП-20ВМ үлгілегіштеріне түсірілді. Тұтқырлық пен тығыздықты анықтау, фотоэлектрлік коэффициенттерді зерттеу және стандартты бөлу 30°C резервуар температурасында жүргізілді. Қанығу қысымындағы тұтқырлық пен тығыздық мәндері экстраполяция арқылы анықталды.

Көмірқышқыл газы мен қабаттық мұнай қоспаларының үлгілерін жасау және зерттеу ПВТ 3000-L қондырғысында да жүргізілді.

Көмірқышқыл газы мен қойма майының қоспасын дайындау үшін СИМСП-20ВМ сынамаалағышынан алынған қайта біріктірілген қойма майының үлгісі негізгі 1-ұяшыққа орналастырылды. Цилиндрден алынған газ тәрізді көмірқышқыл газы қосалқы 2-ұяшыққа салынып, қысым артқан сайын сұйылтылды. Көмірқышқыл газы мен май V6 және V2 клапандары ашылып, сорғы мен қосалқы ұяшықтар синхронды айдау режимінде жұмыс істеп, араластырылды. Қоспадағы көмірқышқыл газының концентрациясы көлемдік әдіспен бақыланды. Көмірқышқыл газының қажетті көлемін сорғы ұяшығына айдағаннан кейін, ұяшық V2 клапанымен жабылды және компоненттер ұзақ уақыт бойы магниттік араластырғыш арқылы араластырылды. Әрбір қоспаға арналған сынақтар кешеніне тұтқырлық пен тығыздықты анықтау, фотоэлектрлік коэффициенттерді зерттеу және бір реттік бөлу кірді. Сынақтар қойма температурасында және 8-ден 35 МПа-ға дейінгі қысым диапазонында жүргізілді. Қаныққан қысымдағы тұтқырлық пен тығыздық экстраполяция арқылы анықталды. Көмірқышқыл газының концентрациясы салмағы бойынша 10, 26, 42, 58 және 75% болатын қоспалардың үлгілері дайындалды. Көмірқышқыл газының концентрациясы 10%-дан жоғары болған кезде, берілген жағдайларда компоненттердің толық араласуы болған жоқ; қоспа екі сұйық фазаға бөлінді: жеңіл көмірқышқыл газы фазасы және ауыр май фазасы. Сондықтан зерттеулер қоспаның әрбір сұйық фазасы үшін бөлек жүргізілді, әр фазаның нақты көлемі анықталды.

Ауыр фазаның көлемі қоспаны сорғы станциясынан қосалқы ұяшыққа айдау арқылы анықталды. Фазалық тұтқырлықтардың үлкен айырмашылығына байланысты, ауыр май фазасы капиллярлық вискозиметр 4-ке енген кезде тұтқырлық өзгерісі тіркелді. Бұл өзгеріске сәйкес келетін ұяшық көлемі ауыр фазаның көлемі болды. Жеңіл фазаның көлемі қоспаның көлемі мен ауыр фазаның көлемінің айырмашылығынан есептелді. Фаза көлемдерін дәлірек анықтау үшін, дәл фазалық шекараға жету үшін үлгілерді араластырғаннан кейін біраз уақыт тұндыруға рұқсат етілді. PVT 3000-L қондырғысы үшін мәндер мүмкін болатын ең төменгі диапазоннан (0,3 МПа с) тыс болғандықтан, қысым сатыларындағы барлық қоспалар үшін жеңіл фазалардың тұтқырлығын өлшеу мүмкін болмады. Көмірқышқыл газының концентрациясы 26% болғанда жеңіл фазаны бір рет бөлу де өте аз көлем мен жоғары көлемдік коэффициентке байланысты мүмкін болмады.

Бастапқы мұнай қабатын зерттеу үшін қажетті үлгі көлемі PVT 3000-L қондырғысынан AWAI 1000 қондырғысына ауыстырылды. Ауыстыру AWAI 1000 қондырғысының V1 клапанына қосылған PVT 3000-L қондырғысының негізгі ұяшығының (V1 клапаны) айналма желісі арқылы жүзеге асырылды. Мұнай қабатының үлгісінде изобаралық температураның төмендеуі, изотермиялық қысымның төмендеуі және қатты денелердің тұрақтылығы зерттелді [7].

Рекомбинацияланған коллекторлық мұнай үлгісінің бастапқы үлгісінің стандартты PVT талдауының негізгі нәтижелері 1-кестеде келтірілген. Параметрлер ПВ сынағының және жеке бөлудің нәтижелері негізінде анықталды.

Кесте 1 – Қабат сұйықтығының қайта біріктірілген үлгісін зерттеудің негізгі нәтижелері

Параметрлер	Қабылданған мәні
Қанығу қысымы, Р _{нас} , МПа	1,80
Қысымға тәуелділік коэффициенті $\times 10^4$, 1/МПа	5,21
Газ мөлшері, - $\text{м}^3/\text{м}^3$ - $\text{м}^3/\text{т}$	2,41 2,52
Потенциалды газ мөлшері - $\text{м}^3/\text{м}^3$ - $\text{м}^3/\text{т}$	4,62 4,80
Қабат мұнайының көлемдік коэффициенті: – қабат қысымында – қанығу қысымы кезінде	1,003 1,010
Қабат мұнайының тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$: – қабат қысымында – қанығу қысымы кезінде	961,5 954,2
Бөлінген (сепарацияланған) мұнайдың тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$ – 20°C температурада – қабат температурасына келтірілген	962,4 953,4
Мұнай тұтқырлығы, $\text{мПа}\cdot\text{с}$: – қабат қысымында – қанығу қысымы кезінде – бөлінген мұнай тұтқырлығы (20°C)	7,95 513 1574
Бөлінген (сепарацияланған) мұнайдың тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$	961,1
Газдың есептік тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$	1,43

1-кестеде қабаттық мұнайдың физикалық қасиеттері көрсетілген: қанығу қысымы (1,80 МПа) – мұнайдан газ бөлінуі басталатын шек. Ал, тығыздық пен тұтқырлықтың айырмашылығы қабат қысымынан қанығу қысымына дейінгі өзгерістерді көрсетеді. Газ қанығуы мен көлемдік коэффициенттер мұнайдың газбен қанығу деңгейін және кеңею қабілетін сипаттайды. Сонымен бірге, тығыздық коэффициенті мұнайдың қысым әсерінен көлемінің қаншалықты өзгертетінін анықтайды [8].

Циклдік көмірқышқыл газын қабатқа енгізудің ықтимал теріс салдарын талдау жүргізілді: қысымды төмендету кезінде де, сұйықтықты дегазациялау кезінде де қатты фазаның пайда болуы; критикалық жарық фазасын қарқынды дегазациялау; дегазацияланған сұйықтықтың тұтқырлығының күрт артуы; және дегазациялау кезінде атмосфераға жеңіл мұнай фракцияларының жоғалуы. Айдалатын қоспаның оңтайлы құрамын көп жанасулы араласу концентрациясының параметріне емес, қоспалардың ісіну-жиырылу әсеріне және қабат пен дегазацияланған мұнай сұйықтығының реологиялық қасиеттеріне негіздеп таңдау ұсынылды. Сипатталған зерттеулер жиынтығы қабатқа көмірқышқыл газын енгізу кезінде АСПВ шөгінділерін зерттеу үшін жүргізілгенін атап өткен жөн. Бастапқы деректерді жинау үшін, кейіннен күрделі эксперименттік жағдайларда нәтижелерді талдау және салыстыру үшін негізге ие болу үшін, белгілі бір мағынада, модельдік жағдайларда зерттеулер жүргізу қажет. Бастапқы мұнай қабатының құрамдас бөлігін, «сұйық көмірқышқыл газы – мұнай қабаты» жүйесіндегі масса алмасудың анықталған ерекшеліктерін және шайырлардың асфальтендерді тұрақтандырудағы негізгі рөлін ескере отырып, жұмыста асфальтен тұнбасының ең «шекті» жағдайы – көмірқышқыл газы мен мұнайдың жаңа порцияларын араластырған кезде мұнайдың жеңіл компоненттерін максималды түрде алу жағдайы зерттелген деп болжауға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Золотухин А.Б., Лобанов А.А., Пустова Е.Ю. Исследования фазовых переходов асфальтенов в пластовых углеводородных флюидах // Нефтепромысловое дело. 2017. № 5. С. 39–45.
2. Лобанов А.А. и др. Влияние фазовых переходов асфальтенов на проницаемость породы-коллектора // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 8. С. 33–37.
3. Диссертация: Жанбаева А.Т. Автоматтандырылған дәнекерлеу технологияларының магистральды мұнай құбырларының конструкциялық сапасына әсері. Автореф. дис. канд. техн. наук. — Алматы, 2018. — 36 б.
4. Ahmadi Y. и др. Comprehensive Water–Alternating–Gas (WAG) injection study to evaluate the most effective method based on heavy oil recovery and asphaltene precipitation tests // J. Pet. Sci. Eng. 2015. Т. 133. С. 123–129.
5. Нестеренко А.Н. Практический опыт, проблемы и пути совершенствования методов определения и прогноза составов добываемого сырья газоконденсатных месторождений для адекватного моделирования его промысловой подготовки, транспорта и переработки / А.Н. Нестеренко, А.Г. Касперович, О.А. Омельченко, Д.А. Рычков, Е.А. Якушенко // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов, № 4 (28), 2016, С. 29 – 38.
6. Z.Wang, Research on removing reservoir core water sensitivity using the method of ultrasound-chemical agent for enhanced oil recovery / Z.Wang, J.Huang // Ultrason. Sonochem. – 2018. – 42. – p.754–758.
7. D.-R. Olaya-Escobar, “Ultrasound Applied in the Reduction of Viscosity of Heavy Crude Oil” / D.-R. Olaya-Escobar, L.-A. Quintana-Jiménez, E.E. González-Jiménez; Erika-Sofia Olaya-Escobar // Revista Facultad de Ingeniería, . – 2020. – 29 (54).
8. Комплексный подход к применению методов анализа эффективности системы заводнения нефтяных пластов / Н.И. Полякова, Ю.А. Максимова, П.Н. Зятиков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331.

Р.Т. Сулейменова, Г.Р. Қарасаева, М.Б. Мурзиев, Б.Е. Жалғас, Р.Б. Құттыбай

ПРИМЕНЕНИЕ PVT-АНАЛИЗА ПРИ ОБОСНОВАНИИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Аннотация. В данной статье рассматривается значимость применения PVT-анализа при обосновании методов повышения нефтеотдачи пластов. При планировании методов увеличения нефтеотдачи определяются основные показатели продуктивности, включая годовую добычу газа, пластовое давление, количество действующих добывающих скважин, а также сравниваются мощности бустерных и основных компрессорных станций. Рассматривается процесс генерации образца реконструированной пластовой жидкости и проведения PVT-анализа с использованием установки PVT 3000-L.

Ключевые слова: разработка месторождений, PVT-анализ, пластовая нефть, рабочее давление, вязкость нефти, концентрация, аналитический процесс.

R.T. Suleimenova, G.R. Karassayeva, M.B. Murziyev, B.E. Zhalgas, R.B. Kutybay

APPLICATION OF PVT ANALYSIS IN JUSTIFYING METHODS FOR ENHANCING OIL RECOVERY OF RESERVOIRS

RESUME. This article analyzes the significance of applying PVT analysis in justifying methods for enhancing reservoir oil recovery. When planning enhanced oil recovery methods, the main performance indicators are determined, including annual gas production, reservoir pressure, the number of active production wells, and the capacities of booster and main compressor stations are compared. The process of generating a recombined formation fluid sample and conducting PVT analysis using the PVT 3000-L apparatus is also discussed.

Keywords: reservoir engineering, PVT analysis, reservoir oil, operating pressure, oil viscosity, concentration, analytical process.

УДК 622.276
МРНТИ 41.35

Г.Ш. Досказиева, Н.Ж.Бактығалиева

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: nuraiym.baktygaliyeva@aogu.edu.kz

АНАЛИЗ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЙШОНАС

Аннотация. Гидродинамические исследования скважин (ГДИ) являются одним из основных источников информации о пласте и происходящих в нем процессах при проектировании, моделировании и контроле разработки нефтяных месторождений. В работе проведен анализ работы скважин с использованием двух методов: метода установившихся течений (индикаторные диаграммы) и метода неуставившегося режима (кривые восстановления уровня). Результаты показали линейную зависимость дебита от депрессии, стабильность гидродинамических параметров и прямую зависимость между гидропроводностью пласта и продуктивностью скважин. Полученные данные позволяют оптимизировать режимы работы скважин, оценивать устойчивость фильтрационного потока и повышать эффективность добычи, а также служат основой для внедрения новых технологий и методов управления месторождением.

Ключевые слова: гидродинамические исследования, скважины, коэффициент продуктивности, индикаторная диаграмма, кривая восстановления уровня, фильтрационные свойства, гидропроводность, стационарный поток, нестационарный поток.

Гидродинамические исследования скважин являются одним из основных источников информации о пласте и происходящих в нем процессах как при проектировании и моделировании разработки нефтяного месторождения, так и при осуществлении контроля за разработкой[1]. К гидродинамическим исследованиям принято относить весь комплекс мероприятий, направленных на измерение ряда параметров скважины (давление, температура, расход, время и др.) на установившихся и неуставившихся режимах ее работы.

Основные цели гидродинамических исследований:

определение параметров призабойной зоны скважины и пласта;

определение свойств насыщающих залежь флюидов;

определение параметров фильтрации флюидов и основных характеристик скважин, в том числе коэффициенты проницаемости и пьезопроводности; контроль запаса выработки углеводородов[2].

Для эффективной разработки нефтегазовых месторождений необходимо изучение свойств пластов. По мере длительной эксплуатации скважин их продуктивность может снижаться, что связано с изменением пластового давления, усложнением движения жидкости и ухудшением фильтрационных свойств[3].

В настоящих исследованиях Инякин и коллеги при анализе результатов гидродинамических исследований Фёдоровского месторождения использовали методы построения индикаторных диаграмм и кривых восстановления давления для определения коэффициентов продуктивности скважин [4]. Этот подход показал эффективность контроля за процессом разработки месторождения. Было отмечено высокое качество работы скважин, оборудованных термоманометрическими системами, что свидетельствует о том, что

использование горизонтальных скважин способствует повышению их продуктивности.

В настоящее время гидродинамические исследования имеют важное значение на всех этапах добычи нефти и газа. Они позволяют определить пластовое давление, коэффициент фильтрации, скин-фактор и многие другие показатели [4]. Оптимизация гидродинамических исследований скважин в карбонатных коллекторах изучалась с целью сокращения времени проведения исследований и уменьшения времени простоя скважин [5]. Были проведены эксперименты на скважинах Т-23, Т-361 и Т-388 с использованием программного обеспечения Saphir для моделирования и оценки экономической эффективности.

В ходе исследования использовались гидродинамические методы изучения скважин, включающие:

Метод установившихся течений (МУО) – основан на анализе стационарных фильтрационных процессов. При изменении дебита скважины фиксируется забойное давление до установления нового стабильного уровня. На основе этих данных строятся индикаторные диаграммы, позволяющие определить коэффициент продуктивности скважины и оценить стабильность фильтрационного потока [7].

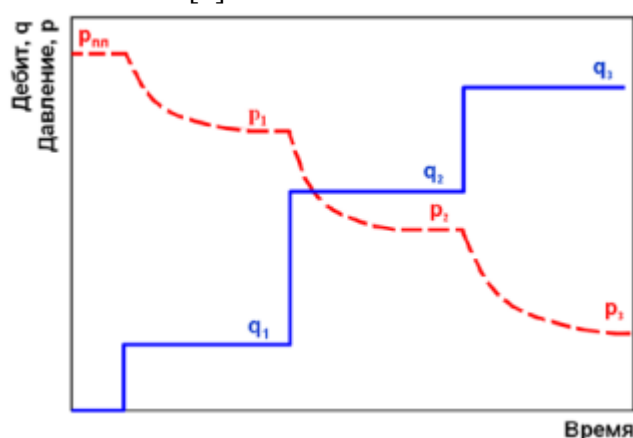


Рисунок 1. Исследование скважины методом установившегося режима

Если закон фильтрации линейный, индикаторная диаграмма представляет собой прямую линию (Рисунок 1). Коэффициент продуктивности исследуемой скважины численно равен угловому коэффициенту этой прямой. Плоско-радиальный стационарный поток описывается формулой Дюпюи [7]:

$$q = \frac{2\pi kh (p_{пл} - p_{заб})}{\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + S \right)}, \quad (1)$$

где q – дебит скважины в поверхностных условиях; k – проницаемость пласта; h – толщина пласта; μ – вязкость жидкости; $p_{пл}$ – пластовое давления (на контуре питания); $p_{заб}$ – забойное давление; R_k – радиус контура питания; r_c – радиус скважины; S – скин-фактор (параметр, характеризующий изменение фильтрационных свойств околоскважинной зоны пласта по сравнению с удаленной зоной).

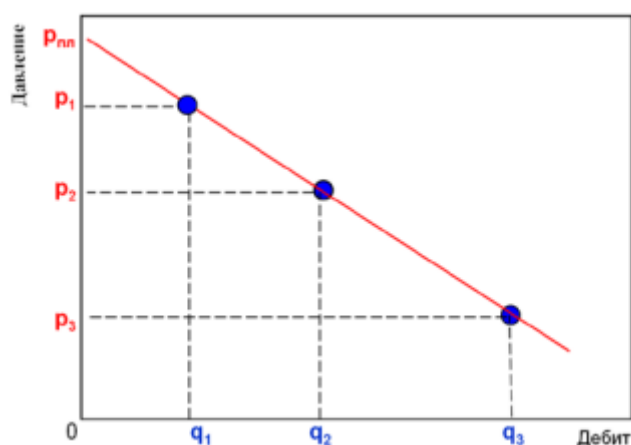


Рисунок 2. Индикаторная диаграмма.

Метод кривой восстановления уровня (КВУ) – применяется при остановке скважины и герметизации устья. Измеряются изменения уровня жидкости в стволе и давления во времени. По полученным данным рассчитываются пластовое давление, дебит добычи жидкости и коэффициент продуктивности. Метод позволяет естественным образом отслеживать восстановление пластового давления и динамику гидродинамических параметров [3, 7].

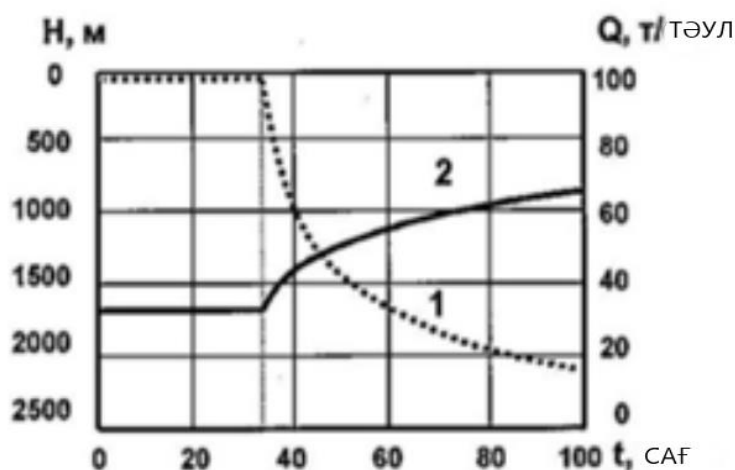


Рисунок 3. Технология кривой восстановления уровня в стволе скважины и подъем динамического уровня жидкости в скважине: 1,2 — соответственно кривые изменения дебита (Q) и давления (H) во времени

Для сбора данных использовались высокоточные приборы: МИКОН-101 для измерения уровня жидкости и давления в промывочной колонне и СУДОС-мини 2 для контроля статического и динамического уровней жидкости в скважине. Применяемый подход обеспечивает:

- точность и надежность измерений;
- возможность оценки взаимосвязи дебита и давления;
- основу для оптимизации режимов работы скважин и повышения эффективности добычи.

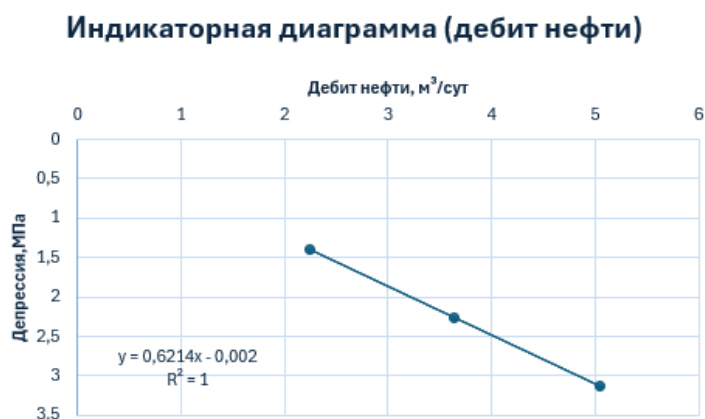


Рисунок 4. Индикаторная диаграмма дебита нефти скважины №1
 Диаграмма показывает зависимость между давлением (МПа) и дебитом нефти (м³/сут).

Уравнение линии:

$$y = 0,6214x - 0,002$$

где y — депрессия, x — дебит нефти. Коэффициент корреляции $R^2 = 1$, что свидетельствует о полной линейной зависимости всех данных. Линейность кривой указывает на стабильность гидродинамических параметров скважины и согласие с формулой Дюпюи. Наклон 0,6214 характеризует коэффициент продуктивности: чем выше, тем выше продуктивность скважины. Пересечение близко к нулю, что соответствует нулевому дебиту. Высокий (R^2) подтверждает полное соответствие данных теоретической модели.

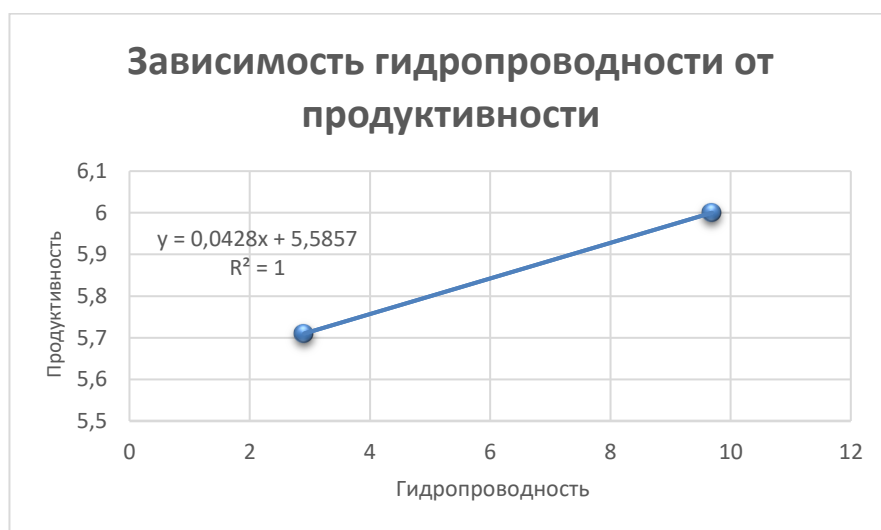


Рисунок 5. Зависимость гидропроводности от продуктивности скважины №3 и №4

На рисунке 5 показана зависимость коэффициента продуктивности скважин от гидропроводности. По горизонтали — гидропроводность (мЗ/МПа), по вертикали — коэффициент продуктивности (м³/(сут·МПа)). Тренд-линия проходит точно через обе точки. Рост гидропроводности сопровождается увеличением продуктивности скважины. Скважина №3 с более высокой гидропроводностью имеет большую продуктивность, а №4 — меньшую. Данные получены методом КВУ; $R^2 = 1,0$ указывает на идеальную линейную связь между параметрами.

В заключение, целью работы было проанализировать результаты гидродинамических

исследований на месторождении Байшонас и оценить влияние режимов работы на продуктивность скважин. Исследования проводились методами стационарного потока (индикаторные диаграммы) и нестационарного потока (кривые восстановления уровня).

Результаты показали линейную зависимость дебита от депрессии, что подтверждает стабильность гидродинамических параметров, а также зависимость гидропроводности от коэффициента продуктивности, указывающую на влияние фильтрационных свойств пласта на продуктивность. Полученные данные позволяют оптимизировать режимы работы скважин, оценивать устойчивость фильтрационного потока и повышать эффективность добычи. Исследования также создают основу для применения новых технологий и методов повышения продуктивности и эффективного управления месторождением.

Список литературы

1. Инякин В.В., Бочков Р.Г., Кузнецова Д.Р., Мунтянов Д.Д. Анализ результатов гидродинамических исследований скважин на Фёдоровском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2017. – №1.
2. Лекомцев А.В., Мартюшев Д.А. Сравнительный анализ методик определения забойного давления при проведении гидродинамических исследований скважин // Нефтяная техника. – 2014. – №3.
3. Говорков Д.А. Анализ методов исследования гидродинамических состояний скважин и пластов. – М.: Изд-во Нефть и Газ, 2008.
4. Каган К.Г. Особенности гидродинамических исследований скважин в открытом стволе на примере шельфовых месторождений. – 2022.
5. Зяблицкая Ю.А. Анализ и интерпретация гидродинамических исследований для двухфазного потока (вода-нефть) // Нефтегазовые исследования. – 2010. – №2.
6. Чуйкин Е.П., Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Анализ гидродинамических методов исследования скважин на Приобском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №4.
7. Давыдова А.Е., Щуренко А.А., Дадакин Н.М., Шуталев А.Д., Квеско Б.Б. Оптимизация проведения гидродинамических исследований скважин в условиях карбонатного коллектора // Горная промышленность. – 2018. – №3.
8. Oripova S., Adizov B., Akramov B., Umurzakov A. Анализ результатов газогидродинамических исследований скважин газоконденсатных месторождений Алан // SPE Russian Petroleum Technology Conference. – 2023.
9. Крыганов П.В., Афанаскин И.В., Вольпин С.Г., Егоров А.А. Анализ и интерпретация гидродинамических исследований скважин в рамках учебного проекта «Цифровое месторождение» // Сургутский гос. университет, НИИ Системных исследований РАН. – 2015.
10. Fedorov A.E. New Approach to Interpretation of Hydrodynamic Study of Horizontal Wells Located in Under-Gas-Cap Zones // SPE Russian Petroleum Technology Conference. – 2017.

Г.Ш. Досказиева, Н.Ж.Бактығалиева

БАЙШОНАС КЕН ОРНЫНДАҒЫ ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ТАЛДАУ

Аннотация. Ұңғымалардың гидродинамикалық зерттеулері (ГДЗ) мұнай кен орындарын жобалау, модельдеу және бақылау кезінде қабат пен онда болып жатқан процестер туралы негізгі ақпарат көздерінің бірі болып табылады. Бұл жұмыста екі әдісті қолдана отырып ұңғымалардың жұмысы талданды: стационарлы ағым әдісі (индикаторлық диаграммалар) және стационарлы емес режим әдісі (деңгейді қалпына келтіру қисықтары). Нәтижелер дебит пен депрессия арасындағы сызықтық байланысты, гидродинамикалық параметрлердің тұрақтылығын және қабаттың гидропроводтығы мен ұңғымалардың өнімділігінің тура байланысын көрсетті. Алынған деректер ұңғымалардың жұмыс режимін оңтайландыруға, фильтрациялық ағынның тұрақтылығын бағалауға және өндірістің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, сондай-ақ жаңа технологиялар мен кен орнын

басқару әдістерін енгізуге негіз болады.

Түйінді сөздер: гидродинамикалық зерттеулер, ұңғымалардың, өнімділік коэффициенті, индикаторлық диаграмма, деңгейді қалпына келтіру қисығы, фильтрациялық қасиеттер, гидропроводтық, стационарлы ағым, стационарлы емес ағым.

G.Sh. Doskazieva, N.Zh.Baktygalieva

ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC STUDIES OF THE BAISHONAS OIL FIELD

Abstract. Hydrodynamic studies of wells (HSW) are one of the main sources of information about the reservoir and the processes occurring in it during the design, modeling, and monitoring of oil fields. In this work, the operation of wells was analyzed using two methods: the steady-state flow method (indicator diagrams) and the unsteady-state method (level recovery curves). The results showed a linear relationship between flow rate and drawdown, stability of hydrodynamic parameters, and a direct correlation between reservoir transmissibility and well productivity. The obtained data allow optimizing well operating modes, evaluating the stability of the filtration flow, and improving production efficiency, as well as providing a basis for the implementation of new technologies and reservoir management methods.

Keywords: hydrodynamic studies, wells, productivity coefficient, indicator diagram, level recovery curve, filtration properties, transmissibility, steady-state flow, unsteady-state flow.

МРНТИ 52.47.27

Р.Т. Сулейменова, А. Нұрболатқызы, М.Б. Мурзиев, С.Наурызбай

С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

E-mail: nurbolatkyzy.a2000@mail.ru

МҰНАЙДЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ӘДІСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ТАҢДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУДАҒЫ PVT ЗЕРТТЕУЛЕРІНІҢ РӨЛІ

Андатпа. PVT зерттеулері (қысым–көлем–температура) мұнай өндіруді жақсарту (EOR) әдістерінің тиімділігін таңдау мен бағалауда негізгі рөл атқарады. Бұл зерттеулер қанықтылық қысымы (P_b), мұнай тұтқырлығы (μ_o) және көлемдік коэффициент (B_o) сияқты негізгі термодинамикалық параметрлерді анықтайды. Алынған мәліметтер газды (ММР анықтау), жылу және химиялық EOR әдістерін нақты резервуар жағдайларына оңтайлы бейімдеу үшін қолданылады. Заманауи PVT зерттеулері цифрлық технологиялармен, соның ішінде жасанды интеллектпен және Мемлекеттік теңдеулермен (EOS) біріктіріліп, деректердің сенімділігін арттырады. PVT-ға негізделген EOR әдістері дәстүрлі су айдаумен салыстырғанда мұнай өндіруді **10–35%-ға** арттыра алады, бұл оның экономикалық және экологиялық маңыздылығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: PVT зерттеулері, мұнай өндіруді жақсарту (EOR), қанықтылық қысымы (P_b), минималды араласу қысымы (ММР), фазалық тепе-теңдік, цифрлық технологиялар, мұнай тұтқырлығы (μ_o).

Қазіргі уақытта мұнай-газ саласы әлемдік экономикадағы жетекші салалардың бірі болып қала береді. Алайда, мұнай қорының сарқылуы, кен орындарының тозуы және қоршаған ортаға түсетін қысым өндіріс тиімділігін арттырудың жаңа тәсілдерін іздеуді талап етеді. Осыған байланысты мұнай өндіруді жақсарту (EOR) әдістері маңызды болып табылады. Бұл тұрғыда EOR техникаларын тиімді таңдау және оларды нақты резервуардың нақты жағдайларына бейімдеу өте маңызды. Бұл тапсырманы орындау кезінде PVT зерттеулері (қысым–көлем–температура) негізгі ғылыми және практикалық құрал ретінде қолданылады. Бұл мәліметтер мұнай резервуарының мінез-құлқын болжауға, өндірістік стратегияны

таңдауға және EOR әдістерінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Демек, PVT зерттеуі – заманауи мұнай инженериясының негізін құрайтын негізгі ғылыми бағыттардың бірі болып табылады..

PVT зерттеулерінің мәні мен негізгі көрсеткіштері.

PVT зерттеулері – бұл резервуар сұйықтықтары мен газдардың термодинамикалық қасиеттерін зерттеуге арналған тәжірибелік және есептеу әдістерінің жиынтығы. Бұл зерттеулер коллектор жағдайларын (жоғары қысым мен температураны) мүмкіндігінше дәл келтіру үшін ұңғымалардан алынған терең үлгілерде жүзеге асырылады.

PVT талдауымен анықталатын негізгі параметрлер:

- Қанықтылық қысымы (P_b): газ мұнайдан бөлініп шыға бастайтын қысым. Бұл параметр кен орнын игеру процесін бақылау және мерзімінен бұрын газ шығаруды болдырмау үшін өте маңызды.

- Майдың көлемдік коэффициенті (B_o): стандартты (беттік) жағдайдағы мұнай көлемінің сол мұнайдың резервуар жағдайындағы көлеміне қатынасы.

- Мұнай тұтқырлығы (μ_o): резервуардағы мұнайдың қозғалғыштығын анықтайтын негізгі параметрлердің бірі.

- Газ коэффициенті (R_s): стандартты жағдайдағы мұнайдың бір бірлігіндегі еріген газ көлемі.

- Резервуар сұйықтығының тығыздығы: гидродинамикалық қысымдарды есептеу үшін маңызды параметр.

Бұл көрсеткіштер даму стратегиясының ғылыми негізін құрайтын резервуарлық және гидродинамикалық модельдерді құру үшін бастапқы дерек ретінде қолданылады.

Мұнай резервуарын талдау параметрлері



Жаңалықтар Зерттеулер - заманауи мұнай инженериясының негізі. Олар кешенді және қымбат майды өндіруді таңдау және оңтайландыру үшін қажетті ғылыми негіз ұсынады (EOR). PVT-ны талдау арқылы алынған сұйықтықтардың фазалық әрекеті туралы нақты білім, инженерлерде жылу әдістері үшін MMP сияқты негізгі параметрлерді дұрыс есептеуге мүмкіндік береді. Сандық технологиялар мен интеллектуалды PVT талдауға қосу деректер

сенімділігін арттырады және шешім қабылдауды тездетеді және бұл шешімдер қабылдауды тездетеді, бұл мұнай-газ саласының тұрақты және тиімді болашағын қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылады.

PVT зертханалық тәжірибелері.

Сұйықтықтардың фазалық әрекеті және стандартталған зертханалық тәжірибелер туралы сенімді мәліметтер алу үшін әдеттегі PVT зертханалық эксперименттері жүргізіледі. Олардың қатарына келесілер жатады:

- Тұрақты құрамды кеңейту (Constant Composition Expansion — CCE):
Мақсаты – көпіршіктену қысымын (Pb) және сұйықтықтың қысым төмендеген кездегі фазалық тәртібін анықтау. Процесс: үлгі тұрақты құрамда сақталады, қысым біртіндеп төмендетіледі. Алғашқы газ көпіршіктерінің пайда болуын, олардың көлемін және фазалық өзгерістер нүктесін бақылайды.

- Дифференциалды босату (Differential Liberation — DL):

Мақсаты – босатылған газ жүйеден шығарылған кезде резервуар қысымының төмендеуін модельдеу, яғни мұнай мен газ тепе-теңдікте болмайтын жағдайды зерттеу. Процесс: қысым бірізді төмендетіледі (Pb-ден төмен). Әрбір кезеңде шығарылған газдың көлемі мен құрамы өлшенеді. Бұл тест Bo және Rs параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

- Бөлгіштік тест (Separator Test):

Әртүрлі қысым және температурадағы бөлгіш сатыларында сұйықтықты бөлу процесін модельдейді. Нәтижелер жерүсті жабдықтарының оңтайлы жұмыс режимін анықтау, сондай-ақ ұңғыманың жалпы көлемдік коэффициентін (Bt) және жалпы газ коэффициентін есептеу үшін пайдаланылады.

- Газ әдістері EOR (CO₂, азот, табиғи газ).

Газды айдау – EOR-дың ең перспективалы әдістерінің бірі. Бұл жағдайда PVT зерттеулері маңызды рөл атқарады. Маңызды параметр – минималды араласу қысымы (Minimum Miscibility Pressure — MMP).

MMP – бұл айдалған газ бен мұнайдың бір фазаға айналатын ең төменгі қысымы. Бұл режимде беткі керілу нөлге тең болады және мұнай толық ығысады.

PVT зертханалық тәжірибесі ретінде Slim-Tube Test қолданылады: мұнайдың ығысуын тар түтік арқылы модельдеу арқылы MMP мәнін эксперименттік анықтайды. Фазалық диаграммалар (P–T–X) май–газ жүйесіндегі шарттардың араласу аймақтарын көрсету үшін пайдаланылады.

Практикалық маңызы:

MMP айдау қысымын анықтайды. Егер резервуар қысымы MMP-дан төмен болса, әдіс тиімділігі төмендейді.

PVT деректері газ түрін (мысалы, CO₂ — төменгі MMP) және айдау қысымын оңтайлы таңдауға мүмкіндік береді.

Жылу әдістері EOR (бу гравитациялық дренажы, ыстық су). Бұл әдістер негізінен ауыр және жоғары тұтқыр мұнайлар үшін қолданылады. Негізгі PVT параметрі – мұнай тұтқырлығының температураға тәуелділігі.

PVT зерттеулерінде температураны өлшеу, жылу сыйымдылығы мен жылу өткізгіштікті бағалау жүргізіледі. Бұл мәліметтер түзілудегі жылудың таралуын есептеуде маңызды. Практикалық маңызы: температураның жоғарылауы тұтқырлықты жүздеген және мыңдаған есе төмендетеді, бұл жылу әдістерінің тиімділігін арттырады.

Химиялық әдістер EOR (полимер, сілті, ASP су айдау). Химиялық әдістер беттік керілуді азайту және судың қозғалғыштығын реттеуге бағытталған. Негізгі PVT параметрлері: беттік керілу (Interfacial Tension — IFT) және полимер ерітіндісінің тұтқырлығы. Тиімді орын ауыстыру үшін IFT мүмкіндігінше азайтылуы қажет. Реологиялық сынақтар әртүрлі температура мен жылжу жылдамдығында полимер ерітінділерінің тұтқырлығын бағалайды. Практикалық маңызы: химиялық PVT зерттеулері реагенттердің оңтайлы концентрациясын және олардың түзілу температурасындағы тұрақтылығын анықтайды. Бұл реагенттердің жойылуы мен адсорбциясын болдырмауға

мүмкіндік береді.

PVT зерттеулерінің эволюциясы және болашақ тенденциялар. Қазіргі мұнай-газ саласы цифрлық технологияларға негізделіп, PVT талдауына айтарлықтай әсер етуде.

Автоматтандыру және нақты уақыттағы талдау:

Қазіргі PVT қондырғылары (Visconssets және фазалық ұяшықтар) сенсорлар мен автоматика жүйелерімен жабдықталған. Бұл тәжірибелерді жеделдетуге, адам факторынан туындайтын қателіктерді азайтуға және нақты уақыттағы талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Мемлекеттік теңдеулер (EOS) және жасанды интеллект:

PVT деректері Peng–Robinson секілді теңдеулерді нақты резервуар сұйықтықтарына бейімдеу үшін пайдаланылады. Дұрыс бейімделген EOS моделі – композициялық симуляцияның негізі болып табылады және қосымша зертханалық сынақсыз-ақ резервуар мінез-құлқын дәл болжауға мүмкіндік береді.

Машиналық оқыту (ML) және жасанды интеллект (AI):

PVT қасиеттерін жылдам болжау, мысалы Pb немесе тұтқырлық мәндерін тек компоненттік құрам немесе далалық деректер негізінде есептеу үшін қолданылады. AI зертханалық тәжірибелердің ең тиімді жиынтығын таңдауға көмектеседі.

Экологиялық және экономикалық маңызы.

PVT зерттеулері техникалық маңыздан бөлек, экологиялық және экономикалық тұрғыдан да маңызды. Олар CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) технологиясын дамытуға егіз болады, бұл парниктік газдар шығарындыларын азайтуға мүмкіндік береді. Экономикалық тұрғыдан PVT деректері EOR әдістерін оңтайлы таңдауға, мысалы, полимер мөлшерін немесе CO₂ концентрациясын есептеуге көмектеседі, нәтижесінде шығын мен тәуекел азаяды. Практикалық нәтижелер көрсеткендей, PVT зерттеулеріне негізделген EOR әдістері дәстүрлі су айдаумен салыстырғанда мұнай өндіруді 10–35%-ға арттыра алады.

PVT зерттеулері – заманауи мұнай инженериясының ғылыми өзегі. Олар мұнай өндіру процесін тиімді жобалау мен оңтайландыруға мүмкіндік береді. PVT талдауы арқылы алынған нақты фазалық деректер инженерлерге жылу, газ және химиялық EOR әдістерін дұрыс таңдауға жағдай жасайды. Цифрлық технологиялар мен жасанды интеллектіні біріктіру PVT зерттеулерінің сенімділігін арттырып, шешім қабылдау жылдамдығын өсіреді. Бұл мұнай-газ саласының тұрақты әрі тиімді дамуы үшін маңызды қадам болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Яшков В.А., Юсупов Қ.А. Түгінді газдарды мұнай өндіруді ұлғайту үшін айдауды зерттеу және қолдану тәжірибесі. – 2024.
2. Дьячков В.А., Абаев А. Қабатты флюидтердің PVT-талдауы және оның EOR әдістерін оңтайландырудағы рөлі. – Томск: ТПУ (Tomsk: TPU), 2023.
3. Ибраев Б.Б. Мұнай-газ жүйелеріндегі фазалық тепе-теңдіктер. – Алматы: ҚазҰТЗУ (Алматы: ҚазҰТЗУ), 2022.
4. Ахметов С.М. Мұнай мен газдың физикасы мен химиясы. – Алматы: Энергия (Алматы: Энергия), 2021.
5. Al-Adasani A., Bai B. Analysis of EOR Projects and Updated Screening Criteria // SPE Reservoir Evaluation (SPE Қабатты бағалау). – 2010.

Р.Т. Сулейменова, А. Нұрболатқызы, М.Б. Мурзиев, С.Наурызбай

РОЛЬ PVT-ИССЛЕДОВАНИЙ В ВЫБОРЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Аннотация. PVT-исследования (давление–объем–температура) играют ключевую роль в выборе и оценке эффективности методов повышения нефтеотдачи (EOR). Эти исследования

определяют основные термодинамические параметры пластовых флюидов, такие как давление насыщения (P_b), вязкость нефти (μ_o) и объемный коэффициент (B_o). Полученные данные используются для оптимальной адаптации газовых (определение MMP), тепловых и химических методов EOR к конкретным условиям резервуара. Современные PVT-исследования интегрируются с цифровыми технологиями, включая искусственный интеллект и уравнения состояния (EOS), что повышает надежность данных и скорость принятия решений. Методы EOR, основанные на PVT-анализе, способны увеличить добычу нефти на 10–35% по сравнению с традиционным заводнением, подчеркивая их экономическую и экологическую значимость.

Ключевые слова: PVT-исследования, повышение нефтеотдачи (EOR), давление насыщения (P_b), минимальное давление смещиваемости (MMP), фазовое равновесие, цифровые технологии, вязкость нефти (μ_o).

R.T. Suleimenova, A. Nurbolatkyzy, M.B. Murziev, S. Nauryzbay

THE ROLE OF PVT STUDIES IN THE SELECTION AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS FOR INCREASING OIL RECOVERY

Annotation. PVT (Pressure–Volume–Temperature) studies play a core role in selecting and evaluating the effectiveness of Enhanced Oil Recovery (EOR) methods. These investigations determine key thermodynamic parameters of reservoir fluids, such as saturation pressure (P_b), oil viscosity (μ_o), and volume factor (B_o). The resulting data are critical for optimally adapting gas (by determining MMP), thermal, and chemical EOR techniques to specific reservoir conditions. Modern PVT analysis is being integrated with digital technologies, including Artificial Intelligence and Equations of State (EOS), to increase data reliability and accelerate decision-making. EOR methods based on PVT studies can increase oil recovery by 10–35% compared to traditional waterflooding, underscoring their economic and environmental importance.

Key words. PVT Studies, enhanced Oil Recovery (EOR), saturation Pressure (P_b), minimum Miscibility Pressure (MMP), phase Behavior, digital Technologies, Oil Viscosity (μ_o).

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕХИМИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 678.073
МРНТИ 61.63.09

Г.К. Шамбилова¹, Р.М. Искаков^{1,3*}, А.Б. Курмангалиева¹, Г.И. Макаров²,
А.С. Калауова⁴, Ж.К. Кадашева⁴

¹ Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, химический факультет, 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1.

³Казахский национальный исследовательский технический университет им К.Сатпаева, 050013, г. Алматы, Сатпаева, 13

⁴Атырауский университет имени Х.Досмухамедова, пр. Студенческий, 1, г. Атырау
e-mail: r.iskakov@aogu.edu.kz

МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Аннотация. Благодаря своим свойствам полипропилен (ПП) вызывает растущий интерес, направленный на получение высокомаржинальных продуктов. Среди таких продуктов можно выделить волокна и мембраны. Устойчивость ПП к влаге и нерастворимость в нефтепродуктах позволяют рассматривать полимер в качестве основы для создания мембран для очистки многофазных систем, где одной из фаз служит вода, а другие фазы могут быть представлены нефтесодержащими продуктами, неорганическими примесями и др. Гидрофобная природа ПП способствует сохранению транспортных свойств мембраны во времени и исключает вероятность засорения ее пор. Производительность мембран сохраняется в течение тысяч часов, что гарантирует стабильную и надежную эксплуатацию. Система пор мембраны обеспечивает прохождение только одной фазы разделяемой эмульсии в жидком или газообразном состояниях. На основе полимера предлагается получать мембраны для мембранной дистилляции и микрофльтрации. Стойкость ПП к высоким температурам эксплуатации позволяет стерилизовать мембраны при температурном воздействии. Основной проблемой в создании мембран с требуемыми транспортными и селективными свойствами остается контролирование структуры. Правильный выбор метода формирования мембраны является одним из ключевых параметров в получении мембраны с требуемыми свойствами. Представленная работа рассматривает последние достижения в области получения ПП мембран и перспективы развития использования таких мембран в процессах добычи и переработки нефти.

Ключевые слова: полипропилен, мембраны, микрофльтрация, структура, морфология, нефтестойкость.

Введение

В ранних наших работах отмечалось, что полипропилен (ПП) занимает место между массовым использованием и инженерным применением, что связано с его структурой и механическими свойствами [1]. Помимо прочностных характеристик для ПП выделяют также гидрофобность, низкую плотность, долговечность, биологическую инертность и др. [2]. Благодаря хорошей формуемости ПП возможно перерабатывать различными способами, в том числе экструзией, литьём под давлением, волокнообразованием. Поскольку при формировании свойства полимера изменяются незначительно, то такие ключевые показатели, как нефте- и маслостойкость сохраняются. Именно эти свойства полимера являются важными для мембран, используемых при добыче нефти и ее переработке.

Известно, что ПП возможно перерабатывать в различные типы мембран. К ним относятся плоские пленки-мембраны, нетканые материалы, сформованные с помощью электроформования, полые волокна, композиционные мембраны и др. [3-5]. Среди различного рода промышленных мембран, классифицируемых по размеру пор, а именно для традиционной фильтрации (10–100 мкм), микрофильтрации (0,1–10 мкм), ультрафильтрации (1–100 нм) и обратного осмоса (~0,1 нм), ПП мембраны нашли свое применение в микрофильтрации. Часто такие мембраны применяют для очистки многокомпонентных систем, например, нефтесодержащих сточных вод [6]. Другими важными, но выходящим за рамки данной работы применениями ПП мембран, являются газоразделительные мембраны, сепараторы для литий-ионных батарей и мембраны для медицинского применения [7].

Поскольку при добыче нефти и ее переработке системы представляют собой эмульсии с водой, возникает задача по отделению нефти и очистке сточных вод. В зависимости от типа системы способы разделения эмульсии могут варьироваться. Например, если в системе преобладают тяжелые и высоковязкие нефти, то образованная эмульсия будет чрезвычайно стабильна [8]. Стабильность таких эмульсий обеспечивается составляющими ее компонентами - асфальтенами, смолами, которые выполняют функцию природных поверхностно-активных веществ. Многокомпонентные эмульсии можно встретить, например, в местах накопления нефтешламов. Для разделения таких эмульсий требуются специальные методы.

В случае загрязненных нефтью сточных вод, когда углеводороды являются дисперсной фазой, необходимо полностью разделить эмульсию перед сбросом воды в открытые источники. Требования к разделению таких эмульсий постоянно ужесточаются. К настоящему моменту допустимая концентрация нефтепродуктов в сбрасываемой воде не превышает несколько миллиграммов на литр. В некоторых зонах данные требования еще жестче и требуют полной очистки стоков.

Для разделения устойчивых эмульсий традиционные методы (гравитационные или центрифугирование) малоэффективны и не позволяют очистить воду от дисперсной фазы с размером до 20 мкм. Использование химических реагентов для деэмульсации требует больших затрат и приводит к загрязнению воды этими реагентами. Основные компоненты эмульсии в процессе нефтепереработки могут дополняться фенолами, токсичными веществами и растворителями. Отсюда, мембранные методы разделения эмульсии становятся более перспективными по сравнению с рядом других решений, для которых требуются большие капитальные затраты, большие площади, специальные реагенты и др. [9].

Вкратце мембранная технология представляет собой разделение газовой или жидкой смеси при помощи полупроницаемого барьера (мембраны). Качество мембраны определяется проницаемостью и селективностью, а движущей силой процесса выступает перепад давления через мембрану.

Основными способами получения полипропиленовых мембран являются метод термически индуцированного фазового разделения (TIPS) и растяжение расплава [10-14]. Каждый из методов позволяет получать определенную структуру и характеристики мембраны, что определяет области ее дальнейшего использования для разделения.

При термоиндуцированном фазовом разделении структура определяется контролируемым осаждением фаз, обогащенных и обедненных полимером с последующим удалением растворителя. Морфология полученной мембраны изотропна, наблюдаемая картина представляет собой губку или вакуоли (пальцевидные образования). Средний размер пор изменяется от 0.1 до 10 мкм. Значения пористости мембраны достигают 90%.

Метод механического растяжения включает две основные стадии: экструзию и растяжение. Пористая структура образуется при одно- или двухосном растяжении в областях с менее упорядоченной (аморфной) структурой. В результате механического деформирования образуются поры (щели) с диаметром до 5 мкм. Интересно, что пористость таких мембран существенно ниже по сравнению с образцами, получаемыми TIPS методом и достигает 60%. Механическое деформирование ПП прекурсоров не сильно снижает механическую прочность

мембран, это позволяет использовать их при критических условиях воздействия.

Таким образом, выбор способа формирования мембраны предопределяет образуемую в них структуру и механические свойства. Для TIPS мембран характерна высокая пористость, а после контролируемого растяжения ПП пленок получают прочные мембраны.

Поскольку молекулы ПП не содержат полярных групп, описанные методы имеют ограничения. В результате поры мембран могут забиваться, а их проницаемость снижается [15]. Не углубляясь в способы модификации ПП мембран, отметим, что они хорошо описаны в работе [16]. Модификация ПП мембран приводит к изменению их структуры, морфологии, гидрофильности и др. Несмотря на природную гидрофобность ПП, важно отметить, что именно она остается критическим параметром для разделения нефтяных эмульсий.

Механические свойства ПП мембран определяются свойствами самого полимера и предисторией получения мембраны. Высокая прочность ПП мембран позволяет использовать их при повышенных давлениях, а повышенная износостойкость позволяет разделять эмульсии, содержащие механические примеси. Поскольку для снижения вязкости нефти ее нагревают, то используемые мембраны должны сохранять свои свойства с изменением температуры. Для ПП мембран рабочий температурный диапазон совпадает с условиями транспортировки нефти и разделения ее эмульсий. Еще одним преимуществом использования ПП мембран для разделения эмульсий является их химическая инертность, которая позволяет работать со сложными эмульсиями.

Большинство мембран можно классифицировать по структуре на два основных типа. К первому типу относятся мембраны, разделяющие жидкую фазу по принципу сита, второй тип мембран с плотной морфологией, работающий по принципу растворения компонентов и диффузии их через мембрану. Для разделения нефтяных эмульсий используют пористые мембраны, классификацию которых по конструкции рассмотрим далее.

На рисунке 1 представлены основные формы исполнения мембран.

Полипропиленовые мембраны

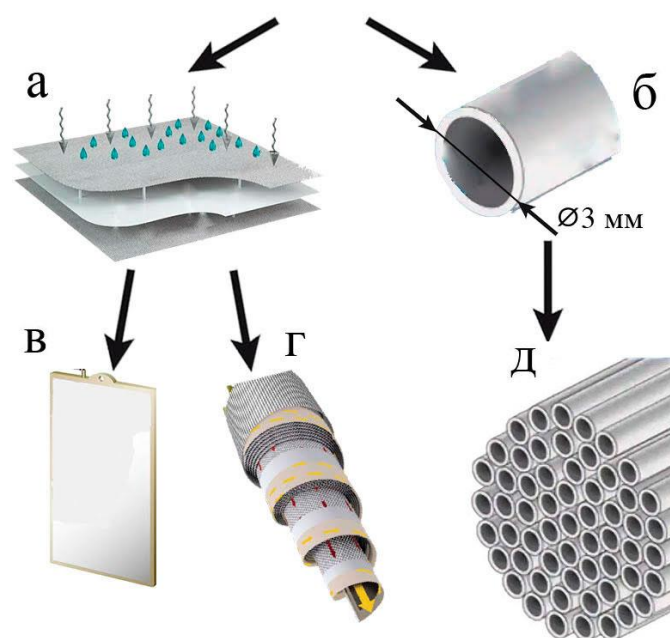


Рисунок 1. Основные виды мембран.

Плоские мембраны (рис. 1а) предназначены для использования в рамных (рис. 1в) или спиральных модулях (рис. 1г). Половолоконные мембраны состоят из комплекса параллельно уложенных полых волокон с внешним диаметром до 3мм (рис.1б, д). Большая площадь поверхности полволоконных мембран обеспечивает их высокую производительность.

Механизм разделения нефтяной эмульсии ПП мембранами заключается в

использовании гидрофобного полимера, который пропускает пар и задерживает жидкость. Механизм основывается на избирательной смачиваемости поверхности мембраны составляющими эмульсию фазами. Смачиваемость ПП мембран углеводородами и отталкивание молекул воды приводит к тому, что нефтяная фаза проникает через поры мембраны, а вода остается над поверхностью разделительного слоя мембраны. Капиллярные силы в описанном процессе играют ключевую роль. Для нефтяной фазы значения капиллярного давления положительные, что способствует миграции фазы через мембрану.

Для увеличения скорости разделения эмульсий к системе, пропускаемой через мембрану, прикладывают давление. Для ПП мембран в зависимости от их структуры и предыстории кондиционирования пороговое давление (давление, при достижении которого через мембрану начинает проникать несмачивающая фаза) может достигать 2420 кПа [17]. При попадании воды в пермеат качество разделения снижается. Для достижения требуемых значений порогового давления рекомендуется правильно выбирать условия формирования мембраны с целью получения требуемой структуры.

Известно, что мембраны могут снижать свою производительность за счет закупоривания пор, что определяется, как мембранное загрязнение. Для ПП мембран разрабатываются свои протоколы борьбы с такими загрязнениями. Эти решения опираются на данные о типе загрязнителей, к которым относятся: органические вещества (смолы, асфальтены, парафины, ПАВ), неорганические вещества (соли, кальций, барий, частицы песка, глины и др.), биоматериалы (бактерии, грибы).

Для борьбы с загрязнением ПП мембран применяют физические и химические методы: гидродинамическую промывку, обратную промывку, очистку воздушным потоком, обработку химическими веществами (щелочными растворами, кислотами, ПАВ и ЭДТА) [18].

Модификация ПП мембран может быть еще одним решением, позволяющим избежать их загрязнения. Например, гидрофобная поверхность может быть модифицирована с целью трансформации ее в супергидрофобную/олеофобную. В объем полимерной матрицы возможно введение функциональных добавок (TiO_2 , SiO_2 и др.) с целью увеличения прочности мембраны и ее стойкости к УФ излучению. Обработка поверхности плазмой с получением на ней новых функциональных групп, которые будут влиять на сорбционную способность загрязнителей, является еще одним способом модификации ПП мембран.

Полипропиленовые мембраны в зависимости от схемы мембранного модуля могут быть использованы для обессоливания и обезвоживания сырой нефти, например, на морских платформах или на месторождениях с высокой обводненностью (до 90%). Применение ПП мембран позволяет сократить содержание воды до 0,1%, а концентрацию солей до 10 мг/л при очистке пластовых вод для повторного закачивания. После разделения эмульсии концентрация нефтепродуктов снижается до 0,5 мг/л, что делает возможным повторное закачивание системы в пласт. Одновременно с нефтепродуктами удаляются механические примеси, которые не будут загрязнять пласт. Также ПП мембраны могут быть использованы на нефтеперерабатывающих предприятиях для разделения прямых эмульсий "нефть в воде". После половолоконных модулей в пермеате доля нефтепродуктов не превышает 5 мг/л при начальном их содержании до 5%. На нефтебазах для очистки сточных вод используют последовательную систему очистки, где мембраны применяются на последней стадии после флотации и сорбции. В результате многостадийной очистки с мембранами содержание нефтепродуктов в воде не превышает 0,05 мг/л, что позволяет сбрасывать стоки в открытые источники. В нефтеналивных терминалах используют установки с ПП мембранами для удаления из воды капель с размером до 10 мкм.

Таким образом, в зависимости от задачи разделения эмульсии выбирается определенный тип мембраны и модуль на ее основе. Половолоконные модули имеют большую производительность по сравнению со спиральными (до 200 м³/сутки). Рабочее давление больше для спиральных мембран (до 30 бар) по сравнению с половолоконными модулями. По сравнению с другими полимерными мембранами ПП модули отличаются своей производительностью, дешевизной, экстремальными параметрами и долговечностью.

Одновременно с преимуществами ПП мембраны имеют некоторые недостатки. При высоких температурах полимер начинает деградировать со снижением свойств. Для ПП мембран не рекомендуется использовать некоторые типы растворителей, такие как ароматические углеводороды или хлорированные растворители. Загрязнение мембран компонентами нефти приводит к необходимости частых промывок, а разделяемый поток должен проходить предподготовку. Значительное изменение pH приводит к нестабильности ПП мембран.

Активные научные работы в области мембранных технологий на основе ПП позволяют рассчитывать на достижение более высоких показателей для таких мембран. Так, введение функциональных добавок улучшит эксплуатационные свойства ПП мембран и ограничит применение немодифицированных аналогов. Оптимизация условий формования и обоснованный выбор температурно-концентрационного окна переработки возможны за счет тщательного изучения реологических свойств систем на основе ПП. Одним из перспективных направлений переработки наполненных термопластов является 3D-печать. Регулирование состава мембраны и условий формования позволит получать специальные типы ПП мембран, предназначенные для работы с эмульсиями определенного состава.

По нашему мнению значительный потенциал в получении ПП мембран сосредоточен в использовании вторичного полимера и композиций на его основе. Использование вторичных ПП гранул позволит снизить стоимость получаемых мембран и экологическую нагрузку, сократив потребление первичного полимера. Изменения свойств полимера при его повторном использовании (снижение молекулярной массы, цвета и т.д.) возможно компенсировать за счет подбора композиционных добавок.

Заключение

Таким образом, полипропилен находит широкое применение в виде мембран для разделения различных газовых и жидких систем. Благодаря своим гидрофобным свойствам ПП мембраны используют в мембранной дистилляции и микрофильтрации водно-нефтяных эмульсий и разделении эмульсий на основе смесей растительного и минерального масла/воды. Используемые мембраны могут использоваться самостоятельно или дополнять традиционные методы разделения эмульсий, что позволяет достигать требуемых показателей. Использование ПП мембран позволяет достигать высокой степени очистки воды, в пермеате доля нефтепродуктов не превышает 5 мг/л, что соответствует существующим экологическим требованиям. К сожалению, в литературе большая часть представленных результатов исследований не отражает должного внимания вопросам реологического поведения ПП и композиций на его основе, а также обоснованности выбора условий формования мембран. Отсюда формируется гипотеза для будущих исследований, а именно правильный выбор условий формования позволит улучшить эксплуатационные характеристики получаемых ПП мембран.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по программно-целевому гранту ИРН BR28713197.

Список литературы

1. Аренова Ф.Р., Исаков Р.М. Преимущества полимерных композитов на основе полипропилена. Вестник Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева 2024; 1:29-33.
2. Bernreitner, K., Hammerschmid, K. (1999). Designing properties of polypropylene. In: Karger-Kocsis, J. (eds) Polypropylene. Polymer Science and Technology Series, vol 2. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4421-6> 21.

3. Shao, H.; Wei, F.; Wu, B.; Zhang, K.; Yao, Y.; Liang, S.; Qin, S. Effects of annealing stress field on the structure and properties of polypropylene hollow fiber membranes made by stretching. *RSC Adv.* 2016, 6, 4271–4279.
4. Li, Q.-S.; He, H.-W.; Fan, Z.-Z.; Zhao, R.-H.; Chen, F.-X.; Zhou, R.; Ning, X. Preparation and Performance of Ultra-Fine Polypropylene Antibacterial Fibers via Melt Electrospinning. *Polymers* 2020, 12, 606. <https://doi.org/10.3390/polym12030606>.
5. Tabatabaei, S.H.; Carreau, P.J.; Ajji, A. Microporous membranes obtained from polypropylene blend film by stretching. *J. Membr. Sci.* 2008, 325, 772–782.
6. Zubaida Rukhsana Usha, Dafaalla M.D. Babiker, Junsheng Yang, Xin Chen, Liangbin Li. Robust super-wetting biaxial polypropylene membrane with multi-scale roughness structures for highly efficient oil/water emulsion separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2023, 11(3):109670. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109670>.
7. Ulbricht, M. Advanced functional polymer membranes. *Polymer* 2006, 47, 2217–2262.
8. Jungin Lee, Tayfun Babadagli. Comprehensive review on heavy-oil emulsions: Colloid science and practical applications. *Chemical Engineering Science.* 2020, 228, 115962. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115962>.
9. Panchan Dansawad, Yujie Yang, Xin Li, Xiaopeng Shang, Yanxiang Li, Zhiwei Guo, Yashi Qing, Shengyong Zhao, Siming You, Wangliang Li. Smart membranes for oil/water emulsions separation: A review. *Advanced Membranes.* 2022. 2:100039. <https://doi.org/10.1016/j.advmem.2022.100039>.
10. Wang, S.; Zhang, X.; Xi, Z.; Wang, Y.; Qiao, J. Design and preparation of polypropylene ultrafiltration membrane with ultrahigh permeation for both water and oil. *Sep. Purif. Technol.* 2020, 238, 116455.
11. Yan, S.-Y.; Wang, Y.-J.; Mao, H.; Zhao, Z.-P. Fabrication of PP hollow fiber membrane via TIPS using environmentally friendly diluents and its CO₂ degassing performance. *RSC Adv.* 2019, 9, 19164–19170.
12. Hao, J.; Fan, Z.; Xiao, C.; Zhao, J.; Liu, H.; Chen, L. Effect of stretching on continuous oil/water separation performance of polypropylene hollow fiber membrane. *Iran. Polym. J.* 2017, 26, 941–948.
13. Li, T.; Dai, Y.; Li, J.; Guo, S.; Xie, G. A high-barrier PP/EVOH membrane prepared through the multistage biaxial-stretching extrusion. *J. Appl. Polym. Sci.* 2017, 134, 45016–45027.
14. Feng, J.; Zhang, G.; MacInnis, K.; Olah, A.; Baer, E. Formation of microporous membranes by biaxial orientation of compatibilized PP/Nylon 6 blends. *Polymer* 2017, 123, 301–310.
15. Shadi Elahi, Mahdi Pourafshari Chenar, Malihe Sabzekar, Mathias Ulbricht. Fabrication of durable superhydrophobic polypropylene membrane for hypersaline brine desalination using direct contact membrane distillation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2025. 13(4):117242. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117242>.
16. Qiu, Z.; He, C. Polypropylene Hollow-Fiber Membrane Made Using the Dissolution-Induced Pores Method. *Membranes* 2022, 12, 384. <https://doi.org/10.3390/membranes12040384>.
17. Yuexia Lv, Xinhai Yu, Shan-Tung Tu, Jinyue Yan, Erik Dahlquist. Wetting of polypropylene hollow fiber membrane contactors. *Journal of Membrane Science* 2010, 362 (1-2):444-452. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.06.067>.
18. Gryta, M. Resistance of Polypropylene Membrane to Oil Fouling during Membrane Distillation. *Membranes* 2021, 11, 552. <https://doi.org/10.3390/membranes11080552>.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant IPH № BR28713197).

Г.К. Шамбилова, Р.М. Искаков, А.Б. Құрманғалиева, Г.И. Макаров, А.С. Калауова,
Ж.К. Кадашева

МҰНАЙ ЭМУЛЬСИЯЛАРЫН БӨЛУГЕ АРНАЛҒАН ПОЛИПРОПИЛЕН НЕГІЗІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАР

Аннотация. Полипропилен (PP) өзінің қасиеттеріне байланысты жоғары маржалы өнімдерді әзірлеуге қызығушылық тудыруда. Бұл өнімдерге талшықтар мен мембраналар жатады. PP-нің ылғалға төзімділігі және мұнай өнімдеріндегі ерімейтіндігі оны көп фазалы жүйелерді тазартуға арналған мембраналар үшін перспективалы кандидат етеді, мұнда бір фаза су, ал басқа фазаларда май құрамдас өнімдер, бейорганикалық қоспалар және басқа заттар болуы мүмкін. PP-нің гидрофобты сипаты мембрананың тасымалдау қасиеттерін уақыт өте келе сақтауға көмектеседі және тесіктердің бітелу қаупін жояды. Мембрананың өнімділігі мыңдаған сағат бойы сақталады, бұл тұрақты және сенімді жұмысты қамтамасыз етеді. Мембрананың тесік жүйесі сұйық немесе газ тәрізді болсын, бөлінген эмульсияның тек бір фазасының өтуін қамтамасыз етеді. Бұл полимер мембраналық айдау және микрофльтрацияда қолдану үшін ұсынылады. PP-нің жоғары жұмыс температурасына төзімділігі термиялық әсер ету кезінде мембраналарды зарарсыздандыруға мүмкіндік береді. Мембрана құрылымын бақылау қажетті тасымалдау және селективті қасиеттері бар мембраналарды жасауда негізгі қиындық болып қала береді. Дұрыс мембрана түзу әдісін таңдау қажетті қасиеттері бар мембрананы алудағы негізгі параметр болып табылады. Бұл мақалада полипропилен мембраналарын өндірудегі соңғы жетістіктер және мұнай өндіру мен өңдеу процестерінде осындай мембраналарды пайдалануды дамыту перспективалары қарастырылады.

Кілт сөздер: полипропилен, мембраналар, микрофльтрация, құрылым, морфология, майға төзімділік.

Gulbarshin Shambilova, Rinat Iskakov*, Ayazhan Kurmangaliyeva, G. Makarov, Altynai Kalauova, Zhanar Kadasheva

POLYPROPYLENE-BASED MEMBRANES FOR SEPARATING OIL EMULSIONS

Abstract. Due to its properties, polypropylene (PP) is attracting increasing attention for the production of high-margin products. These products include fibers and membranes. PP's resistance to moisture and insolubility in petroleum products make it a suitable base for membranes used in the purification of multiphase systems, where one phase is water, while the other phases may include oil-containing products, inorganic impurities, and other substances. The hydrophobic nature of PP helps maintain the membrane's transport properties over time and eliminates the risk of pore clogging. Membrane performance is maintained for thousands of hours, ensuring stable and reliable operation. The membrane's pore system ensures the passage of only water in liquid or gaseous states. This polymer is proposed for use in membrane distillation and microfiltration membranes. PP's resistance to high operating temperatures allows for sterilization of membranes under thermal conditions. Controlling the membrane structure remains a key challenge in creating membranes with the required transport and selective properties. Selecting the correct membrane formation method is a key parameter in obtaining a membrane with the desired properties. This research examines the latest advances in PP membrane production and the prospects for developing the use of such membranes in oil production and refining processes.

Keywords: polypropylene, membranes, microfiltration, structure, morphology, oil resistance.

УДК 678.742
МРНТИ 35.15.01

Г.К. Шамбилова¹, Р.М. Искаков^{1,3*}, Г.И. Макаров², С.К. Буканова¹, Н.А. Карабасова¹

¹ Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, химический факультет, 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1.

³Казахский национальный исследовательский технический университет им К.Сатпаева, 050013, г. Алматы, Сатпаева, 13
e-mail: r.iskakov@aogu.edu.kz

АСФАЛЬТ-ПОЛИМЕРНЫЕ ДОРОГИ: СОСТОЯНИЕ НАУКИ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. В обзоре рассматриваются современные подходы к модификации битума с использованием полимеров и других функциональных добавок. Особое внимание уделено различиям между «мокрым» и «сухим» методами введения полимеров, их влиянию на структурную организацию, термостойкость и долговечность дорожных покрытий. Приведены примеры промышленных и пилотных проектов, демонстрирующих эффективность применения полимер-модифицированных битумов (ПМБ) в повышении эксплуатационных характеристик асфальтобетонных смесей. Также проанализированы тенденции развития в направлении экологически устойчивых технологий и переработки полимерных отходов для дорожного строительства.

Ключевые слова: битум, полимерная модификация, асфальтобетон, термопласты, эластомеры, устойчивое развитие

Введение

Дорожная конструкция — многослойная система, в которой верхний асфальтобетонный слой выполняет прежде всего защитно-эксплуатационную функцию: он распределяет нагрузки, защищает нижележащие слои от влаги и механических повреждений, обеспечивает необходимое сопротивление сцеплению и герметичность. При этом долговечность дороги в целом во многом определяется качеством подготовленных несущих слоёв (оснований, выравнивающего слоя) и их взаимодействием с верхним слоем; асфальтовое покрытие выступает «финишным» защитным экраном, подверженным абразии, температурным и циклическим нагрузкам. Ключевые требования к верхнему слою — высокая устойчивость к колееобразованию при высоких температурах, трещиностойкость при низких температурах, стойкость к усталостным разрушениям, водостойкость и долговременная сохранность реологических свойств. Эти требования обуславливают поиск модификаций битумных вяжущих и оптимизации состава асфальтобетонных смесей.

Классическая асфальтобетонная смесь состоит из битума (вяжущее), минерального заполнителя (щебень, гравий, песок) и мелкодисперсной фракции (пыль, наполнитель). Битум — сложная смесь углеводородных фракций с выраженной полифазностью; его эксплуатационные свойства (мягкость/жесткость, вязкоупругость, температурный интервал пластичности) определяются происхождением сырья и степенью остаточной переработки нефтепродуктов. Наполнители дают механическую прочность, а добавки — целый ряд дополнительных функций: стабилизация структуры, повышение адгезии, противозерозионная и антискользкая защита.

В условиях Казахстана имеется относительная доступность минералов (щебень, песок) в большинстве регионов, а также локальные потоки лигниносодержащих побочных продуктов целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, которые можно

использовать как биомодификаторы (лигнин). Ограничивающим фактором остаётся качество и однородность битумного сырья, а также сезонные температурные колебания, требующие расширенного диапазона эксплуатационных свойств вяжущего. Основные технологические проблемы: усталостная трещиностойкость, колееобразование, старение (термоокислительное и ультрафиолетовое) битума, а также экологические риски при использовании вторичных полимеров (потенциальное выделение микропластиков и летучих органических соединений при изготовлении и эксплуатации).

Полимер-модифицированные битумы

В последние годы глобальная практика дорожного строительства всё активнее внедряет полимер-модифицированные асфальты, где традиционные нефтяные битумы дополняются или частично заменяются различными полимерами. Это изменение обусловлено необходимостью повышения эксплуатационной устойчивости покрытий — особенно устойчивости к колееобразованию, трещинообразованию и старению — а также стремлением к большей экологии и перерабатываемости. Классическими полимерами в данной области являются стирол-бутадиен-стирольные сополимеры (SBS), этилен-винилацетат (EVA), полиизобутилен и другие. Их использование доказало свою эффективность: вяжущее становится более эластичным, коэффициент восстановления после деформации увеличивается, трещиностойкость при низких температурах и устойчивость к высокотемпературной деформации улучшаются.[1] Обзоры современной литературы [2,3] подчёркивают, что такие модификации позволяют значительно расширить температурный диапазон применения асфальтовых смесей и продлить срок их службы.

Параллельно с коммерческими полимерными добавками растёт интерес к более устойчивым источникам модификаторов — в частности, к вторичным пластикам и биополимерам. Во многих странах успешно реализованы пилотные проекты, демонстрирующие практическую применимость этих подходов. Например, в Нидерландах проект PlasticRoad (VolkerWessels) показал, что дорожные или велосипедные покрытия можно создавать из переработанного пластика, причём такие конструкции обладают достаточной механической прочностью и демонстрируют устойчивость к нагрузкам и температурным изменениям. [4] В Индии, где проблема пластиковых отходов особенно остра, технологии добавления измельчённого ПЭ и ПП в асфальтобетон уже применяются в полевых условиях: доля полимера обычно составляет 5–10 % масс. смеси — и ряд исследований и отчётов указывает на заметное снижение колееобразования и экономию битума при такой дозировке.[5] Также существующие лабораторные и полевые исследования в Северной Америке и Европе показывают, что добавление GTR (резиновой крошки), ПЭ/ПП и комбинированных модификаторов улучшают прочность, демпфирование и долговечность асфальтовых слоёв.[6]

Таким образом, мировая практика демонстрирует, что полимер-модификация асфальта выходит за рамки академических исследований и всё чаще находит применение в инфраструктурных проектах.

Технологические пути получения полимер-битумных композиций

Различают два основных технологических подхода к введению полимерных добавок в асфальтобетон — так называемые «мокрый» (*wet process*) и «сухой» (*dry process*) методы, каждый из которых обладает своими физико-химическими особенностями, преимуществами и ограничениями. В «мокром» подходе модификация осуществляется на стадии подготовки битума: полимер (чаще всего SBS, EVA, LDPE, реже — PP или переработанные термопласты) вводится в нагретое вяжущее при температурах 160–190 °С с интенсивным сдвиговым перемешиванием в течение 30–60 мин [1]. При этом возможны два сценария взаимодействия — частичное растворение полимера в битуме либо образование устойчивой дисперсии, зависящее от параметров растворимости и вязкости системы. В результате образуется либо мелкодисперсная эмульсия с полимерными каплями в битумной матрице, либо непрерывная структура, в которой полимерная фаза образует пространственную сетку, придающую

материалу повышенную упругость и термостабильность. С точки зрения реологии это проявляется в росте комплексного модуля (G^*) и снижении тангенса угла потерь ($\tan \delta$), что указывает на повышение эластичности и устойчивости к колееобразованию при высоких температурах.[7]

«Сухой» метод, напротив, основан на введении полимерных частиц непосредственно в асфальтобетонную смесь без предварительного диспергирования в битуме. Измельчённые термопласты (ПЭНД, ПЭВД, ПП, ПЭТФ) или резиновая крошка подаются в смеситель совместно с нагретым минеральным наполнителем при температурах 160–180 °С. Полимерные частицы при этом частично расплавляются и обволакивают поверхность щебня или песка, формируя тонкий полимерный слой, улучшающий адгезию и водостойкость покрытия.

Физическая природа различий между методами связана прежде всего с механизмами тепло-массопереноса и совместимости компонентов. В «мокром» процессе полимерные цепи имеют возможность диффундировать в маломолекулярную фазу битума, образуя частично растворённую структуру, тогда как при «сухом» введении взаимодействие ограничивается поверхностным смачиванием частиц и локальным плавлением. Совместимость определяется близостью параметров Хансена (δD , δP , δH); наибольшая степень растворения наблюдается у эластомеров и полиолефинов с δ -значениями, близкими к битуму (около 17–19 МПа^{1/2})[8]. При использовании ПЭТФ, обладающего высокой кристалличностью и температурой плавления ~250 °С, его прямое расплавление в битуме невозможно — требуется предварительная химическая или термомеханическая переработка (гликолиз, пиролиз), обеспечивающая переход в аморфное состояние и образование низкомолекулярных фрагментов, совместимых с углеводородной матрицей[9].

Технологически «мокрый» метод требует специализированного оборудования — высоко-сдвиговых смесителей, термостатируемых резервуаров и систем циркуляции битума, что повышает энергоёмкость и стоимость процесса. Однако получаемые полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) отличаются высокой стабильностью, контролируемыми реологическими свойствами и возможностью стандартизации по международным спецификациям (например, Superpave PG). Эти композиции применяются преимущественно при строительстве автомагистралей, аэродромных покрытий и других объектов с высокой нагрузкой. Примером является использование SBS-модифицированного битума в покрытиях с интенсивным движением, где наблюдается увеличение срока службы до 12–15 лет против 6–8 лет у стандартного асфальта [10].

В то же время «сухой» метод оказался особенно востребован в странах, ориентированных на локальную переработку отходов и низкие капитальные затраты. Типичный пример — технология Васудевана (Индия), при которой измельчённый полиэтилен или полипропилен добавляется непосредственно к нагретому наполнителю; полимер частично плавится и связывает минеральные зерна, образуя композицию с улучшенной водостойкостью и устойчивостью к растрескиванию.[11] Аналогичные решения реализованы в Великобритании, Нидерландах и Австралии, где использование 5–8 мас.% переработанного пластика позволило снизить колееобразование на 30–40 % и увеличить модуль упругости асфальтобетона на 20–25 %[6]. Несмотря на меньшую гомогенность и потенциальные вариации свойств, «сухой» метод обеспечивает простоту внедрения и эффективное вовлечение вторичных ресурсов, что делает его перспективным для регионов с ограниченной технологической базой, включая Казахстан.

Выбор между «мокрым» и «сухим» подходом определяется соотношением эксплуатационных требований, экономических факторов и доступности оборудования. При необходимости получения покрытий с прогнозируемыми свойствами и высокой стойкостью предпочтителен «мокрый» метод; если приоритетом является утилизация отходов и снижение себестоимости, целесообразно применение «сухого» или комбинированного варианта.

Модификация асфальтовых покрытий

Одним из важнейших направлений устойчивого модифицирования асфальта является использование вторичных полимеров — переработанных пластиков, таких как полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полиэтилентерефталат (ПЭТ), а также резиновой крошки (GTR) из старых шин. [12] При добавлении этих полимеров в асфальтовое вяжущее или состав смеси достигаются изменения механических и термических свойств: повышение жёсткости, улучшение устойчивости к деформации, но в то же время возможны компромиссы, например, ухудшение пластичности при низких температурах. При этом плотность переработанных пластиков и их теплопроводность, а также поведение при нагреве играют ключевую роль при оптимизации рецептуры модифицированного асфальта.

Дополнительно к полимерам часто используются волокна — целлюлозные, полипропиленовые или стекловолокно. Волокнистые добавки усиливают структуру асфальтобетонной смеси, препятствуют «стеканию» битума, повышают усталостную стойкость и стабилизируют распределение полимерных частиц. Когда волокна комбинируются с полимерами, получается мультикомпонентная матрица: полимер отвечает за термостойкость и эластичность, а волокна — за стабильность и целостность при циклических нагрузках. Примерная классификация модификаторов дорожного битума приведена в таблице 1.

Таблица 1. Типы битумных модификаторов

Класс модификатора	Тип модификатора	Примеры
I. Модификация добавками (исключая полимеры)	1. Наполнители	Известь, сажа, зола-унос
	2. Антиадгезионные добавки	Органические амины и амиды
	3. Наполнители-удлинители	Лигнин, сера
	4. Антиоксиданты	Цинковые антиоксиданты, свинцовые антиоксиданты, фенольные соединения, амины
	5. Органометаллические соединения	Органо-марганцевые соединения, органо-кобальтовые соединения
Полимерная модификация	Термопласты	Полиэтилен (PE), Полипропилен (PP), Поливинилхлорид (PVC), Полистирол (PS), Сополимер этилена с винилацетатом (EVA)
	Рекатопласты	Эпоксидные смолы
	Эластомеры	Сополимер стирола и бутадиена (SBR), Сополимер стирола–бутадиена–стирола (SBS), Сополимер этилена–пропилена–диенового мономера (EPDM), Сополимер изобутилена и изопрена (IIR)
Анизотропные включения	Полимерные волокна	Акриловое, целлюлозное, ПЭТ, ПП, углеродное, арамидное и др.
	Неорганические волокна	Стекловолокно, металлические
Модификация на основе химических реакций		Реакции присоединения (битум + мономер), вулканизация (битум + сера), реакция нитрования (битум + азотная кислота)

Современные рецептуры всё чаще строятся на основе сложных гранулометрических систем наполнителей: многомодальные распределения крупного, среднего и мелкого заполнителя вместе с полимерными частицами и волокнами позволяют оптимизировать плотность смеси, минимизировать пористость и достичь высокой механической прочности и долговечности. Это особенно важно для покрытий, эксплуатируемых в климатах с резко выраженными температурными колебаниями, что актуально для резко-континентального климата Казахстана, где температура может варьироваться от -20 до +40 °С.

Интересно и то, что модификация асфальта биополимерами, такими как лигнин, выходит на первый план. Лигнин — природный биополимер, побочный продукт целлюлозно-бумажной промышленности — обладает ароматической структурой, близкой к асфальту, и проявляет антиокислительные свойства, что позволяет улучшать старение вяжущего и корректировать реологические параметры. Исследования показывают, что при введении 3–5 % лигнина можно повысить жёсткость и устойчивость к высокотемпературной деформации, сохраняя при этом удовлетворительную работу при низких температурах.[13] Кроме того, на лабораторном уровне активно исследуется добавление лигнина. При сравнении биосмеси с 30 % лигнина и обычных асфальтовых смеси: показано, что лигнин-содержащий вяжущее снижает тепловую чувствительность и возрастную деградацию, при этом обеспечивая сопоставимую прочность и стабильность.[14] Однако в части усталостной выносливости и технологичности смеси добавление лигнина может потребовать оптимизации рецептуры, чтобы не ухудшать обрабатываемость смеси.[15] В недавнем исследовании [16] было показано, что био-масляно-лигниновые композиции (с использованием био-масла и лигнина) обладают превосходной стабильностью хранения и реологическими свойствами.

Экологичность и устойчивость таких систем

Экологический аспект применения полимерно-модифицированных асфальтов очень многогранен. Во-первых, использование переработанных пластиков позволяет существенно снизить количество полимерных отходов: пластик, который иначе мог бы оказаться на свалках или в окружающей среде, становится компонентом дорожной инфраструктуры. Во-вторых, замещение части нефтяного битума биополимерами (такими как лигнин) может уменьшить углеродный след производства асфальта. Однако существуют и вызовы: возможно образование микропластиков при износе покрытия, миграция сорбированных загрязняющих веществ, а также выделение летучих органических соединений (VOC) при нагреве смеси. Поэтому важной частью оценки устойчивости новых покрытий являются лабораторные и полевые испытания, включающие анализ микроразрушения, определение стабильности при хранении, тесты на MSCR (многократное воздействие деформации), DSR (динамическое сдвиговое деформирование), FTIR-анализ, а также экологические тесты на выделение вредных веществ.

Проблемы, перспективы и пути дальнейшего развития

Несмотря на значительный прогресс, перед полимерно-модифицированными и биополимерными асфальтами стоят серьёзные вызовы. Во-первых, технологическое распространение требует стандартизации: необходимо разработать национальные и международные нормативы, регулирующие качество переработанных полимеров, методы их введения, критерии экологической безопасности и долговечности покрытия. Во многих странах пока нет чётких регламентов для асфальтов с лигнином или переработанным пластиком, что затрудняет масштабирование.

Во-вторых, логистика и экономическая модель остаются ключевыми барьерами: сбор, сортировка, переработка пластикового сырья, транспортировка, переработка и перемешивание — всё это требует значительных инвестиций и инфраструктуры. Особенно в странах с низкой плотностью населения или недостаточной перерабатывающей базой.

Третья группа проблем связана с оптимизацией рецептур: нужно найти золотую середину между концентрацией полимера (или лигнина), однородностью распределения, технологичностью производства и эксплуатационными характеристиками (усталостная стойкость, трещиностойкость, низкотемпературная пластичность). Лабораторные данные уже

показывают, что высокие дозы лигнина или пластика могут негативно сказаться на некоторой механике — поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на комбинированные модификаторы (например, волокна + полимеры + лигнин), оптимизацию гранулометрии и улучшение методов гомогенизации.

Наконец, перспективные направления включают масштабные полевые пилоты с длительным мониторингом (месяцы, годы), применение анализа жизненного цикла (LCA) для оценки экологического баланса, а также сотрудничество между научными учреждениями, дорожными агентствами и промышленностью. Для стран, таких как Казахстан, это особенно актуально: локальные пилотные проекты могли бы адаптировать технологии к местным ресурсам (щебень, лигнин, отходы пластика) и климатическим условиям.

Заключение

Асфальт-полимерные композиты на основе вторичных пластиков и биополимеров (лигнин) представляют собой реальную и перспективную технологию для повышения долговечности дорожных покрытий и уменьшения экологической нагрузки. Мировая практика и исследовательские обзоры демонстрируют значительные преимущества по сопротивлению колееобразованию, устойчивости к старению и улучшению механических свойств при содержании полимеров в оптимальных пределах (обычно 3–10 мас.%). Одновременно остаются открытые вопросы по однородности распределения полимера, выделению микропластиков и необходимости адаптации технологий под климатические и ресурсные условия отдельных стран. Рекомендую: (1) серия пилотных участков с системным мониторингом (механика, экология); (2) создание национальных методик контроля качества вторичного полимерного сырья; (3) разработка комбинированных модификаторов (поли-лигнин-волокно) и их масштабное тестирование; (4) проведение LCA для оценки общего экологического эффекта. Эти меры позволят перейти от отдельных успешных пилотов к массовому и безопасному внедрению в дорожную практику.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по гранту ИРН № AP26100713.

Список литературы

1. Isacsson U., Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens—state of the art // *Materials and Structures*. – 1995. – V.28. – № 3. – P.139–159. DOI: 10.1007/BF02473221.
2. Enfrin M., Giustozzi F. Recent advances in the construction of sustainable asphalt roads with recycled plastic // *Polymer International*. – 2022. – V.71. – № 12. – P.1376–1383. DOI: 10.1002/pi.6405.
3. Rashid S., Mudavath R., Chandra H., Shekhar I., Kumar P., Srivastava M., Kumar K. A Review on Virgin or Waste Polymers in Bitumen Modification for Ageing and Rejuvenation // *Chem Eng & Technol*. – 2024. – V.47. – № 4. – P.624–637. DOI: 10.1002/ceat.202300194.
4. Lysyannikov A.V., Egorov A.V., Lysyannikova N.N., Shram V.G., Kovaleva M.A., Lynev A.S., Kaizer Y.F. Polymer materials from recycled plastic in road construction // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2019. – V.1399. – № 4. – P.044064. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/4/044064.
5. National Institute of Construction Management and Research, Pune, India., Biswas Prof.A., Goel Prof.Dr.A., National Institute of Construction Management and Research, Pune, India., Potnis Prof.Dr.S., Civil Department, MIT-WPU, Pune, India. Performance Evaluation of Sustainable bituminous-Plastic roads for Indian conditions // *IJEAT*. – 2019. – V.9. – № 1. – P.6384–6392. DOI: 10.35940/ijeat.A9844.109119.
6. Yang Q., Lin J., Wang X., Wang D., Xie N., Shi X. A review of polymer-modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties // *Cleaner Materials*. – 2024. – V.12. – P.100255. DOI: 10.1016/j.clema.2024.100255.
7. González O., Peña J.J., Muñoz M.E., Santamaría A., Pérez-Lepe A., Martínez-Boza F., Gallegos C. Rheological Techniques as a Tool To Analyze Polymer–Bitumen Interactions: Bitumen

- Modified with Polyethylene and Polyethylene-Based Blends // Energy Fuels. – 2002. – V.16. – № 5. – P.1256–1263. DOI: 10.1021/ef020049l.
8. Hansen C.M. Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook, Second Edition. 0 ed. – 2007. DOI: 10.1201/9781420006834.
 9. Peters S.T. Handbook of composites. – 2013.
 10. Wei H., Bai X., Qian G., Wang F., Li Z., Jin J., Zhang Y. Aging Mechanism and Properties of SBS Modified Bitumen under Complex Environmental Conditions // Materials. – 2019. – V.12. – № 7. – P.1189. DOI: 10.3390/ma12071189.
 11. Srikanth G., Saha A., Kumar R. An Experimental Investigation on the Effect of Mixing Procedures on Polypropylene Modified Bituminous Mix // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – V.8. – № 1. – P.1204–1210.
 12. Vanapalli K.R., Sharma H.B., Ranjan V.P., Samal B., Bhattacharya J., Dubey B.K., Goel S. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic // Science of The Total Environment. – 2021. – V.750. – P.141514. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141514.
 13. Norgbey E., Huang J., Hirsch V., Liu W.J., Wang M., Ripke O., Li Y., Takyi Annan G.E., Ewusi-Mensah D., Wang X., Treib G., Rink A., Nwankwegu A.S., Opoku P.A., Nkrumah P.N. Unravelling the efficient use of waste lignin as a bitumen modifier for sustainable roads // Construction and Building Materials. – 2020. – V.230. – P.116957. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116957.
 14. Gaudenzi E., Cardone F., Lu X., Canestrari F. Performance assessment of asphalt mixtures produced with a bio-binder containing 30% of lignin // Mater Struct. – 2022. – V.55. – № 8. – P.221. DOI: 10.1617/s11527-022-02057-w.
 15. Gaudenzi E., Cardone F., Lu X., Canestrari F. The use of lignin for sustainable asphalt pavements: A literature review // Construction and Building Materials. – 2023. – V.362. – P.129773. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129773.
 16. Guo G., Gao J., Jin D., Wang X., Bi Y., Guo P. Study on the Storage Stability and Rheological Property of Bio-Oil/Lignin Composite-Modified Asphalt // Polymers. – 2024. – V.16. – № 17. – P.2484. DOI: 10.3390/polym16172484.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant IPH № BR28713197).

Г.К. Шамбилова, Р.М. Искаков*, Г.И. Макаров, С.К. Буканова, Н.А. Карабасова

АСФАЛЬТ-ПОЛИМЕРЛІ ЖОЛДАР: ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕР, ПОЛИМЕРЛЕРДІ ҚАЙТА ӨНДЕУ, ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ЗИЯНСЫЗДЫҚ ЖӘНЕ БЕТТЕРДІҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҒЫ

Аңдатпа. Бұл шолуда полимерлер мен басқа да функционалдық қоспаларды қолдана отырып, битумды модификациялаудың заманауи тәсілдері қарастырылады. «Ылғалды» және «құрғақ» полимерді қосу әдістерінің арасындағы айырмашылықтарға және олардың жол беттерінің құрылымдық ұйымдастырылуына, жылу тұрақтылығына және беріктігіне әсеріне ерекше назар аударылады. Асфальтбетон қоспаларының пайдалану сипаттамаларын жақсартуда полимермен модификацияланған битумның тиімділігін көрсететін өнеркәсіптік және пилоттық жобалардың мысалдары келтірілген. Экологиялық тұрақты технологияларға және жол құрылысы үшін полимер қалдықтарын қайта өңдеуге бағытталған даму үрдістері де талданады.

Кілт сөздер: битум, полимерді модификациялау, асфальтбетон, термопластика, эластомерлер, тұрақты құрылыс

Gulbarshin Shambilova, Rinat Iskakov, G. Makarov, Saule Bukanova, Nagima Karabasova

ASPHALT-POLYMER ROADS: THE STATE OF THE ART, POLYMER RECYCLING, ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND FUNCTIONALITY OF THE SURFACES

Abstract. This review examines modern approaches to bitumen modification using polymers and other functional additives. Particular attention is paid to the differences between "wet" and "dry" polymer addition methods and their impact on the structural organization, thermal stability, and durability of road surfaces. Examples of industrial and pilot projects demonstrating the effectiveness of polymer-modified bitumen in improving the performance characteristics of asphalt concrete mixtures are provided. Development trends toward environmentally sustainable technologies and the recycling of polymer waste for road construction are also analyzed.

Keywords: bitumen, polymer modification, asphalt concrete, thermoplastics, elastomers, sustainable construction

А.Д. Кадирбергенов, Р.М.Искаков

НАО «Атырауский университет нефти и газа» имени Сафи Утебаева, Атырау
Казахстан

email: kadirbergenov_23@aogu.edu.kz

email: r.iskakov@aogu.edu.kz

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛИПРОПИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЯЕМОГО ГРАФИТА

Аннотация. Полипропилен широко применяется в различных отраслях промышленности, способствуя эффективному развитию экономики и повышению конкурентоспособности продукции. Это достигается за счёт замены дорогостоящих материалов, снижения материалоёмкости, внедрения передовых технологий переработки и создания оборудования новых поколений. Однако одним из существенных недостатков полипропилена является его высокая горючесть. Существует три основных подхода к разработке негорючих полимеров, наиболее распространённым из которых является использование антипиренов (антипиренов). Однако использование галогенированных низкомолекулярных антипиренов в полимерных материалах может приводить к выделению токсичных побочных продуктов. В отличие от них, интумесцентные системы устраняют проблему образования токсичных соединений при горении. В данной статье рассматривается сочетание интумесцентных огнестойких материалов с расширяющимся графитом для достижения синергетического эффекта.

Ключевые слова: полипропилен, добавки, огнестойкость, расширяемый графит, огнезащитный состав, антипирены.

Введение

Благодаря своей экономической эффективности, хорошей стабильности и механическим свойствам полипропилен (ПП) имеет широкий спектр применения в электротехнических и электронных приборах, автомобилестроении, упаковочных материалах и строительных материалах. Объем рынка полипропилена оценивается в 91,98 миллиона тонн в 2024 году и, как ожидается, достигнет 121,81 миллиона тонн к 2029 году, среднегодовой рост составит 5,78% в течение прогнозируемого периода (2024-2029 годы).

Однако его воспламеняемость накладывает существенные ограничения на его более широкое применение и развитие. Предельный кислородный индекс ПП может достигать только 17–18%, что делает его легко воспламеняющимся, с опасностью возникновения пожара в процессе производства и применения ПП, поэтому крайне важно обрабатывать ПП антипиреном для повышения его безопасности, [1].

Для большинства применений огнезащитная модификация является обязательной для достижения более низкого риска возгорания. В то же время multifunctional полимерные композиты с повышенной огнестойкостью постепенно становятся важными

направлениями исследований, учитывая рост спроса в секторе высокопроизводительного производства. В связи с этим в определенных областях требуется высокая теплопроводность, особенно для материалов корпусов электронных устройств. В противном случае накопление отработанного тепла также представляет собой опасность возгорания, а срок службы электронных устройств сокращается, когда они работают при высоких температурах в течение длительных периодов времени. Поэтому разработка многофункциональных материалов с огнезащитными свойствами и теплопроводностью имеет смысл для таких применений, [2].

Наиболее распространенным способом повышения огнестойкости ПП является системы интумесцирующегося огнестойкого материала (IFR), состоящие из источника кислоты, источника углерода и источника газа, привлекли больше внимания исследователей из-за их высокой эффективности, низкого уровня дымообразования, низкой токсичности и экологичности ПП. В настоящее время наиболее широко используемыми системами IFR являются система полифосфата аммония (APP)/углеобразующего агента (CFA) и система пиперазинпирофосфата/меламинполифосфата. Система APP/CFA коммерчески популярна из-за ее высокой производительности и низкой цены. Однако для эффективности требуется большое количество IFR и системы IFR обычно приводят к ухудшению механических свойств ПП из-за плохого взаимодействия и совместимости с матрицей. Более того, огнестойкость обугливания также нуждается в дальнейшем улучшении для соответствия требованиям в высокотехнологичных приложениях.

Также исследования показали что синергетическим подходам поверхностное покрытие частицами огнестойкого материала или блочная сополимеризация различных компонентов огнестойкого материала IFR также может улучшить механические свойства и огнестойкость материалов. Причина в том, что источник кислоты, источник углерода и источник газа IFR были тесно связаны, таким образом эффективно реагируя друг с другом, образуя интумесцирующий слой угля во время процесса горения. Следовательно, можно сделать вывод, что различные компоненты огнестойкого материала, связанные или цементированные в более тесном стиле, обеспечат более высокую огнестойкость, [3].

Антипирены

Существует три основных направления в разработке полимерных негорючих материалов: синтез полимеров с низкой горючестью, химическая и физическая модификация полимеров, а также использование антипиренов (замедлителей горения).

Наиболее распространенным и эффективным методом снижения горючести полимерных материалов является использование специальных добавок — замедлителей горения (антипиренов), которые вводятся в расплав полимера на этапе производства компаунда в концентрации до 60% и более. Ниже в таблице №1 приведена классификация антипиренов.

Интумесцирующие системы, способствующие образованию керамикообразного защитного слоя (пенококса) на поверхности полимера, работают за счет комбинации активных веществ (фосфоро фосфорорганика аника и вспениватель). Принцип действия пенококсовых слоев для огнезащиты полимера заключается в их теплоизолирующих и барьерных эффектах при массопереносе, в частности:

- изменением направления термораспада полимера, что приводит к образованию пенококса и негорючих летучих продуктов;
- изменением теплового баланса горения за счет процессов вспучивания;
- препятствием диффузии топлива (кислорода, углеводов) в зону горения и других подобных эффектов, [4].

Таблица 1. Классификация антипиренов

№ п/п		Класс антипиренов	Типичные представители	Примечания и пояснения
1		Бромированные углеводороды, в том числе: а) реактивные; б) аддитивные;	а)тетрабромбисфенол А (ТВА), броми-рованные полиолы, тетрабромфталевый ангидрид; б)декабромдифенилоксид (DBDPO), гексабромциклодекан, бромиро-ванный полистирол, производные ТВА	Применяют совместно с синергистами - оксидами сурьмы (3:1). Бесперспективны с точки зрения токсичности — с 1.06.2006 г. директивой RoSH ограничено применение
2		Соединения фосфора, в том числе: а)эфиры фосфорной кислоты; б) неорганические соединения фосфора, фосфинаты и N/P-систем	а)трис(хлорпропил)фосфат, три-дихлоризопропилфосфат, триарилфосфат, триалкилфосфаты; б)красный фосфор и полифосфаты аммония, фосфинаты Al (Zn)	Органические фосфаты одновременно являются пластификаторами для ПВХ. Механизм интумесценции - коксование и вспучивание поверхности горящего полимера и образование защитного слоя
3		Гидроксиды металлов	Алюминия тригидрат (АТН), магнезия гидроксид	АТН эффективен для пластиков, перерабатываемых до 230 град. (полиолефины, ПВХ). Гидроксид магнезия более перспективен из-за лучшего дымоподавления и низкой стоимости
4		Хлорированные углеводороды	Олигомерные хлорпарафины	Одновременно являются пластификаторами для ПВХ. Применяют совместно с синергистами - оксидами сурьмы (3:1)
5		Производные меламина	Цианураты и фосфаты меламина	Механизм интумесценции
6		Другие	Борат цинка, соединения молибдена	Проявляют высокие дымоподавляющие свойства, конкурируют с оксидами сурьмы

Расширяемый графит

Расширяемый графит (EG) был впервые описан в 1841 году Шафхаутлем, который исследовал кристаллические чешуйки графита в растворе серной кислоты. Ранее сообщалось о высоких огнестойких свойствах EG в полиуретановых покрытиях, где кислородный индекс увеличивался с 22 до 42 об.% при содержании 25 мас.% EG. EG проявляет себя как эффективная добавка, действующая как вспенивающий агент и карбонизатор. Этот материал улучшает огнезащитные свойства различных материалов, включая полипропилен. Расширение EG достигается через интеркаляцию чешуек графита, полученных воздействием концентрированной серной кислоты в сочетании с сильными окислителями, такими как азотная кислота или перманганат калия. Синтез чешуйчатого графена, получаемого из графита или других углеродных источников, происходит методом «сверху вниз», а окисление графита в растворителях приводит к образованию оксида графита, состоящего из слоев оксида графена с гексагональной углеродной структурой, включающей гидроксильные, алкокси, карбонильные и кислотные группы.

EG является одним из новейших экологически чистых материалов, который также используется в качестве компонента для удаления нефти из водных сред. Например, композит EG/феррит марганца эффективно удаляет тяжелую нефть и может быть использован для ликвидации разливов нефти. Графит, будучи относительно стабильным веществом при обычных температурах, имеет важное значение для разработки антипиренов благодаря своим свойствам расширяться при нагревании. При использовании EG в качестве антипирена его расширяемость и термическая стабильность играют ключевую роль. EG можно разделить на три типа в зависимости от термостабильности: низкий (от 80 до 150 °C), средний (от 180 до 240 °C) и высокий (от 250 до 300 °C). При температурах от 280 до 438 °C высокотермостабильный графит расширяется, создавая пористый барьер между материалом и пламенем, а уголь, образующийся в процессе, охлаждает среду пожара, увеличивая время до возгорания защищаемого материала, [5].

Для оценки огнестойкости ПП с добавлением различной дозировки IFR и EG были проведены исследования и получены результаты. Также были проведены физико-механические анализы различных дозировок.

Экспериментальная часть

Объектом исследования стала марка полипропилена PPH 250 GP. Марка PPH 250 GP применяется для изготовления изделий общего назначения методами литья под давлением, экструзии, компаундирования.

А также были взяты образцы интумесцирующегося огнестойкого материала (IFR) и расширяемого графита, которые имеют характеристики приведенные в таблице №№ 2,3.

Таблица 2. Основной состав и характеристики IFR

№	Наименование	
1	Внешний вид	Белый, сыпучий порошок
2	Содержание фосфора (%)	21
3	Содержание азота (%)	18
4	Средний размер частиц (мкм)	15
5	Содержание влаги (%)	0,50
6	Плотность при 25°C (г/см ³)	1,8
7	Термическое разложение (°C)	≥250

Таблица 3. Основной состав и характеристики расширяемого графита

№	Материал	Коэффициент углерода (%)	Скорость расширения (см ³ /г)	Начальная Температура (°C)	Размер частиц
1	Расширяемый графит	98	350	250	80%>300мкм

Подготовка образцов

При помощи экструдера LabTech Engineering Scientific были приготовлены образцы с различным уровнем загрузки. Общее количество уровня загрузки огнестойких ингредиентов поддерживалось на уровне 30% по массе от общего количества соединения. Все рецептуры представлены в таблице № 4. В этой терминологии буквы «PP», «IFR», «EG» использовались для обозначения пластикового полипропилена, огнестойкой добавки (интумесцирующегося огнестойкого антипирена) и расширяемого графита.

Таблица 4. Экспериментальные соотношения композитов

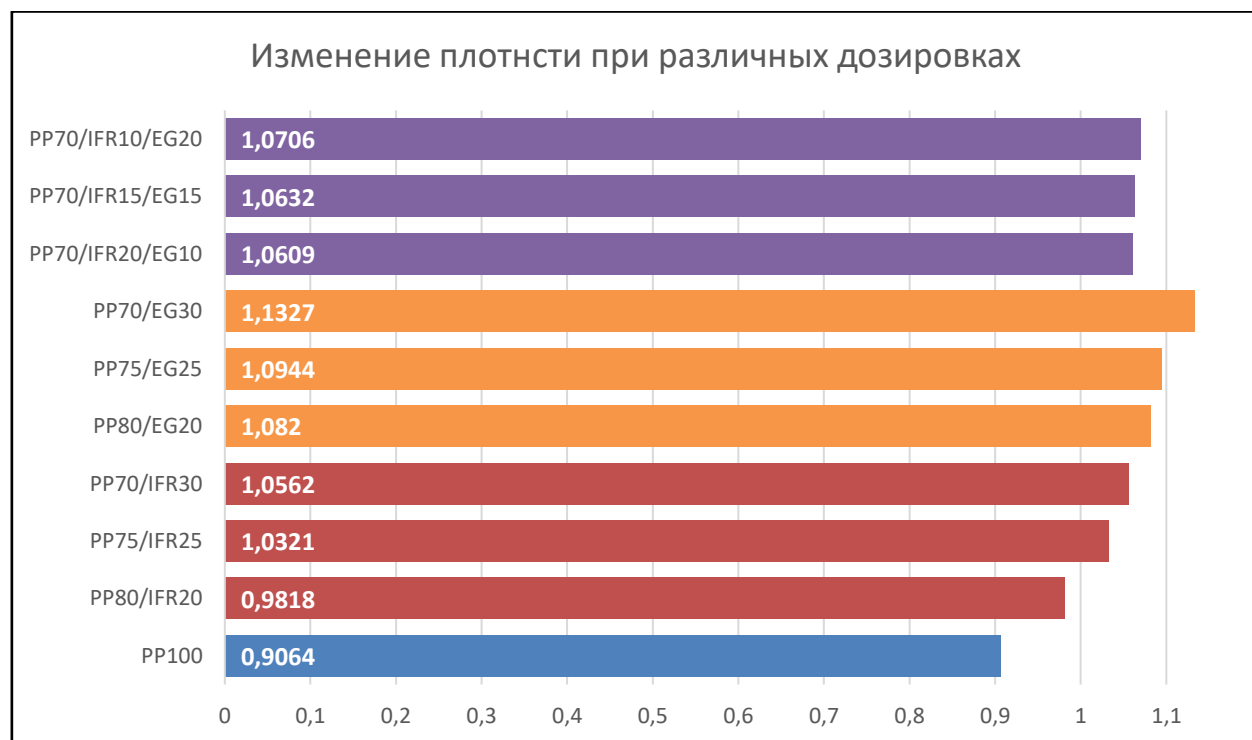
№	Наименование	PP(%)	IFR (%)	EG (%)
1	PP	100	-	-
2	PP80/IFR20	80	20	-
3	PP75/IFR25	75	25	-
4	PP70/IFR30	70	30	-
5	PP80/EG20	80	-	20
6	PP75/EG25	75	-	25
7	PP70/EG30	70	-	30
8	PP70/IFR20/EG10	70	20	10
9	PP70/IFR15/EG15	70	15	15
10	PP70/IFR10/EG20	70	10	20

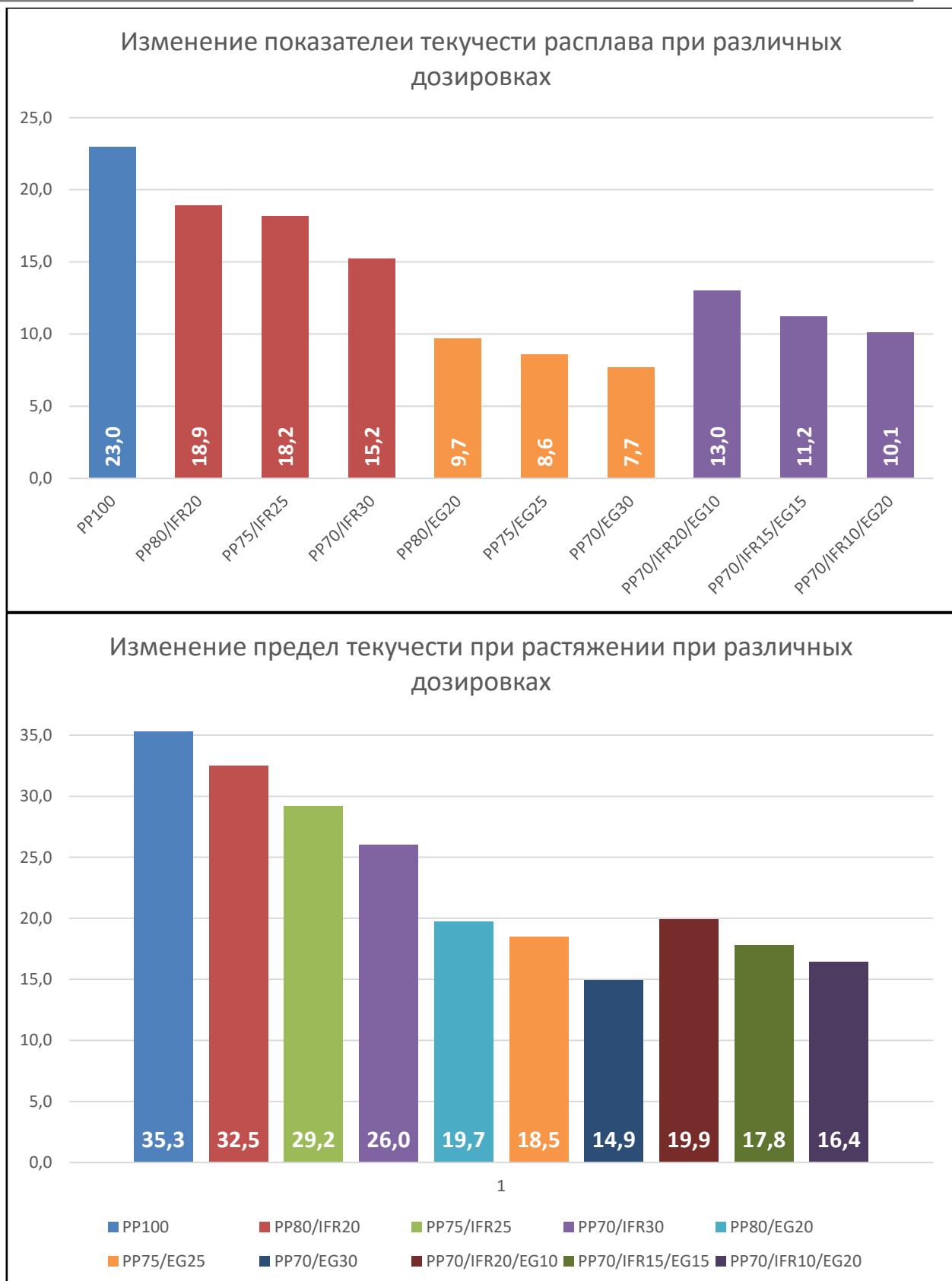
Из полученных гранул были отлиты образцы различных форм за счет лития под давлением на термопластавтомате BOY. Далее были проведены исследования характеристик компундов такие как: плотность, индекс текучести расплава, предел текучести при растяжении, температура тепловой деформации (HDT), модуль упругости при изгибе, ударная вязкость по Изоду с надрезом и определение кислородного индекса.

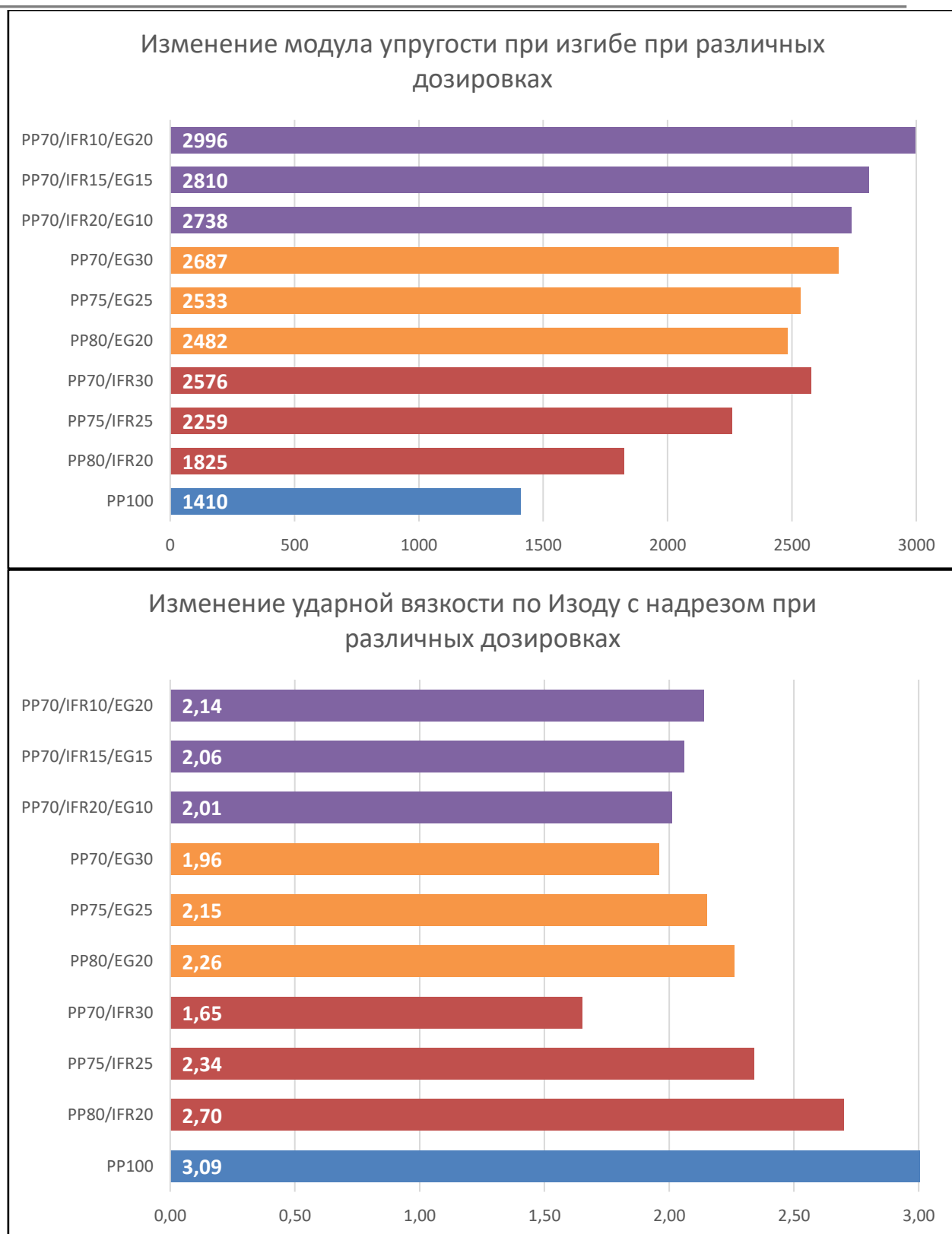
Ниже приведены результаты исследования.

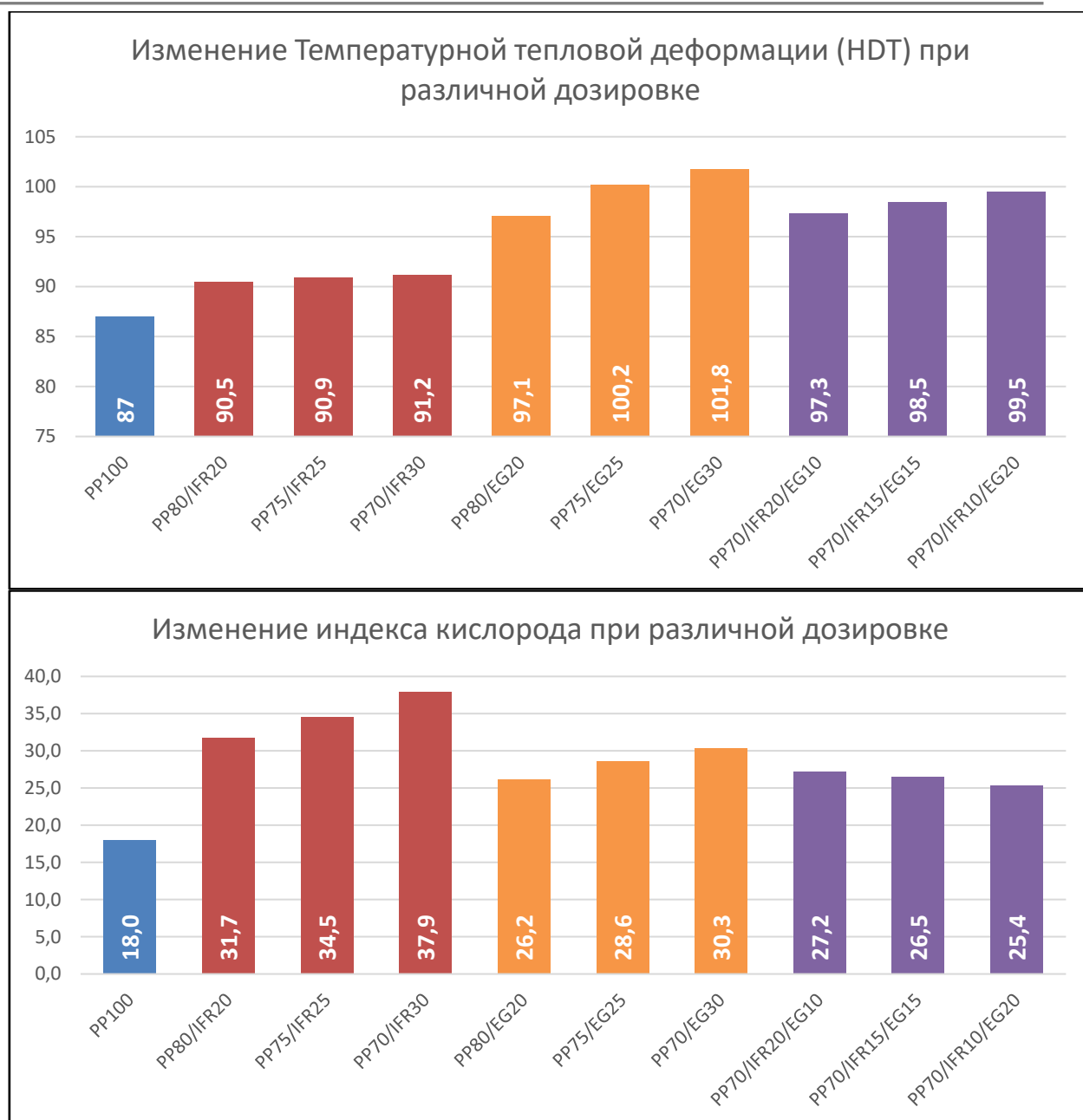
Таблица 5. Полученные результаты исследования образцов

	Образец	Плотность (г/см ³)	Показатель текучести расплава, ПТР (230 °С, 2,16 кг), г/10мин	Предел текучести при растяжении, (МПа)	Модуль упругости при изгибе, (МПа)	Ударная вязкость по Изоду с надрезом (23°С), Дж/м ²	Температура тепловой деформации (НДТ) (°С) при 0,45 МПа)	Определение кислородного индекса (%)
1.	PP100	0,9064	23,0	35,3	1410	3,09	87,0	18,0
2.	PP80/IFR20	0,9818	18,9	32,5	1825	2,70	90,5	31,7
3.	PP75/IFR25	1,0321	18,2	29,2	2259	2,34	90,9	34,5
4.	PP70/IFR30	1,0562	15,2	26,0	2576	1,65	91,2	37,9
5.	PP80/EG20	1,0820	9,7	19,7	2482	2,26	97,1	26,2
6.	PP75/EG25	1,0944	8,6	18,5	2533	2,15	100,2	28,6
7.	PP70/EG30	1,1327	7,7	14,9	2687	1,96	101,8	30,3
8.	PP70/IFR20/EG10	1,0609	13,0	19,9	2738	2,01	97,3	27,2
9.	PP70/IFR15/EG15	1,0632	11,2	17,8	2810	2,06	98,5	26,5
10.	PP70/IFR10/EG20	1,0706	10,1	16,4	2996	2,14	99,5	25,4









Выводы

Основная цель данной работы заключается в улучшении огнезащитных свойств полипропилена с использованием потенциальных огнезащитных материалов. Для достижения синергетического эффекта планируется комбинировать различные огнезащитные добавки, поскольку интумесцирующие огнезащитные системы являются дорогостоящими и вызывают мыльный эффект в процессе компаундирования. В связи с этим предлагается использовать альтернативные добавки в сочетании с интумесцирующимися системами для поддержания огнезащитных свойств.

Объектом исследования для изучения синергетического эффекта было взято взаимодействие IFR и расширяемого графита (EG) в составах на основе PPH 250 GP. IFR и расширяемый графит были комбинированы с полипропиленом в различных пропорциях и с разными уровнями загрузки для создания синергетической огнезащитной системы и улучшения огнестойкости материала.

По результатам кислородного индекса огнестойкости материалов, содержащих как IFR, так и расширяемый графит, оказались ниже, чем у образца только с IFR, при этом образец с 10 мас. % расширяемого графита и 20 мас. % IFR достигло максимального значения 27,2 %.

Однако с увеличением содержание расширяемого графита уменьшаются огнестойкость материалов. Температурная тепловая деформация (HDT) увеличилась с 87,0 °C до 99,5 °C при 20 мас. % расширяемого графита и 10 мас. % IFR, что улучшает несущую способность материала. Физико-механические свойства также показали лучшие результаты по сравнению с использованием только IFR или только расширяемого графита.

Таким образом, сочетание IFR и расширяемого графита демонстрирует синергетический эффект и является перспективной добавкой для полипропилена.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по программно-целевому гранту ИРН BR28713197.

Список литературы

1. Zhe Tu, Hongxiang Ou, Yining Ran, Honglai Xue, Fang Zhu. Preparation and flame retardant properties of organic montmorillonite synergistic intumescent flame retardant polypropylene. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Volume 87, February 2024, 105226
2. Wei Tang, Lijun Qian, Silvia González Prolongo, Yong Qiu, De-Yi Wang. Macromolecular piperazine/aluminum phosphate hybrid and its efficient intumescent flame retardant/thermal conductive polypropylene. Chemical Engineering Journal. Volume 495, 1 September 2024, 153162
3. Shanzhe Li, Lijun Qian, Wei Tang, Yong Qiu, Jingyu Wang, Wang Xi, Yajun Chen, Xiao Wu. Microparticle-aggregation effect of intumescent flame retardants on flame retardancy and toughening property of polypropylene. Polymer Degradation and Stability. Volume 222, April 2024, 110705
4. Актуальные проблемы в разработке и производстве негорючих полимерных компаундов для кабельной индустрии Р.И. Аблеев, КАБЕЛЬ—news / № 6-7 / июнь-июль 2009, стр. 65-66.
5. Bartłomiej Mazela, Anyelkis Batista and Wojciech Grześkowiak. Expandable Graphite as a Fire Retardant for Cellulosic Materials—A Review. Forests 2020, 11(7), 755;

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant ИРН № BR28713197)

А.Д. Кадирбергенов, Р.М.Искаков

КЕҢ КӨЛЕМДІ ГРАФИТ ҚОЛДАНЫЛҒАН ПОЛИПРОПИЛЕНГЕ АРНАЛҒАН ӨРТКЕ ТӨЗІМДІ ҚОСПАЛАР

Аннотация. Полипропилен экономиканың тиімді дамуына және өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал ететін әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Бұл қымбат материалдарды ауыстыру, материалды тұтынуды азайту, қайта өңдеудің озық технологияларын енгізу және жабдықтың жаңа буындарын жасау арқылы мүмкін болды. Дегенмен, полипропиленнің маңызды кемшіліктерінің бірі оның жоғары тұтанғыштығы болып табылады. Жанбайтын полимерлерді жасаудың үш негізгі тәсілі бар, ал ең көп таралған әдіс - жалынға қарсы заттарды (антипиренді) қолдану. Дегенмен, полимерлі материалдарда галогенді төмен молекулалы антипирендерді қолдану ұлы жанама өнімдердің бөлінуіне әкелуі мүмкін. Керісінше, интумесцентті жүйелер жану кезінде ұлы қосылыстардың пайда болу проблемасын жояды. Бұл мақалада синергетикалық әсерге қол жеткізу үшін тұтанатын отқа төзімді материалдарды кеңейтілетін графитпен біріктіру талқыланады.

Негізгі сөздер: полипропилен, қоспалар, отқа төзімділік, кеңейтілетін графит, отқа төзімді құрам, өртке қарсы заттар.

A.D. Kadibergenov, R.M.Iskakov

FIRE-RETARDANT ADDITIVES FOR POLYPROPYLENE USING EXPANSIVE GRAPHITE

Abstract. Polypropylene is widely used in various industries, contributing to effective economic development and enhancing product competitiveness. This is made possible by replacing expensive materials, reducing material consumption, implementing advanced recycling technologies, and creating new generations of equipment. However, one of the significant drawbacks of polypropylene is its high flammability. There are three main approaches to the development of non-flammable polymers, and the most common method is the use of flame retardants (antipyrenes). However, the use of halogenated low-molecular antipyrenes in polymeric materials can lead to the release of toxic byproducts. In contrast, intumescent systems eliminate the problem of toxic compound formation during combustion. This article discusses the combination of intumescent fire-resistant materials with expandable graphite to achieve a synergistic effect.

Key words: polypropylene, additives, fire resistance, expandable graphite, fire retardant composition, fire retardants.

ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ТРАНСПОРТА И СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69

Р. К.Салпакаева¹, Ж.Б. Тукашев², С.В.Казагачева²¹Атырауский университет нефти и газа им. Сафи Утебаева г.Атырау²Актюбинский университет им.К. Жубанова г.Актобе

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Статья посвящена анализу перспектив интеграции технологий информационного моделирования (BIM) и цифровых двойников в образовательные программы строительной отрасли. Цель исследования заключается в определении ключевых направлений подготовки кадров для цифровой трансформации строительства в условиях обязательного применения технологий информационного моделирования. Рассмотрены современные подходы к формированию профессиональных компетенций в области BIM и цифровых двойников, проанализирован опыт ведущих российских университетов по подготовке специалистов нового поколения. Представлены примеры успешной реализации образовательных программ и практического применения цифровых технологий в строительстве. Результаты исследования показывают необходимость комплексного подхода к обучению, включающего освоение отечественного программного обеспечения, методов искусственного интеллекта и междисциплинарную интеграцию.

Ключевые слова: BIM-технологии, цифровые двойники, информационное моделирование, образование в строительстве, подготовка кадров, цифровая трансформация, строительная отрасль, профессиональные компетенции.

Строительная отрасль Российской Федерации переживает период масштабной цифровой трансформации. С 1 июля 2024 года вступило в силу требование об обязательном применении технологий информационного моделирования (ТИМ/BIM) при реализации проектов капитального строительства [1]. Данное обстоятельство актуализирует проблему подготовки квалифицированных кадров, способных эффективно работать с современными цифровыми инструментами.

Согласно исследованиям, объем рынка BIM-технологий в России в период с 2018 по 2022 год увеличился более чем в два раза, что привело к существенному росту спроса на BIM-специалистов [2]. По данным анализа вакансий на декабрь 2023 года, в Москве и Санкт-Петербурге насчитывалось более 555 релевантных вакансий, требующих знания технологий информационного моделирования [3]. На общероссийском уровне количество открытых вакансий с требованием знания BIM-технологий превысило 2500 позиций [4].

Переход к индустрии 4.0 затрагивает все сферы строительства: здания становятся «умными», мегаполисы динамично развиваются, возникает необходимость освоения подземного пространства [5]. В этих условиях критически важной становится задача формирования у специалистов компетенций не только в области традиционного проектирования, но и в сфере создания цифровых двойников, управления информационными

моделями на всех этапах жизненного цикла объектов.

Цель настоящего исследования — определить перспективные направления использования BIM и цифровых двойников в образовательных программах строительного профиля, выявить ключевые компетенции будущих специалистов и обосновать необходимость модернизации учебных планов в соответствии с требованиями цифровой экономики.

1. Концептуальные основы BIM и цифровых двойников в строительстве

Технология информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM) представляет собой процесс создания и управления цифровой информационной моделью строительного объекта, объединяющей всю необходимую информацию для его жизненного цикла: проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции [6]. BIM-модель включает не только графическую составляющую, но и комплексные данные о конструкциях, инженерных системах, оборудовании, материалах и стоимости.

Цифровой двойник представляет собой более совершенную форму виртуального представления объекта — это цифровое представление информации о физическом объекте, которое синхронизируется с ним с установленной периодичностью в режиме реального времени [7]. Ключевое отличие цифрового двойника от информационной модели заключается в наличии функции предиктивной аналитики, позволяющей прогнозировать поведение объекта и моделировать различные сценарии развития событий [8].

В современной практике строительства цифровые двойники применяются для решения широкого спектра задач: от оптимизации процессов проектирования и строительства до управления эксплуатацией сложных инженерных систем. Исследования Capgemini прогнозируют увеличение внедрения цифровых двойников на 36% во всех основных отраслях в течение ближайших пяти лет [9].

2. Трансформация требований к подготовке специалистов

До 2022 года выпускники строительных вузов не изучали технологии информационного моделирования в рамках основных образовательных программ [4]. Однако интенсификация цифровизации отрасли потребовала кардинального пересмотра подходов к профессиональному образованию. Современный специалист строительной отрасли должен обладать междисциплинарными компетенциями на стыке информационных технологий, строительства и управления данными.

Анализ рынка труда показывает востребованность следующих специализаций: BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-инженер, специалист по цифровым двойникам, системный архитектор [10]. Каждая из этих профессий требует уникального набора компетенций, включающего владение программными инструментами, понимание строительных процессов, навыки проектного управления и способность к работе в междисциплинарных командах.

3. Образовательные программы ведущих университетов России

3.1. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

НИТУ «МИСиС» реализует комплексную систему подготовки специалистов в области BIM-технологий на уровнях бакалавриата и магистратуры. Образовательная программа бакалавриата «BIM-технологии, IT-решения в архитектуре и строительстве и цифровая поддержка жизненного цикла зданий и сооружений» направлена на формирование компетенций по созданию цифровых моделей зданий, сооружений и объектов инфраструктуры с применением технологий 3D-моделирования, визуализации и виртуальной реальности [11].

Студенты осваивают методы математического и компьютерного моделирования, анализа данных, программной инженерии. Программа предусматривает практическую работу над реальными проектами, такими как разработка информационной модели перегонных тоннелей московского метрополитена для выявления возможных коррозий и водопроявлений, использование BIM-технологий для строительства глубоких стволов в сотрудничестве с ГК «Норильский Никель» [12].

Магистерская программа «BIM-технологии в проектировании и строительстве»

представляет собой уникальное сочетание строительного направления и информационных технологий, включает подготовку по интеллектуальным методам анализа данных, основам программирования и применению BIM-решений в градостроительстве и промышленности [13].

3.2. Южный федеральный университет

Образовательная программа ЮФУ «BIM-технологии в архитектуре и градостроительстве» направлена на подготовку кадров для цифровизации строительной отрасли и повышения эффективности архитектурно-строительных проектов. Выпускники программы получают знания и профессиональные компетенции, необходимые для работы как с программным, так и с аппаратным обеспечением технологии информационного моделирования [14].

3.3. Система дополнительного профессионального образования

Университет Минстроя НИИСФ РААСН реализует программы профессиональной переподготовки и повышения квалификации в области информационного моделирования. Программа профессиональной переподготовки «Информационное моделирование в строительстве» объемом 288 часов направлена на формирование компетенций, необходимых для выполнения профессиональной деятельности в сфере информационного моделирования в промышленном и гражданском строительстве [15].

4. Практические примеры применения технологий

Реализация образовательных программ сопровождается активным внедрением BIM и цифровых двойников в практику строительства. Компания «Северстрой» применяет технологии BIM 2.0 и цифровые двойники на всех стадиях реализации проектов — от проектирования до эксплуатации. При строительстве логистического объекта площадью 25 тысяч квадратных метров использование BIM 2.0 модели с полной интеграцией инженерных систем позволило сократить сроки строительства на два месяца и избежать затрат на переделки на сумму около 18 миллионов рублей [16].

В международной практике показателен пример создания цифрового двойника Бруклинской башни в Нью-Йорке — 93-этажного небоскреба высотой более 320 метров. По свидетельству авторов проекта, цифровой двойник облегчил и ускорил коммуникацию на этапе строительства между партнерами проекта, заказчиком и различными отделами [17].

5. Проблемы и перспективы развития образовательных программ

Несмотря на активное развитие образовательных программ в области BIM, существует ряд системных проблем. Во-первых, необходимость адаптации образовательного процесса к требованиям импортозамещения зарубежного программного обеспечения. Многие крупные строительные компании в 2023 году инициировали переход на отечественное ПО, что требует соответствующей корректировки учебных программ [18].

Во-вторых, существует объективная потребность в развитии научно-исследовательской компоненты образовательных программ. Цифровые двойники представляют собой мощный инструмент для проведения научных исследований, моделирования процессов и технологий [19]. Интеграция исследовательской работы в образовательный процесс позволяет студентам не только осваивать существующие технологии, но и участвовать в разработке инновационных решений.

В-третьих, важнейшим направлением развития является формирование междисциплинарных компетенций. Современные специалисты должны владеть не только инструментами BIM, но и понимать принципы работы с большими данными, методы искусственного интеллекта, технологии интернета вещей, что требует расширения учебных планов и усиления практической подготовки.

Выводы

Обязательное применение технологий информационного моделирования в строительстве с июля 2024 года создает устойчивый спрос на специалистов с компетенциями в области BIM и цифровых двойников, что требует масштабной трансформации образовательных программ строительного профиля.

Ведущие российские университеты активно развивают образовательные программы различных уровней, сочетающие строительные знания с IT-компетенциями, обеспечивая подготовку BIM-менеджеров, BIM-координаторов, BIM-инженеров и специалистов по цифровым двойникам.

Практическое применение BIM 2.0 и цифровых двойников демонстрирует значительный экономический эффект: сокращение сроков строительства, снижение затрат на переделки, оптимизацию коммуникации между участниками проектов.

Перспективное развитие образовательных программ требует решения задач импортозамещения программного обеспечения, усиления научно-исследовательской компоненты и формирования междисциплинарных компетенций у обучающихся.

Интеграция BIM и цифровых двойников в образовательный процесс должна охватывать весь жизненный цикл объектов строительства — от концептуального проектирования до эксплуатации и реконструкции, что соответствует требованиям современной строительной практики.

Заключение

Цифровая трансформация строительной отрасли в Российской Федерации обуславливает необходимость коренных изменений в системе профессионального образования. Технологии BIM и цифровых двойников из инновационных инструментов превращаются в базовые компетенции специалистов строительного профиля. Образовательные программы ведущих университетов демонстрируют успешные модели интеграции цифровых технологий в учебный процесс, обеспечивая подготовку высококвалифицированных кадров для нужд отрасли.

Дальнейшее развитие образовательных программ должно осуществляться по следующим направлениям: расширение практико-ориентированного обучения на реальных проектах, внедрение отечественного программного обеспечения, развитие научно-исследовательской деятельности студентов в области цифровых двойников, формирование междисциплинарных команд, усиление связей между образовательными учреждениями и строительными компаниями.

Глобальный рынок цифровых двойников, оцениваемый в 19 миллиардов долларов США с прогнозом роста до 91 миллиарда к 2029 году [20], создает благоприятные условия для развития отечественной школы подготовки специалистов. Успешная реализация образовательных программ в области BIM и цифровых двойников обеспечит строительной отрасли России технологическое лидерство и конкурентоспособность на мировом уровне.

Список литературы

1. Нурбанова, Н. Бум на BIM: как «цифровые двойники» изменят строительную отрасль в РФ / Н. Нурбанова // Известия. — 2023. — 22 сентября. — URL: <https://iz.ru/1574208/nainakurbanova/bum-na-bim-kak-tcifrovye-dvoyniki-izmeniat-stroitelnuju-otrasl-v-rf> (дата обращения: 06.11.2025).
2. Рынок труда и образования в области технологии информационного моделирования // Айбим : информ. портал. — 2024. — URL: <https://bim-info.ru/articles/rynok-truda-i-obrazovaniya-v-oblasti-tekhnologii-informatsionnogo-modelirovaniya> (дата обращения: 06.11.2025).
3. 15 курсов по BIM-проектированию для менеджеров // VC.ru : образоват. платформа. — 2024. — 4 мая. — URL: <https://vc.ru/edu/1157754-15-kursov-po-bim-proektirovaniyu-dlya-menedzherov> (дата обращения: 06.11.2025).
4. BIM-технологии в проектировании и строительстве // Официальный сайт НИТУ «МИСиС». — 2024. — URL: <https://misis.ru/applicants/admission/magistracy/faculties/informatikaivtmag/bim-teh> (дата обращения: 06.11.2025).
5. BIM-технологии, IT-решения в архитектуре и строительстве и цифровая поддержка жизненного цикла зданий и сооружений // Официальный сайт НИТУ «МИСиС». — 2024. — URL: <https://misis.ru/applicants/admission/baccalaureate-and-specialty/faculties/prikladnayainformatika/bimtech> (дата обращения: 06.11.2025).

6. ИМС. Чем цифровой двойник отличается от информационной модели? / Д. Смирнов, А. Зотов // Айбим : информ. портал. — 2024. — URL: <https://bim-info.ru/articles/ims-chem-tsifrovoy-dvoynik-otlachaetsya-ot-informatsionnoy-modeli> (дата обращения: 06.11.2025).
7. Цифровые двойники в строительстве. Эффективность, проблемы и перспективы // IT-World.ru. — 2025. — 14 апреля. — URL: <https://www.it-world.ru/cionews/4v10wavscigwswgw4go8owg0gc004gc.html> (дата обращения: 06.11.2025).
8. Будущее в строительстве: как будет развиваться концепция цифровых двойников // Цифровое строительство : отрасл. портал. — 2022. — 16 ноября. — URL: <https://digital-build.ru/budushhee-czifrovyyh-dvoynikov-v-stroitelstve> (дата обращения: 06.11.2025).
9. BIM-технологии, IT-решения в архитектуре и строительстве и цифровая поддержка жизненного цикла зданий и сооружений. Указ. соч.
10. 09.03.01 BIM-технологии в архитектуре и градостроительстве // Официальный сайт ЮФУ. — 2024. — URL: <https://www.study.sfedu.ru/bim> (дата обращения: 06.11.2025).
11. Информационное моделирование в строительстве BIM // Официальный сайт Университета Минстроя НИИСФ РААСН. — 2024. — URL: <https://www.niisf.org/obuchenie/obuchenie-bim-tim-pp/informatsionnoe-modelirovanie-v-stroitelstve> (дата обращения: 06.11.2025).
12. BIM 2.0 и цифровые двойники: как выглядят «умные» стройки в регионах // News.ru : информ. агентство. — 2025. — 22 октября. — URL: <https://news.ru/tehnologii-i-gadzhety/bim-2-0-i-cifrovye-dvoyniki-kak-vyglyadyat-umnye-strojki-v-regionah> (дата обращения: 06.11.2025).
13. Цифровые двойники в строительстве. Эффективность, проблемы и перспективы. Указ. соч.
14. Рынок труда и образования в области технологии информационного моделирования. Указ. соч.
15. Цифровые двойники — универсальный инструмент исследования процессов и технологий / Е. Степин // Приоритет 2030 : информ. портал. — 2024. — URL: <https://priority2030.mephi.ru/node/292> (дата обращения: 06.11.2025).
16. Шишова, Д. Заводы заводят цифровые двойники / Д. Шишова // Ведомости. Технологии и инновации. — 2024. — 26 ноября. — URL: <https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrb/articles/2024/11/26/1076766-zavodi-tsifrovie-dvoyniki> (дата обращения: 06.11.2025).
17. Акишев У.К., Жамалатдинова Ж. А., Алмаш Ж. С. Применение BIM- технологий в строительстве. Современное инженерное образование: вызовы и перспективы [Электронный ресурс]: Материалы III национальной научно - практической конференции. 7-8 февраля, 2024/ под ред. Натальи Николаевны Зеркиной; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». с.86-91
18. Акишев У.К., Казагачев В.Н., Кылышбаев Е.М. Перспективы и практические вызовы цифровой трансформации в инженерном образовании. [Электронный ресурс]: Материалы III национальной научно - практической конференции. 7-8 февраля, 2024/ под ред. Натальи Николаевны Зеркиной; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». с.91-98

Р. К.Салпакаева¹, Ж.Б. Тукашев², С.В.Казагачева²

ҚҰРЫЛЫС БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНДА BIM ЖӘНЕ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аннотация. Бұл мақалада құрылыс саласындағы білім беру бағдарламаларына құрылыс ақпараттық модельдеу (BIM) технологияларын және цифрлық егіздерді біріктіру перспективалары талданады. Зерттеудің мақсаты - құрылыс ақпараттық модельдеу технологияларын міндетті түрде пайдалану аясында құрылыстың цифрлық трансформациясы үшін кадрларды даярлаудың негізгі бағыттарын анықтау. BIM және цифрлық егіздер саласындағы кәсіби құзыреттіліктерді дамытудың заманауи тәсілдері қарастырылады және жетекші ресейлік университеттердің келесі буын мамандарын даярлаудағы тәжірибесі талданады. Сәтті білім беру бағдарламаларының мысалдары және құрылыстағы цифрлық технологиялардың практикалық қолданылуы келтірілген. Зерттеу нәтижелері отандық бағдарламалық жасақтаманы, жасанды интеллект әдістерін және пәнаралық интеграцияны

әзірлеуді қоса алғанда, оқытуға кешенді тәсілдің қажеттілігін көрсетеді.

Кілт сөздер: BIM технологиялары, сандық егіздер, ақпараттық модельдеу, құрылыс саласындағы білім беру, оқыту, сандық трансформация, құрылыс индустриясы, кәсіби құзыреттер.

R. K. Salpakaeva, Zh.B.Tukashev, S.V.Kazagacheva

PROSPECTS OF USING BIM AND DIGITAL TWINS IN EDUCATIONAL PROGRAMS FOR CONSTRUCTION

Abstract. The article is devoted to the analysis of the prospects for integrating information modeling technologies (BIM) and digital twins into educational programs in the construction industry. The purpose of the study is to identify key areas of personnel training for the digital transformation of construction in the context of the mandatory use of information modeling technologies. Modern approaches to the formation of professional competencies in the field of BIM and digital twins are considered, and the experience of leading Russian universities in training new generation specialists is analyzed. Examples of successful implementation of educational programs and practical application of digital technologies in construction are presented. The results of the study show the need for an integrated approach to learning, including the development of domestic software, artificial intelligence methods and interdisciplinary integration.

Keywords: BIM technologies, digital twins, information modeling, education in construction, personnel training, digital transformation, construction industry, professional competencies.

УДК 621.791

МРНТИ 67.29.65

Г.Р. Қарасаева

Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау қ., Қазақстан

E-mail: gulraushan_ruslan@mail.ru

МАГИСТРАЛДЫ МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫН САЛУДАҒЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ДӘНЕКЕРЛЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫС САПАСЫНА ӘСЕРІ

Аннотация. Бұл мақалада магистральды мұнай құбырларын салу кезінде қолданылатын автоматтандырылған дәнекерлеу технологияларының маңызы мен олардың құрылыс сапасына әсері қарастырылған. Құбыр жүйелерінің техникалық сенімділігі мен ұзақмерзімділігіне әсер ететін негізгі факторлар сипатталады. Дәнекерлеу әдістерінің ішінде доғалық, лазерлік және гибриді технологиялардың ерекшеліктері мен артықшылықтары талданады. Сонымен қатар, дәнекерлеу сапасын арттыруға бағытталған дайындау және бақылау әдістері баяндалған.

Түйін сөздер: магистральдық мұнай құбыры, автоматтандырылған дәнекерлеу, лазерлік технология, доғалық дәнекерлеу, сапа бақылауы, құрылыс сенімділігі.

Магистральдық мұнай құбырлары – жоғары кернеу мен қысымға төтеп беретін күрделі инженерлік жүйелердің бірі. Қызмет ету мерзімі бойында құбырлар металдың шекті беріктігі мен аққыштық шегіне жақын жүктемелерге ұшырайды, сондықтан олардың құрылыс сапасы мен дәнекерлеу қосылыстарының беріктігі шешуші рөл атқарады. Құбыр арқылы тасымалдау әдісі қазіргі таңда көмірсутектерді жеткізудің ең тиімді әрі экологиялық таза тәсілі болып саналады. Қазақстанда өндірілетін мұнайдың 90–93%-ы магистральдық құбырлар арқылы тасымалданады. Осыған байланысты дәнекерлеу жұмыстарының сапасын жетілдіру және автоматтандыру мәселесі ерекше өзектілікке ие.

Құбыр құрылысының сапасы дәнекерленген қосылыстардың беріктігіне және

герметикалығына тікелей байланысты. Алғашқы кезде құбырлар бұрандалы муфталар арқылы жалғанған, алайда үлкен диаметрлі және жоғары қысымды магистральдар үшін дәнекерлеу әдісі тиімдірек болып шықты. Дәнекерлеудің негізгі мақсаты – қосылыстардың тығыздығын, механикалық беріктігін және ұзақмерзімділігін қамтамасыз ету [1].

Қазіргі уақытта магистральдық құбырларды салуда ең кең тараған әдіс – **доғалық дәнекерлеу**. Бұл тәсіл электр доғасының әсерінен металды балқытып, қосылу аймағында біртұтас тігіс қалыптастырады. Автоматтандырылған **су астында доғалық дәнекерлеу** диаметрі 219–1420 мм құбырларда тиімді қолданылады және барлық дәнекерленген қосылыстардың 60%-дан астамын қамтиды. Қиын қолжетімді жерлерде **қолмен доғалық дәнекерлеу** әдісі пайдаланылады, ал өнімділікті арттыру үшін **механикаландырылған дәнекерлеу** енгізілуде. Бұл әдіс дәнекерлеу жылдамдығын 30–60 см/мин дейін арттыруға мүмкіндік береді (қолмен дәнекерлеу кезінде 10–20 см/мин). Соңғы жылдары дәнекерлеу процестерін автоматтандыру бағытында **лазерлік дәнекерлеу** әдісі кеңінен зерттелуде. Бұл технология жоғары дәлдік пен аз өтулер саны арқылы сапалы тігіс алуға мүмкіндік береді [2]. Дегенмен, лазерлік әдістің кемшілігі — дәнекерлеу жиегінің жоғары дәлдікпен дайындалуын талап етуі. Осы мәселені шешу үшін **гибридті лазерлі-доғалық дәнекерлеу** қолданылады, ол лазер мен доғаның бірлескен әсерін пайдалана отырып, металл балку аймағын тиімді басқарады. Нәтижесінде тігістің құрылымы ұсақ түйіршікті сипатқа ие болып, дәнекерлеу пішінінің коэффициенті 0,87 шамасында болады. Мұндай әдіс ақаулардың (кесулер, саңылаулар, тігіс салбырауы) пайда болуын азайтады. Құбырлардың құрамы мен мақсаты, пайдалану параметрлері, секция санаттары, дәнекерленген қосылыстарға қойылатын талаптар құрылыс кодексімен және магистральдық және далалық құбырларды жобалау және салу ережелерімен анықталады және жобалық құжаттамада көрсетілуі керек.

Осы нұсқаулық мұнай құбырларын дәнекерлеуді келесі әдістер мен технологиялық нұсқаларды пайдалана отырып реттейді:

- Қапталған электродтармен қолмен доғалық дәнекерлеу;
- Тұтас сыммен көмірқышқылды ортада жартылай автоматты дәнекерлеу;
- Өздігінен қорғалған флюсті сыммен жартылай автоматты дәнекерлеу;
- Автоматты доғалық дәнекерлеу;
- M220 Mod (M300) дәнекерлеу бастарын пайдаланып тұтас сыммен автоматты газдан қорғалған дәнекерлеу (STT әдісі - түбірлік өту үшін);
- M220 Mod (M300) дәнекерлеу бастарын пайдалана отырып, ағынды сыммен автоматты газдан қорғалған дәнекерлеу [3];

Автоматты дәнекерлеу - дәнекерлеу сымын беру және дәнекерлеу басының қозғалысы автоматты түрде жүзеге асырылатын дәнекерлеу процесі; оператор дәнекерлеу параметрлерін орнатады, бақылайды және реттейді.

Құбырларды салу кезінде дәнекерлеу бүкіл жүйенің сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін анықтайтын негізгі кезең болып табылады. Дәнекерлеудің заманауи әдістерін және құбырларды дайындау технологияларын қолдану монтаждау жұмыстарын оңтайландырады, шығындарды азайтады және пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Дәнекерлеудің заманауи әдістері, мысалы, автоматты су астында дәнекерлеу, қолмен доғалық дәнекерлеу, механикаландырылған флюспен дәнекерлеу әр түрлі мақсаттағы құбырларды салуда таптырмас қажеттілікке айналуға [4]. Дәнекерлеу алдында құбырларды мұқият дайындау, оның ішінде бетті туралау және тазалау дәнекерлеудің жоғары сапасын қамтамасыз етеді. Дәнекерлеу саласындағы инновациялар ілгерілеуге мүмкіндік береді, құбыр құрылысын тезірек және сенімдірек етеді, бұл әсіресе ресурстарды тасымалдау үшін жоғары сапалы инфрақұрылымға қажеттілікті ескере отырып маңызды.

Әр түрлі қалыңдықтағы құбырлар мен қабаттасатын қосылыстарды дәнекерлеу технологиясын бекіту үшін ұзындығы бірдей құбыр диаметрінен кем емес ұқсас құбырлардың катушкаларын қолдануға рұқсат етіледі, ал айналмалы дәнекерленген қосылыстарды жөндеу технологиясын бекіту үшін ұзындығы 250 мм кем емес ұқсас құбырлардың катушкаларын пайдалануға рұқсат етіледі. Экономикалық немесе техникалық себептер бойынша үлгілерді

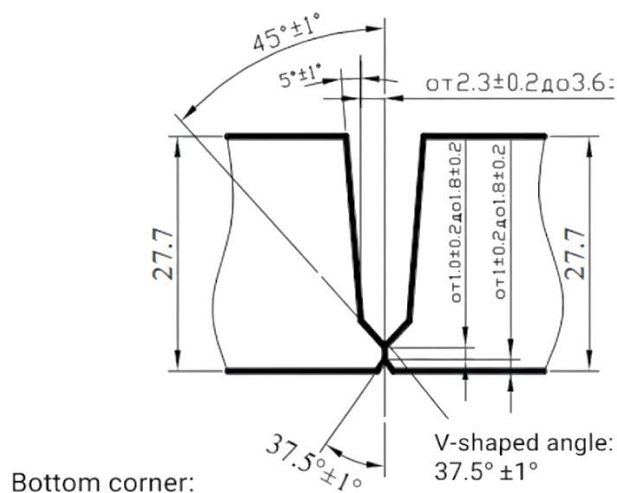
кесу және механикалық сынау мүмкін болмаған жағдайда, «клапан+құбыр» және «құбыр құрамдас бөлігі+құбыр» қосылыстарын дәнекерлеу технологиясын сертификаттау үш кезеңде жүргізілуі мүмкін [5]:

Бірінші кезең технологиялық кестелерді, дәнекерленген бұйымдарға сертификаттарды (төлқұжаттарды), құбырлардағы ұқсас технологияларды сертификаттау нәтижелерін (тиісті өлшемдер мен беріктік кластары) және дәнекерлеушілердің қабылдау қосылыстарын орындайтын нәтижелерін қарайтын аттестаттау комиссиясын қамтиды. Осы бірінші кезеңнің нәтижелері бойынша дәнекерлеу процесінің нұсқасын таңдап, электр дәнекерлеушілердің кандидатураларын бекіту керек. Қабылдау түйіспесін дәнекерлеу алдында сәйкес өлшемдегі құбыр катушкаларының 1-2 тәжірибелік түйіспелерін орындау ұсынылады.

Екінші кезең – құрамдас материалдардың үлгілерін және өшіру клапандарын қолдану арқылы бастапқы сертификаттау.

- Операциялық процесс диаграммасы;
- механикалық сынақ есептері;
- физикалық әдістерді пайдалана отырып, бұзылмайтын бақылау есебі;
- дәнекерленген тігістерді визуалды тексеру актісі;
- Екі жақты автоматты су асты доғалық дәнекерлеудің макросекцияларын пайдалана отырып, дәнекерлеудің геометриялық параметрлерін бағалау туралы есеп;
- Процесс нұсқауларында талап етілсе, басқа сынақ түрлерінің нәтижелері [6].

Үшінші кезең – бекітілген технологиялық схемаға сәйкес дәнекерленген бірінші коммерциялық қосылыс бойынша әрбір мердігер жүргізетін технологияны өндірістік сертификаттау. Технологияны қабылдау физикалық әдістерді қолдану арқылы визуалды және бұзылмайтын бақылау нәтижелері бойынша анықталады.



1-сурет. Құбыр жиектерін дәнекерлеуге дайындау.

Құбырлар CRC-Evans маркалы ішкі пневматикалық центрлеуші құрылғысы көмегімен құрастырылады. Құрастыру процесі желімдік дәнекерлеусіз жүзеге асырылады. Құрастыру кезінде біріктірілетін құбырлардың зауыттық дәнекерлеу тігістері арасындағы арақашықтық кемінде 100 мм (ұсынылатын мәні — 250 мм) болуы тиіс. Зауыттық дәнекерлеу қосылыстары құбыр периметрінің жоғарғы жартысында орналасуы қажет. Тік түйіспелі қосылыс бос орындарсыз жиналады. Жиналған қосылыста жергілікті саңылауларға рұқсат етіледі, бірақ олардың мөлшері 0,5 мм-ден аспауы, ал ұзындығы 100 мм-ден аспайтын учаскелерде ғана болуы керек [7]. Одан кейін дәнекерлеуге дайындалған құбыр қосылысының жиектерінің ығысуын тексеру қажет. Жиектердің ығысуы буын периметрі бойынша біркелкі бөлінуі тиіс. Рұқсат етілген сыртқы жиектің максималды ығысуы — 2,0 мм, ал жалпы ұзындығы 743 мм-

ден аспайтын учаскелерде 3,0 мм-ге дейінгі жергілікті ығысуларға жол беріледі. Саңылаулар мен жиек ығысуларын түзету кезінде соққы әсерін тигізетін құралдарды пайдалануға тыйым салынады.

Құбырларды дәнекерлеуге дейінгі дайындық кезеңі де шешуші маңызға ие.

Құбыр шеттері мен ішкі беттері мұқият тазартылып, тереңдігі 0,4 мм-ден асатын сыртқы және 0,2 мм-ден асатын ішкі ақаулар жойылады;

Қабырға қалыңдығы 26,7 мм-ден төмен болмауы тиіс;

Ақаулы аймақтар механикаландырылған газ кескіштермен кесіледі және жиектер СПК машиналарымен өңделеді;

Дәнекерлеу алдында құбырлар ультрадыбыстық сынақтан өткізіледі. Деламинация анықталған жағдайда, құбыр шеттері 300 мм қашықтықта қайта кесіледі [12].

Бет дайындығы кезінде құбыр шеттері мен көрші аймақтар ені 15 мм-ге дейін таза металға дейін тазартылады. Бұл дәнекерлеу сапасын арттырады және май қалдықтарының әсерін азайтады. Құбырдың зақымдалған бөлігін дәнекерлеу арқылы түзетуге тыйым салынады.

Автоматтандырылған дәнекерлеу жүйелерін енгізу құрылыс сапасына тікелей әсер етеді:

адам факторын азайтады;

дәнекерлеу тігісінің геометриялық дәлдігін арттырады;

жылу әсерін оңтайландырады және ішкі кернеуді төмендетеді;

қосылыстардың беріктігі мен герметикалығын арттырады.

Сонымен қатар, автоматты процестер дәнекерлеу өнімділігін арттырып, сапаны тұрақты деңгейде ұстап тұруға мүмкіндік береді. Бұл магистральдық құбырлардың сенімділігін арттырып, апаттық жағдайлардың алдын алады.

Қазіргі құрылыс саласында магистральдық құбырлар — өндірістік және тұрғын нысандарды жылу, су және газбен қамтамасыз етудің негізгі элементтерінің бірі болып табылады. Бұл құбырлардың металл конструкциялары ретінде өнімділігі мен сенімділігін арттыру — құрылыс объектілерінің қауіпсіз және үздіксіз жұмысын қамтамасыз етудің маңызды шарты. Магистральдық құбырларды дәнекерлеу сапасын қамтамасыз ету құрылыс-монтаж жұмыстарының ең жауапты және күрделі кезеңдерінің бірі болып саналады. Жалпы зерттеу нәтижелері көрсеткендей, дәнекерлеу өнімділігін едәуір арттыру механикаландырылған және автоматтандырылған дәнекерлеу әдістерін енгізу арқылы мүмкін болады. Бұл ретте доғаның тұрақтылығын және пісірілетін қосылыстың сапасын бақылау негізгі факторлардың бірі болып табылады. Импульстік доғаны басқару технологиясын пайдалану дәнекерлеу процесінің тиімділігін арттырудың заманауи бағыты ретінде қарастырылады. Алайда, бұл әдістердің құрылыс өндірісінде кеңінен қолданылуына жоғары құнды энергия көздері кедергі келтіреді. Осыған байланысты, құрылыс саласында қолдануға бейімделген, отандық, бәсекеге қабілетті дәнекерлеу жабдықтарын жасау өзекті мәселе болып табылады. Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде доғаның энергетикалық параметрлерін өзгерту арқылы көмірқышқылды ортада дәнекерлеу процесін басқару кезінде дәнекерлеу пулының және электрод металының тамшысының өзара әсері айқындалды [10]. Импульстік доғаны басқару кезінде дәнекерлеу тогының тұрақты амплитудасы мен доға кернеуінің реттелуі нәтижесінде пісіру сапасы жоғары деңгейге жетті, ал металдың беріктігі негізгі металдан 10–15% жоғары болды.

Құрылыс саласындағы практикалық маңызы — импульстік доғаны басқару технологиясын ірі диаметрлі магистральдық құбырларды автоматтандырылған орбиталық дәнекерлеу процестерінде қолдану арқылы құрылыс-монтаж жұмыстарының сенімділігі мен өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді [11]. Ұсынылған технология стандартты қуат көздері мен импульстік генераторлар негізінде жүзеге асырылады және құрылыс нысандарында пайдаланылатын болат құбырларды дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу тігісінің біркелкілігін, металдың беріктігін және ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етеді. Осылайша, импульстік доғаны басқаруға негізделген дәнекерлеу технологиясы магистральдық құбырларды монтаждау және

құрылыс инфрақұрылымын дамыту саласында жоғары технологиялық, тиімді шешімдердің бірі болып табылады.

Магистральдық мұнай құбырларын салуда дәнекерлеу жұмыстарының сапасы бүкіл жүйенің ұзақмерзімділігі мен қауіпсіздігін айқындайды. Қазіргі заманғы автоматтандырылған және гибриді дәнекерлеу технологиялары құрылыс сапасын жаңа деңгейге көтеріп, адам факторына тәуелділікті төмендетеді. Болашақта роботтандырылған дәнекерлеу кешендерін және интеллектуалды бақылау жүйелерін енгізу арқылы мұнай-газ құбырларының құрылысын одан әрі жетілдіру көзделуде.

Әдебиеттер тізімі

1. Кузнецов Ю.В. Автоматическая и полуавтоматическая сварка в строительстве магистральных трубопроводов. — Санкт-Петербург: Профессия, 2002. — 216 с.
2. Иванов П.С. Сварочные материалы и технологии для нефтегазовых трубопроводов. — М.: Недра, 1998. — 280 с.
3. Бочкарёв Н.А. Металловедение и сварка. — М.: Высшая школа, 1995. — 408 с.
4. API 1104 — Welding of Pipelines and Related Facilities. — 27th ed. — Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2015. — 120 с.
5. Петров А.И. Автоматизация технологических процессов сварки. — М.: Энергия, 2007. — 264 с.
6. Лукичев С.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений в газонефтевой отрасли. — Екатеринбург: УралНИИ, 2010. — 196 с.
7. Zhang L., Smith R. Automated Welding Systems for Pipeline Construction. — London: Springer, 2013. — 342 p.
8. Сидоров В.Н. Качество сварки: методы оценки и управление в строительстве трубопроводов. — Омск: СибГТУ, 2011. — 152 с.
9. Диссертация: Жанбаева А.Т. Автоматтандырылған дәнекерлеу технологияларының магистральды мұнай құбырларының конструкциялық сапасына әсері. Автореф. дис. канд. техн. наук. — Алматы, 2018. — 36 б.
10. Материалы конференции: «Современные технологии сварки в нефтегазовом строительстве» (Сборник докладов). — Казань, 2016. — 248 с.
11. Международный стандарт ISO 15614 — Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. — Geneva: ISO, 2004. — 140 p.
12. Назаров Б.Ж., Каримов Д.Қ. Құбырларды дәнекерлеу технологиялары (оқулық). — Алматы: Қазақ университеті, 2014. — 220 б.

Г.Р. Қарасаева

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕЗЮМЕ. В данной статье рассматривается значение автоматизированных технологий сварки, применяемых при строительстве магистральных нефтепроводов, и их влияние на качество строительства. Описаны основные факторы, влияющие на техническую надежность и долговечность трубопроводных систем. Проанализированы особенности и преимущества дуговых, лазерных и гибридных методов сварки. Кроме того, изложены методы подготовки и контроля, направленные на повышение качества сварных соединений.

G. Karassayeva

AUTOMATED WELDING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF MAIN OIL PIPELINES AND THEIR IMPACT ON CONSTRUCTION QUALITY

RESUME. This article examines the significance of automated welding technologies used in the construction of main oil pipelines and their impact on construction quality. The main factors affecting the technical reliability and durability of pipeline systems are described. The features and advantages of arc, laser, and hybrid welding methods are analyzed. In addition, preparation and inspection methods aimed at improving the quality of welded joints are presented.

ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МРНТИ 50.49.37

Г. Д. Бәзіл, А. Д. Таупыхов, М.М. Өтеғали

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті

ҒИМАРАТТЫҢ ЖЕЛДЕТУ ЖҮЙЕСІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл жұмыстың мақсаты – ғимарат ішіндегі нақты уақыттағы адамдар санына байланысты бейімделетін интеллектуалды желдету жүйесін әзірлеу. Жүйе Face ID технологиясы арқылы тіркелген адамдар саны негізінде желдету қарқындылығын автоматты түрде реттеу арқылы энергияны үнемдеуді және микроклиматты тұрақты деңгейде ұстауды көздейді.

Методология: Зерттеу барысында 11 қабатты бизнес-орталық мысалында желдету жүйесінің құрылымы мен жұмыс режимі модельденді. Адамдар саны Face ID жүйесі арқылы тіркелді. Ұсынылған тәсіл ғимараттағы адамдар саны мен беру және шығару арналары арасындағы температура айырмасын ескере отырып, fan coil жүйесінің жұмысын автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді. Басқару моделі MATLAB ортасындағы Fuzzy Logic Designer көмегімен құрастырылды, ал жүйе Simulink платформасында симуляцияланды. Сонымен қатар, Regression Learner көмегімен машиналық оқыту моделі жасалып, болашақтағы адамдар санын болжау арқылы басқару алгоритмінің бейімділігін арттыру көзделді. Зерттеу нәтижесінде fuzzy logic пен машиналық оқытуды біріктіру ғимараттағы микроклиматты тиімді және энергия үнемді тәсілмен реттеуге мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Негізгі нәтижелер: Құрастырылған интеллектуалды басқару жүйесі fuzzy logic әдісіне негізделіп, адамдар саны мен температура айырмасын кіріс параметрлері ретінде қабылдайды. Simulink ортасында жасалған модель арқылы жүйенің нақты уақыт режимінде жұмыс істеу қабілеті тексерілді. Модельде fan coil жүйесінің қуаты адамдар саны аз болғанда төмен деңгейде, ал адамдар саны көп болғанда және температура айырмасы жоғары болғанда автоматты түрде жоғары деңгейге жететіні көрсетілді. Бұл жүйе стандартты желдету жүйелерінен айырмашылығы – ол әрдайым пайдаланушы саны мен микроклимат параметрлеріне бейімделіп отырады.

Сонымен қатар, Regression Learner құралында машиналық оқыту әдісі қолданылып, адамдар санын уақыт, температура және апта күніне байланысты болжауға мүмкіндік беретін модель жасалды. Decision Tree моделі ең тиімді нәтиже көрсетті ($R^2 \approx 0,93$, $RMSE \approx 3,7$), бұл алынған модельдің болжам дәлдігінің жоғары екенін дәлелдейді. Бұл модель Simulink ортасына енгізіліп, fuzzy logic жүйесіне people_count параметрін алдын ала беру арқылы басқару процесін болжауға және алдын ала әрекет етуге мүмкіндік берді.

Негізгі тұжырымдар: Жүргізілген зерттеу нәтижесінде fuzzy logic және машиналық оқыту әдістерін біріктіру арқылы ғимарат ішіндегі желдету жүйесін интеллектуалды түрде басқаруға болатындығы дәлелденді. Айқын емес жүйе fan coil қуатын адамдар саны мен температура айырмасына сәйкес бейімдеп басқаруға мүмкіндік беріп, жүйенің икемділігін

және сенімділігін арттырды.

Машиналық оқыту әдісі арқылы адамдар санының уақытқа тәуелді өзгерісін алдын ала болжау жүзеге асырылып, fuzzy logic жүйесіне алдын ала ақпарат беру арқылы басқару алгоритмін проактивті етуге жағдай жасалды. Бұл тәсіл жүйенің энергия тиімділігін жоғарылатып, артық шығындарды азайтуға септігін тигізеді.

Ұсынылған басқару жүйесі микроклимат параметрлерін нақты уақыт режимінде ескеріп, адамның қатысуынсыз автоматты түрде әрекет ететін бейімделгіш басқару құрылымын қалыптастырды. Мұндай жүйелерді болашақта тұрғын үйлерде, кеңселерде, оқу мекемелерінде және өзге де көпшілік ғимараттарда қолдану арқылы жайлы ортаны қамтамасыз етуге және энергия үнемдеуге болады.

Кілт сөздер: интеллектуалды басқару, айқын емес жүйе, fuzzy logic, машиналық оқыту, желдету жүйесі, fan coil, температура айырмасы, адамдар саны, MATLAB, Simulink, Regression Learner, проактивті басқару, микроклимат

Кіріспе:

Қазіргі таңда ғимарат ішіндегі микроклиматты тиімді басқару мәселесі урбанизация мен энергия ресурстарын үнемдеу талаптарының артуымен тығыз байланысты. Кеңсе, тұрғын үй немесе оқу ғимараты болсын – барлық жағдайда ішкі ауа сапасының стандарт талаптарына сәйкес болуы, бір жағынан, адамның жайлылығын қамтамасыз етсе, екінші жағынан, энергия тұтыну тиімділігімен де өлшенеді. Бұл талаптар автоматтандырылған желдету жүйелерінің рөлін күрделендіре түседі, әсіресе пайдаланушы саны мен климаттық жағдайлар тұрақсыз болған жағдайда.

Дәстүрлі басқару жүйелері көбінесе нақты шарттарға қатаң тәуелді және бейімделгіштік қасиеті төмен болады. Осындай жүйелер белгілі бір тұрақты параметрлерге сүйеніп жұмыс істегендіктен, нақты уақыттағы өзгерістерге жауап беру мүмкіндігі шектеулі болады. Осыған байланысты интеллектуалды басқару тәсілдері, соның ішінде айқын емес логикаға (fuzzy logic) негізделген жүйелер барған сайын көбірек қолданылуда. Fuzzy logic көмегімен басқару жүйесі адамның ойлау логикасын модельдеу арқылы нақты емес, бұлдыр, толық анықталмаған жағдайларда да тиімді шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, соңғы жылдары машиналық оқыту (machine learning) әдістерінің дамуы желдету жүйелеріне алдын ала болжам жасау механизмін енгізуге мүмкіндік берді. Мұндай тәсілдер желдету жүйесінің жұмысын тек ағымдағы жағдайларға ғана емес, болашақта болуы ықтимал жүктемелерге қарай да бейімдеуге жол ашады. Бұл проактивті басқару қағидатына негізделіп, жүйенің тиімділігін әрі қолдану сенімділігін арттырады.

Осы мақалада fuzzy logic пен машиналық оқыту әдістерін біріктіру арқылы 11 қабатты ғимараттағы fan coil жүйесін басқарудың интеллектуалды моделі ұсынылады. Модель MATLAB және Simulink платформаларында құрастырылып, нақты уақыттағы микроклимат параметрлері мен болжамдалған жүктемелерге сәйкес бейімделу қабілеті зерттелді.

Методология

Бұл зерттеуде ғимараттағы желдету жүйесін интеллектуалды басқарудың екі негізгі бағыты біріктірілді: fuzzy logic негізіндегі бейімделетін басқару және машиналық оқыту көмегімен болжауға негізделген алдын ала басқару. Басқарылатын құрылғы ретінде fan coil жүйесі таңдалды. Ол ішкі температураны реттеу мақсатында қолданылатын желдеткішті және клапанды біріктіретін құрылым болып табылады. Жүйе MATLAB ортасында fuzzy logic құралымен жобаланып, Simulink платформасында толық модельденді. Сонымен қатар, машиналық оқыту моделі Regression Learner құралында құрастырылып, fuzzy logic жүйесіне people_count айнымалысын алдын ала беру үшін интеграцияланды.

Жүйенің жұмысы келесі қағидаға негізделеді: әр қабаттағы немесе бүкіл ғимарат ішіндегі адамдар саны және ауа арналары арасындағы температура айырмасы есепке алынып, fan coil құрылғысының қуаты автоматты түрде реттеліп отырады. Fuzzy logic жүйесіне екі кіріс

параметрі берілді: адамдар саны (0-ден 60-қа дейін) және температура айырмасы (-5°C пен $+10^{\circ}\text{C}$ аралығы). Бұл параметрлер үшін лингвистикалық мәндер анықталды: адамдар саны үшін — тым аз, аз, орта, көп, өте көп; ал температура үшін — суық, ыңғайлы, жылы, ыстық. Шығыс айнымалы — fan coil желдеткішінің қуаты пайызбен көрсетіледі және оның мәндері: өте төмен, төмен, орташа, жоғары және өте жоғары деп жіктелді.

Адамдар саны мен температура айырмасын ескере отырып fan coil қуатын басқару үшін fuzzy logic жүйесінде лингвистикалық айнымалылар мен тиісті ережелер жиынтығы құрастырылды. Бұл ережелер жүйесі Кесте 1-де көрсетілген.

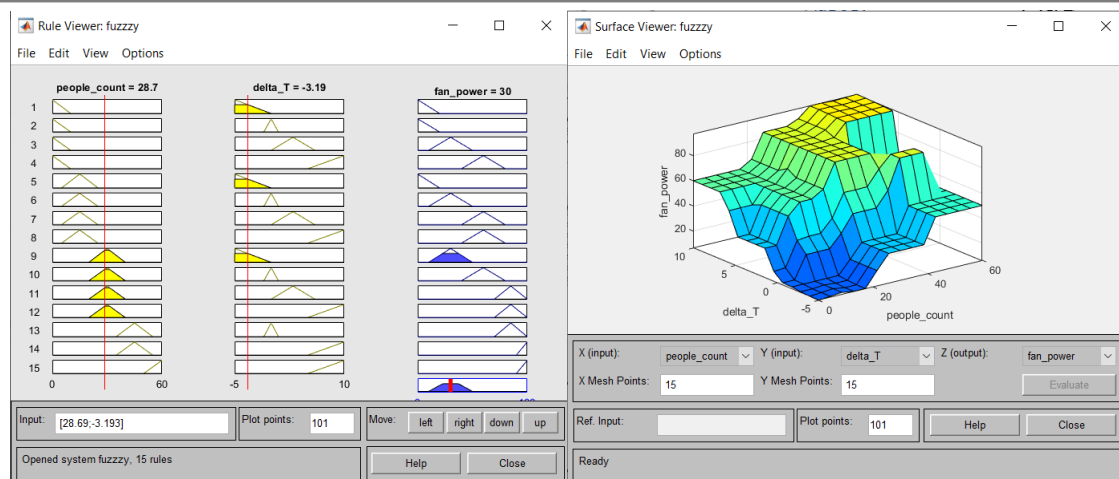
1 кесте – Fuzzy logic жүйесіне арналған негізгі басқару ережелері

№	Ереже	Адам саны	Температура айырмасы	Қуат
1		тым аз	суық	өте төмен
2		тым аз	ыңғайлы	төмен
3		тым аз	ыстық	орташа
4		Аз	суық	төмен
5		Аз	ыстық	орташа
6		Орта	суық	орташа
7		Орта	жылы	орташа
8		орта	ыстық	жоғары
9		Көп	жылы	жоғары

1 кесте – Fuzzy logic жүйесіне арналған негізгі басқару ережелері

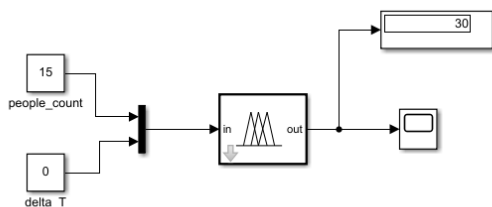
10	Көп	ыстық	өте жоғары
11	өте көп	ыстық	өте жоғары
12	өте көп	Жылы	жоғары
13	орта	Ыңғайлы	орташа
14	аз	ыңғайлы	төмен
15	өте көп	суық	орташа

Fuzzy Logic Designer ортасында осы үш айнымалы негізінде айқын емес басқару моделі жасалды. Әр комбинация үшін жеке ереже жазылды. Мысалы, егер адамдар саны тым аз болса және температура айырмасы төмен болса, желдеткіштің қуаты өте төмен болуы тиіс. Ал егер адамдар саны өте көп және температура ыстық болса, fan coil толық қуатта жұмыс істеуі қажет. Барлығы 15-тен астам мағыналы және физикалық тұрғыдан түсінікті fuzzy logic ережелері енгізілді. Surface Viewer және Rule Viewer құралдары көмегімен жүйенің әрекеті визуалды түрде тексерілді және әртүрлі комбинацияларға берілетін реакциялар бақыланды. Ал Surface Viewer арқылы екі кірістің fan coil қуатына әсері үшөлшемді график түрінде бейнеленіп, fuzzy басқарудың бейімделгіш сипаты айқындалды (Сурет 1).



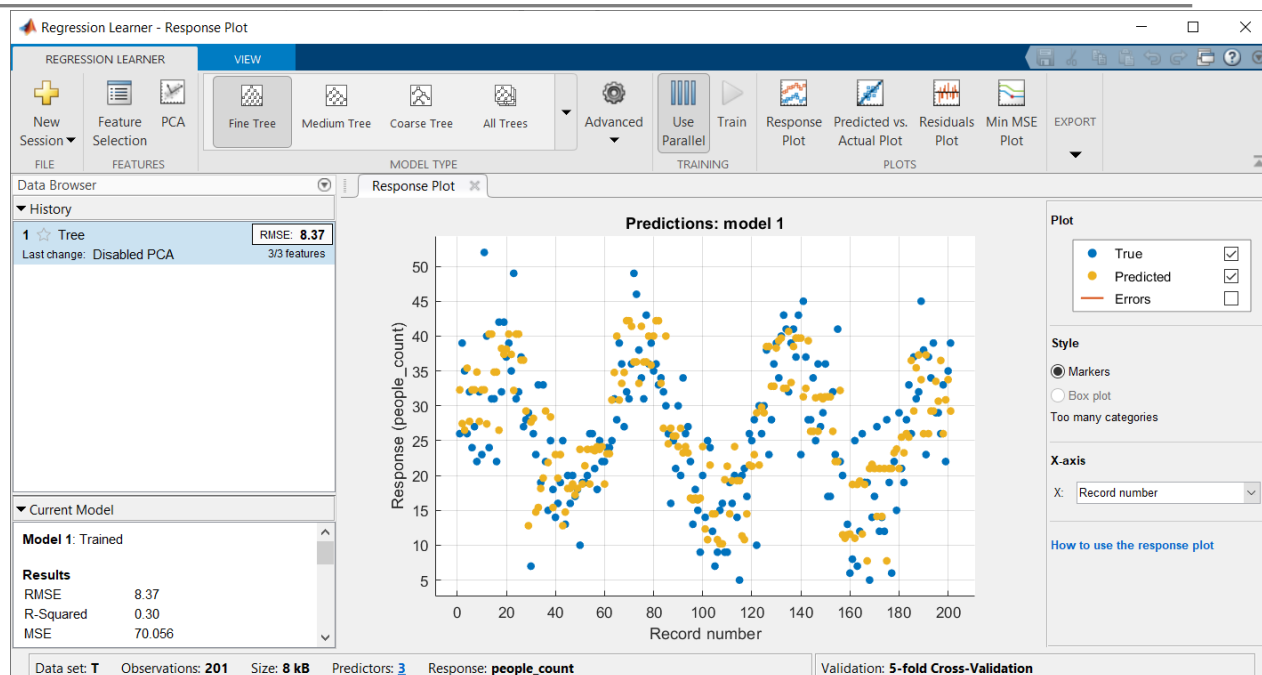
Сурет 1 – Fuzzy logic негізіндегі fan coil қуатын басқару жүйесінің визуализациясы: Rule Viewer және Surface Viewer құралдарындағы көрініс.

Simulink ортасында fuzzy logic жүйесі толық модельденіп, қажетті блоктар байланыстырылды. Кіріс ретінде Constant, Signal Builder және From Workspace блоктары қолданылды. Шығыс сигнал Scope және Display блоктары арқылы көрсетілді. Сонымен қатар, машиналық оқыту моделін қосу үшін MATLAB Function блогы енгізілді. Бұл блокта алдын ала өңделген `trainedModel.predictFcn()` функциясы арқылы уақыт пен температура негізінде `people_count` болжанатын болды. Осы арқылы fuzzy logic жүйесі нақты уақытта емес, болашақтағы күтілетін жағдайға негізделіп әрекет етуге бейімделді. Нәтиже сандық дисплей және графикалық блоктар арқылы көрсетіледі (Сурет 2).



Сурет 2 – Simulink ортасындағы fuzzy logic негізіндегі fan coil қуатын басқару жүйесінің модельдік сызбасы.

Машиналық оқыту бөлігінде Regression Learner қосымшасы қолданылды. Синтетикалық деректер жиыны құрылып, онда тәуелсіз айнымалылар ретінде уақыт, апта күні және температура қолданылды, ал тәуелді айнымалы ретінде адамдар саны алынды. Decision Tree Regressor моделі ең жақсы нәтижені көрсетті ($R^2 \approx 0,93$, $RMSE \approx 3,7$), және ол әрі қарай Simulink моделіне экспортталды. Бұл модель fan coil құрылғысының қуатын алдын ала тиімді басқаруға мүмкіндік берді. Бұл көрсеткіштер модельдің дәлдігі шектеулі екенін көрсетсе де, болжау мүмкіндігі жалпы үрдісті бақылауға мүмкіндік береді (Сурет 3).



Сурет 3 – Regression Learner ортасында people_count айнымалысын болжау нәтижесі (Fine Tree моделі негізінде)

Нәтижелер

Жобалау нәтижесінде fuzzy logic жүйесі арқылы желдету процесін адамдар саны мен температура айырмасына қарай бейімдеп басқаруға болатындығы дәлелденді. Simulink моделінде fan coil жүйесінің жұмысы нақты кіріс параметрлеріне байланысты өзгеріп отырды және бұл басқару алгоритмінің тиімділігін көрсетті.

Fuzzy жүйеге енгізілген 15 логикалық ереже негізінде адамдар саны артқанда немесе температура айырмасы өскенде, желдеткіштің қуаты артып отыратыны байқалды. Бұл желдету жүйесінің нақты жағдайға бейімделуіне мүмкіндік береді.

Қосымша ретінде машиналық оқыту арқылы адамдар санын болжау моделі жасалды. Regression Learner құралында алынған нәтижелер ($R^2 \approx 0,93$, $RMSE \approx 3,7$) болжамдық жүйені fuzzy logic моделіне интеграциялауға болатынын көрсетті.

Жалпы алғанда, fuzzy logic пен машиналық оқытуды біріктіре отырып, желдету жүйесін тиімді және икемді басқарудың бастапқы нұсқасы құрылды.

Талқылау

Бұл зерттеу барысында fuzzy logic негізіндегі басқару жүйесінің желдету процестерін бейімдеп реттеуде тиімді құрал бола алатыны анықталды. Жүйе адамдар саны мен температура айырмасына сезімтал түрде жауап бере отырып, fan coil құрылғысының жұмысын нақты реттей алды. Мұндай тәсіл ғимараттағы микроклиматты сақтау және энергия тұтынуды оңтайландыру тұрғысынан өте тиімді.

Алынған fuzzy logic моделі нақты жағдайда қолдануға ыңғайлы, себебі ол күрделі математикалық есептеулерді қажет етпей, логикалық ережелер негізінде жұмыс істейді. Сонымен қатар, бұл жүйе қолданушы үшін түсінікті және икемді.

Машиналық оқыту модулін қосу арқылы басқару жүйесін алдын ала бейімдеу мүмкіндігі қарастырылды. Regression Learner құралында құрылған модель негізінде жүйе болашақтағы адамдар санын болжай алды. Бұл проактивті басқару элементі fuzzy logic моделін толықтырып, оны одан әрі жетілдіруге жол ашады.

Алайда, машиналық оқыту моделі жоғары дәлдік көрсеткенімен, нақты деректердің сапасы мен көлемі артса, нәтиже де жақсара түседі. Сондықтан болашақ зерттеулерде нақты ғимараттардан алынған деректерді пайдалану ұсынылады.

Жалпы, fuzzy logic пен машиналық оқытудың бірігуі интеллектуалды басқару жүйесін

құруда жаңа мүмкіндіктер ұсынады және бұл тәсіл үлкен ғимараттар мен энергия тиімділігі жоғары нысандарда кеңінен қолдануға болады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде fuzzy logic және машиналық оқыту әдістерін біріктіре отырып, ғимарат ішіндегі желдету жүйесін интеллектуалды басқарудың тиімді моделі жасалды. Жүйе нақты уақыт режимінде адамдар саны мен температура айырмасына бейімделіп, fan coil қуатын автоматты түрде реттей алды. Бұл тәсіл микроклиматты қолайлы деңгейде сақтауға және артық энергия шығынын болдырмауға мүмкіндік береді.

Машиналық оқыту моделі арқылы адамдар санын алдын ала болжау мүмкіндігі fuzzy жүйені проактивті басқаруға кеңейтті. Нәтижесінде жүйенің икемділігі мен болжау қабілеті артып, оны нақты ғимарат жағдайларына бейімдеу мүмкіндігі туындады.

Ұсынылған жүйе тәжірибелік симуляция арқылы сәтті тексерілді және болашақта кеңсе, тұрғын үй немесе оқу ғимараттары сияқты нысандарда нақты қолдануға бейімдеуге болады. Сонымен қатар, модельді нақты деректермен жетілдіру және басқа да микроклимат параметрлерін (мысалы, CO₂, ылғалдылық) қосу арқылы басқару жүйесін одан әрі жақсарту ұсынылады.

Әдебиеттер

- [1] Qolomany, B., Ma, L., & Anwar, A. (2020). Leveraging Machine Learning and IoT for Intelligent HVAC Control Systems: A Review. *Sensors*, 20(12), 3323. <https://doi.org/10.3390/s20123323>
- [2] Jain, A., & Choudhary, M. (2021). Fuzzy Logic-Based Energy Efficient HVAC System: A Review and Case Study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100954. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100954>
- [3] Almomani, A., Alzoubi, H. H., & Jaradat, M. A. K. (2022). An intelligent fuzzy logic-based HVAC system for energy efficiency in smart buildings. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(4), 3670–3679. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp3670-3679>
- [4] Wang, H., Zhang, Y., & Deng, K. (2023). A hybrid fuzzy–ML model for predictive control of indoor air quality and energy saving. *Journal of Building Engineering*, 64, 105786. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105786>
- [5] Liu, T., & Peng, J. (2024). Proactive Ventilation Control Using Machine Learning and Fuzzy Systems in Smart Buildings. *Energy and Buildings*, 294, 112953. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112953>

Г. Д. Базил, А. Д. Таупыхов, М.М.Отгали

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЗДАНИЯ

Аннотация. Целью данной работы является разработка интеллектуальной адаптивной системы вентиляции здания в зависимости от количества людей в режиме реального времени. Система автоматически регулирует интенсивность вентиляции на основе количества зарегистрированных людей с использованием технологии Face ID, обеспечивая энергосбережение и поддержание стабильного микроклимата.

Методология: В ходе исследования была смоделирована структура и режим работы системы вентиляции на примере 11-этажного бизнес-центра. Количество людей определялось с помощью системы Face ID. Предлагаемый подход позволяет автоматически регулировать работу системы fan coil, учитывая количество людей в здании и разницу температур между приточным и вытяжным воздуховодами. Управляющая модель была разработана в среде Fuzzy Logic Designer MATLAB, а система смоделирована в платформе Simulink. Дополнительно с использованием Regression Learner была построена модель машинного обучения, предназначенная для прогнозирования количества

людей, что повышает адаптивность алгоритма управления. Результаты исследования показали, что интеграция нечеткой логики и машинного обучения позволяет эффективно и энергоэкономично регулировать микроклимат в здании.

Основные результаты: Разработанная интеллектуальная система управления основана на методе нечеткой логики и принимает в качестве входных параметров количество людей и разницу температур. С помощью модели, построенной в Simulink, была проверена способность системы работать в режиме реального времени. В модели показано, что мощность системы fan coil автоматически увеличивается при большом количестве людей и высокой температурной разнице, и уменьшается при низкой нагрузке. В отличие от стандартных систем вентиляции, данная система адаптируется под количество пользователей и параметры микроклимата.

Также была построена модель машинного обучения в инструменте Regression Learner для прогнозирования количества людей на основе времени, температуры и дня недели. Модель дерева решений показала наилучший результат ($R^2 \approx 0,93$, $RMSE \approx 3,7$), что свидетельствует о высокой точности прогнозов. Эта модель была интегрирована в среду Simulink и использовалась для предсказания значения people count, подаваемого на вход системы нечеткой логики, что позволило реализовать проактивное управление.

Основные выводы: Исследование доказало возможность интеллектуального управления системой вентиляции внутри здания за счёт объединения нечеткой логики и методов машинного обучения. Система нечеткой логики позволила адаптивно регулировать мощность fan coil в зависимости от количества людей и разницы температур, повышая гибкость и надёжность управления.

Прогнозирование изменения количества людей во времени с помощью машинного обучения позволило заранее подавать входные данные в систему нечеткой логики, сделав алгоритм управления проактивным. Такой подход повысил энергоэффективность системы и способствовал снижению лишних затрат.

Предложенная система управления формирует адаптивную структуру, которая учитывает параметры микроклимата в реальном времени и функционирует без участия человека. Такие системы в будущем можно внедрять в жилых домах, офисах, учебных заведениях и других общественных зданиях для обеспечения комфортной среды и энергосбережения.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, нечеткая система, fuzzy logic, машинное обучение, система вентиляции, fan coil, температурная разница, количество людей, MATLAB, Simulink, Regression Learner, проактивное управление, микроклимат.

G. D. Bazil, A. D. Taupykhov, M.M. Otegali

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT VENTILATION CONTROL SYSTEM

Abstract. The purpose of this work is to develop an intelligent adaptive ventilation system for buildings based on the number of people in real time. The system automatically regulates ventilation intensity based on the number of people registered using Face ID technology, ensuring energy savings and maintaining a stable microclimate.

Methodology: During the study, the structure and operating mode of the ventilation system were modeled using an 11-story business center as an example. The number of people was determined using the Face ID system. The proposed approach allows automatic adjustment of the fan coil system, taking into account the number of people in the building and the temperature difference between the supply and exhaust air ducts. The control model was developed in the Fuzzy Logic Designer MATLAB environment, and the system was modeled in the Simulink platform. Additionally, a machine learning model was built using Regression Learner to predict the number of people, which increases the adaptability of the control algorithm. The results of the study showed that the integration of fuzzy logic and machine learning allows for effective and energy-efficient regulation of the microclimate in the building.

Main Results: The developed intelligent control system is based on the fuzzy logic method and takes the number of people and the temperature difference as input parameters. The ability of the system to operate in real time was tested using a model built in Simulink. The model shows that the power of the fan coil system automatically increases when there are a large number of people and a high temperature difference, and decreases when the load is low. Unlike standard ventilation systems, this system adapts to the number of users

and microclimate parameters.

A machine learning model was also built in the Regression Learner tool to predict the number of people based on time, temperature, and day of the week. The decision tree model showed the best result ($R^2 \approx 0,93$, $RMSE \approx 3,7$), which indicates high prediction accuracy. This model was integrated into the Simulink environment and used to predict the value of people_count fed into the fuzzy logic system, enabling proactive control.

Key Findings: The study proved the possibility of intelligent control of the ventilation system inside the building by combining fuzzy logic and machine learning methods. The fuzzy logic system allowed for adaptive regulation of the fan coil power depending on the number of people and the temperature difference, increasing the flexibility and reliability of control.

Predicting changes in the number of people over time using machine learning made it possible to feed input data into the fuzzy logic system in advance, making the control algorithm proactive. This approach increased the energy efficiency of the system and helped reduce unnecessary costs.

The proposed control system forms an adaptive structure that takes into account microclimate parameters in real time and functions without human intervention. In the future, such systems can be implemented in residential buildings, offices, educational institutions, and other public buildings to ensure a comfortable environment and energy savings.

Keywords: intelligent control, fuzzy system, fuzzy logic, machine learning, ventilation system, fan coil, temperature difference, number of people, MATLAB, Simulink, Regression Learner, proactive control, microclimate.

МРНТИ 50.47.29

С.С.Бекмагамбетов

Научный руководитель: канд. физ. мат. наук Шабдиров Д.Н.

НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ И КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СЕПАРАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. В работе рассматривается применение ПИД-регуляторов и программируемых логических контроллеров (ПЛК) в автоматизации сепарации природного газа. Процессы разделения газа на промышленных объектах требуют поддержания стабильных параметров: давления, расхода и уровня жидкой фазы. При ручном управлении нередко возникают отклонения, приводящие к потерям газа, перерасходу энергии и аварийным ситуациям. В статье показано, как ПИД-регуляторы позволяют автоматически поддерживать технологические параметры, а контроллеры и SCADA-системы обеспечивают мониторинг и корректировку работы сепарационных установок в реальном времени. Приведены примеры использования на практике и сравнительный анализ эффективности автоматического и ручного управления.

Ключевые слова: сепарация газа, автоматизация, ПИД-регулятор, контроллер, давление, расход, уровень жидкости, SCADA-система, датчики.

Введение. При добыче и подготовке природного газа неизбежно присутствуют механические примеси, пластовая вода, конденсат и тяжелые углеводороды. Первичная сепарация необходима для защиты оборудования и обеспечения качества товарного газа, который поступает на магистральный газопровод или газоперерабатывающий завод. На объектах нефтяной и газовой отрасли Казахстана — таких как Тенгиз, Карачаганак, Кашаган — сепарационные системы работают круглосуточно и под высокой нагрузкой.

Ранее многие установки управлялись вручную, что приводило к нестабильным режимам, перепадам давления и выбросам газа через предохранительные клапаны. Сегодня широкое применение получают ПИД-регуляторы и промышленная автоматизация, позволяющие поддерживать стабильные параметры процесса.

Цель. Цель данной статьи — рассмотреть роль ПИД-регулирования в сепарации, показать преимущества автоматизации и привести пример практических решений.

Теоретические основы сепарации природного газа. Сепарация — это первая и самая важная стадия подготовки природного газа. Когда газ выходит из пласта, он никогда не бывает «чистым». Вместе с ним всегда идут капли нефти, пластовая вода, песок, ржавчина из труб и тяжёлые углеводороды. Если всё это не удалить, оборудование быстро изнашивается, клапаны забиваются, а качество газа становится непригодным для транспортировки. Проще говоря: сепаратор — это устройство, которое «отделяет лишнее» от газа.

Какие бывают сепараторы? В реальных промыслах применяют несколько типов:

- Гравитационные сепараторы — самые простые. Газ заходит в корпус, скорость потока падает, тяжёлые капли и частицы просто оседают вниз под действием силы тяжести.
- Циклонные — здесь поток закручивается, и всё тяжёлое «выбрасывается» к стенкам под действием центробежной силы. Это как когда крутишь бутылку — вода прижимается к стенкам.
- Фильтро-сепараторы — внутри стоят сетки или фильтрующие элементы, которые задерживают мельчайшие капельки и пыль.

На месторождениях часто используют сочетание нескольких методов — например, сначала гравитационный отсек, потом фильтрационные элементы. Это позволяет добиться высокого качества газа уже на первой ступени.

Какие параметры нужно контролировать? Чтобы сепаратор работал нормально, нужно следить за тремя ключевыми параметрами: Давление. Если давление резко падает или растёт, начинает нарушаться режим разделения. Слишком высокое давление — риск аварии. Слишком низкое — газ «увлекает» жидкость дальше по трубопроводу. Расход газа. Когда поток увеличивается, мелкие капли не успевают оседать и пролетают вместе с газом. Это основная причина, почему иногда «жидкость прорывает» сепаратор. Уровень жидкости. Внизу корпуса всегда собирается конденсат и вода. Если не контролировать уровень, сепаратор просто переполняется, и жидкость уходит в газовую линию. Это приводит к гидроударам, коррозии и поломке оборудования.

Почему процесс нужно автоматизировать? Раньше оператор сам регулировал клапаны и следил за уровнем. Но в реальных условиях поток газа меняется постоянно: скважина даёт разный дебит, давление скачет, температура меняется. Человек физически не успевает реагировать на такие изменения каждые секунды. Поэтому на современных объектах за процесс отвечают датчики, контроллеры и ПИД-регуляторы, которые поддерживают параметры автоматически.

К чему приводит неправильная работа сепарации?

- Попадание жидкости в газопровод
- Коррозия труб
- Повреждение компрессоров
- Аварийные остановки
- Большие финансовые потери

Поэтому сепарация — это не просто «коробка, где что-то отделяется». Это важнейший элемент безопасности и надёжности всей газовой системы.

ПИД-регулятор и принцип его работы. Чтобы сепаратор работал стабильно, нужно постоянно удерживать параметры в нужных пределах: давление, расход, уровень жидкости. Но в реальности поток газа никогда не бывает «ровным» — он всё время меняется. Если бы оператор вручную регулировал клапаны, ему пришлось бы стоять у пульта круглые сутки и крутить задвижки каждые несколько секунд. Поэтому за корректировку отвечает ПИД-

регулятор.

Название — это три части, каждая из них выполняет свою работу: Р — пропорциональная часть. Сразу реагирует на отклонение. Чем больше ошибка, тем сильнее воздействие. Если давление резко выросло — клапан быстро открывается. I — интегральная часть. Она “помнит” ошибку во времени и устраняет мелкие, но постоянные отклонения. Например, если давление всё время немного выше нормы, I-компонента постепенно корректирует клапан так, чтобы параметр вернулся точно к заданию. D — дифференциальная часть. Реагирует на скорость изменений. Если давление начало расти слишком быстро — D-компонента заранее замедляет процесс, чтобы не было скачков и перерегулирования. В сумме это даёт плавную, точную и стабильную работу без резких прыжков.

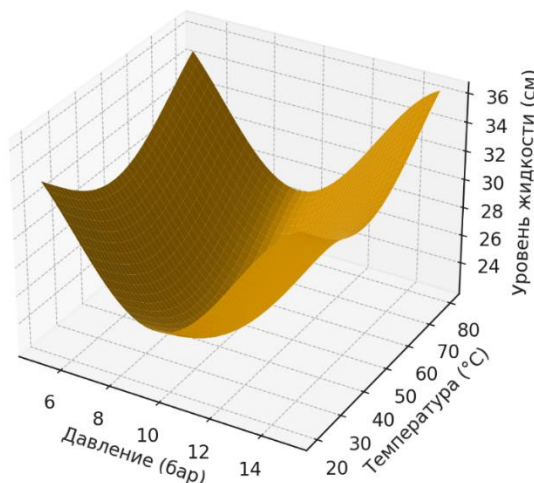
Как это работает на газовом сепараторе? Сепаратор получает газ под давлением. Давление растёт, клапан должен открыться. Падает, клапан закрывается. ПИД-регулятор делает это автоматически, реагируя быстрее и точнее, чем человек. Задача оператора — только задать нужный режим и наблюдать по SCADA, всё остальное выполняет автоматика.

На Тенгизе при изменении дебита скважины давление в сепараторе может подняться всего за несколько секунд. Без автоматики газ пошёл бы в предохранительные клапаны, и произошёл бы аварийный сброс. С ПИД-регулятором система работает так:

1. Датчик видит рост давления.
2. ПЛК рассчитывает отклонение.
3. ПИД-регулятор открывает клапан ровно настолько, насколько нужно.
4. Давление возвращается в норму.
5. Процесс повторяется автоматически.

Оператор лишь контролирует систему визуально — вмешиваться ему не требуется.

График 1. Уровень жидкости в зависимости от давления и температуры.



3D-график показывает, как уровень жидкости в сепараторе меняется в зависимости от давления и температуры. При росте этих параметров уровень постепенно увеличивается, что может привести к переполнению. График демонстрирует, что даже небольшие колебания параметров вызывают изменение уровня, поэтому использование ПИД-регулирования необходимо для поддержания стабильной и безопасной работы оборудования.

Используемые контроллеры и SCADA-системы. Чтобы автоматизация работала, одного ПИД-регулятора недостаточно — ему нужна “голова”, которая будет собирать данные, выполнять расчёты и отдавать команды оборудованию. Эту роль играют промышленные

контроллеры (ПЛК).

Какие контроллеры используются на реальных объектах? В нефтегазовой промышленности чаще всего встречаются: Siemens (S7-1200, S7-300, S7-400) – самые распространённые в Казахстане, стоят на многих объектах Тенгиза и Карачаганак. ABB (AC500) – хорошо подходят для сложных автоматизированных линий. Emerson DeltaV – часто используется на газоперерабатывающих заводах. Schneider Electric Modicon – надёжные контроллеры, много применяются в Европе и на старых объектах СНГ.

Контроллер получает информацию от датчиков: давления, расхода, уровня, температуры. Далее он рассчитывает, насколько параметр отклонился от нормы, и отправляет команду на оборудование — чаще всего на регулирующий клапан или насос.

Зачем нужна SCADA-система? SCADA — это экран, на котором оператор видит всё, что происходит на установке: давление в реальном времени, уровень жидкости, температуру, скорость потока, положение клапанов и насосов, аварийные сигналы. Если что-то выходит за пределы нормы, SCADA подаёт сигнал и может даже автоматически остановить установку, чтобы избежать аварии. Самые популярные SCADA-платформы: WinCC (Siemens), Wonderware InTouch, MasterSCADA, DeltaV Operate.

Таблица 1. Преимущества ПИД-управления по сравнению с ручным режимом

Критерий	Ручное управление	ПИД-регулятор
Стабильность давления	Зависимости от оператора	Поддержка в пределах нормы автоматически
Риск переполнения сепаратора	Высокий	Минимальный
Потери газа	Частые	Значительно снижены
Энергозатраты	Увеличенные	Оптимизированы
Аварийные ситуации	Вероятны	Предотвращаются заранее

Как показывает практика, внедрение автоматического регулирования снижает энергетические потери на 3–10%, а риск аварий уменьшается в несколько раз.

Практический пример. На сепараторе первой ступени Тенгизского месторождения необходимо поддерживать давление 6–8 бар. На входе стоят датчики давления, сигнал от которых поступает в ПЛК Siemens S7-300. Если давление растёт, ПИД-регулятор открывает регулирующий клапан на газопроводе. Если падает — клапан закрывается. Оператору не нужно вмешиваться, система работает сама. Для управления уровнем жидкости используется второй ПИД-контур: при повышении уровня открывается дренажный клапан или включается насос. Это исключает переполнение и попадание жидкости в газовую линию. Таким образом, два ПИД-регулятора работают одновременно, обеспечивая стабильность процесса.

Заключение. Применение ПИД-регуляторов и контроллеров в системах сепарации природного газа значительно повышает надежность, безопасность и экономичность работы оборудования. В отличие от ручного режима, автоматизация исключает человеческий фактор, снижает энергетические затраты, предотвращает аварии и повышает качество товарного газа. Опыт эксплуатации на реальных объектах нефтегазовой отрасли подтверждает высокую эффективность автоматического регулирования.

Список литературы

1. Bennett, S. PID Control: Analysis and Design. McGraw-Hill, 2012.
2. Ogata, K. Modern Control Engineering. Prentice Hall, 2010.
3. Tavakkolizadeh, M., Wiebesiek, S. Automation in Gas Processing: SCADA and PID Control, 33(4), 2012.
4. Siemens AG. SIMATIC S7-300. Руководство по автоматизации. – Германия, 2015.
5. Perry, R., Green, D. Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill, 2008.
6. Emerson Electric Co. DeltaV: Control Strategy and PID Tuning Guide. – США, 2017.

С.С.Бекмағамбетов

Ғылыми жетекші: физика-математика ғылымдарының кандидаты Шабдилов Д.Н.

ТАБИҒИ ГАЗДЫ СЕПАРАЦИЯЛАУ ҮДЕРІСТЕРІН АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ БАСҚАРУДА PID-РЕТТЕГІШТЕРДІ ҚОЛДАНУ

Аннотация. Бұл мақалада табиғи газды сепарациялау үдерістерін автоматтандыруда PID-реттегіштер мен контроллерлердің қолданылуы қарастырылды. PID-реттегіштер қысымды, шығынды және сұйық деңгейін автоматты түрде тұрақтандыруға мүмкіндік береді. SCADA-жүйелері арқылы қондырғының жұмысын нақты уақыт режимінде бақылауға болады.

Кілт сөздер: Сепарация, автоматтандыру, PID-реттегіш, контроллер, қысым, шығын, деңгей, SCADA.

S.S.Bekmagambetov

Scientific supervisor: Candidate of Physical and Mathematical Sciences Shabdirov D.N.

APPLICATION OF PID-CONTROLLERS FOR AUTOMATED CONTROL OF NATURAL GAS SEPARATION PROCESSES

Abstract. The article analyzes the use of PID-controllers and PLC systems in automatic control of gas separation processes. PID-control allows maintaining stable operating parameters such as pressure, flow and liquid level. The paper presents practical examples and compares manual and automated control efficiency.

Keywords: Gas separation, automation, PID-controller, PLC, pressure, flow rate, SCADA.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИКА И СОЦИАЛЬНО–ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 330.43

Ж. Г. Нұрсұлтанова
НИПИНефтеГаз SOCAR,
Баку, Республика Азербайжан,
E-mail: Nursultanova.Zhaniya@gmail.com

КРАТКОСРОЧНОЕ ВЛИЯНИЕ ТОВАРНОГО ЭКСПОРТА КАЗАХСТАНА И АЗЕРБАЙДЖАНА НА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Абстракт. Цель исследования — оценить влияние макроэкономических факторов на экспорт Казахстана и Азербайджана в краткосрочной перспективе с применением моделей ARDL, VAR и ARIMA. Анализ охватывает квартальные данные с 2001 по 2024 год. Результаты показали высокую зависимость экспорта обеих стран от цен на нефть, что указывает на слабую диверсификацию внешней торговли. Экспорт демонстрирует автокорреляцию по предыдущим трём кварталам. В краткосрочном периоде положительное влияние оказывают шоки рефинансирования и нефтяных цен, причём экспорт Казахстана чувствительнее к последним, тогда как экспорт Азербайджана сильнее реагирует на рост доходов резидентов из-за рубежа. Шоки международных резервов по-разному влияют на страны: снижают экспорт Азербайджана, но стимулируют экспорт Казахстана.

Ключевые слова: цена на нефть, экспорт, совокупные международные резервы, доходы от иностранных источников, процентная ставка.

Введение

Как известно, временные ряды играют важную роль в экономическом и финансовом анализе, позволяя прогнозировать будущие значения на основе исторических данных. Среди наиболее популярных методов прогнозирования временных рядов выделяются модели ARIMA и VAR. Как известно, данные модели широко применяются в макроэкономике, финансовом анализе, маркетинге и других областях, где важно учитывать динамику временных рядов. ARIMA является одной из наиболее распространенных моделей прогнозирования, основанной на сочетании авторегрессии, интегрированности и скользящего среднего. Данная модель хорошо подходит для одномерных временных рядов, особенно если данные демонстрируют тренды и сезонные колебания. Основными преимуществами ARIMA являются её гибкость, возможность учета сезонности и относительная простота интерпретации. Однако, модель требует стационарности данных, а процесс подбора параметров может быть сложным и трудоёмким. Согласно исследованиям [1], [2] и [3], ARIMA является одной из наиболее эффективных моделей для прогнозирования временных рядов при корректном выборе параметров. VAR, в отличие от ARIMA, используется для многомерных временных рядов и позволяет анализировать взаимосвязи между несколькими переменными. Данная модель особенно полезна в макроэкономических исследованиях, где необходимо учитывать взаимодействие различных экономических показателей. Среди преимуществ VAR можно выделить способность анализировать динамические зависимости между переменными и строить прогнозы, учитывающие их взаимовлияние. Однако, одним из её главных недостатков является необходимость большого количества данных для получения надежных оценок параметров, а также сложность интерпретации результатов. Согласно исследованиям [4] и [5], VAR-модели являются эффективным инструментом для анализа макроэкономических взаимосвязей.

Первый график показывает динамику экспорта товаров Казахстана и Азербайджана, а также динамику цены на нефть марки Brent за период с первого квартала 2009 года по первый квартал 2024 года. Экспорт Казахстана (пунктирная черная линия) с 2009 по 2013 год значительно рос, что совпадало с ростом цен на нефть. В 2014-2016 годах произошел резкий спад экспорта, связанный с падением цен на нефть. В 2017-2019 годах экспорт частично восстановился, но не достиг прежних максимумов. В 2020 году произошло очередное падение экспорта, вероятно из-за коронавирусной пандемии. В 2021-2022 годах экспорт снова увеличился на фоне роста цен на нефть, однако с 2023 года начался новый спад. Экспорт Азербайджана на протяжении всего периода оставался значительно ниже, чем у Казахстана. В 2009-2014 годах он был относительно стабильным, но в 2015 году, после обвала цен на нефть, снизился. В 2017-2019 годах экспорт стабилизировался, затем в 2020 году снова упал, а в 2021-2022 годах начал расти. В 2022 году он достиг максимума, однако с 2023 года вновь снижается. Цена на нефть в 2009-2014 годах росла, достигнув пиковых значений, после чего в 2015 году резко упала, что привело к снижению экспорта обеих стран. В 2017-2019 годах цена частично восстановилась, но оставалась волатильной. В 2020 году она резко упала, вероятно из-за пандемии, а в 2021-2022 годах выросла, что способствовало росту экспорта. В 2023 году цена снова начала снижаться, что отразилось на экспорте. Таким образом, экспорт Казахстана и Азербайджана сильно коррелирует с ценами на нефть, что подтверждает зависимость их экономик от нефтяных доходов. В периоды падения цен на нефть (2015-2016, 2020) обе страны испытывали значительное сокращение экспорта, а его рост в 2021-2022 годах был обусловлен увеличением нефтяных цен. Однако последующее снижение цен на нефть в 2023 году вновь привело к спаду экспорта. Эти тенденции указывают на необходимость диверсификации экономик Казахстана и Азербайджана для снижения их зависимости от колебаний нефтяного рынка.

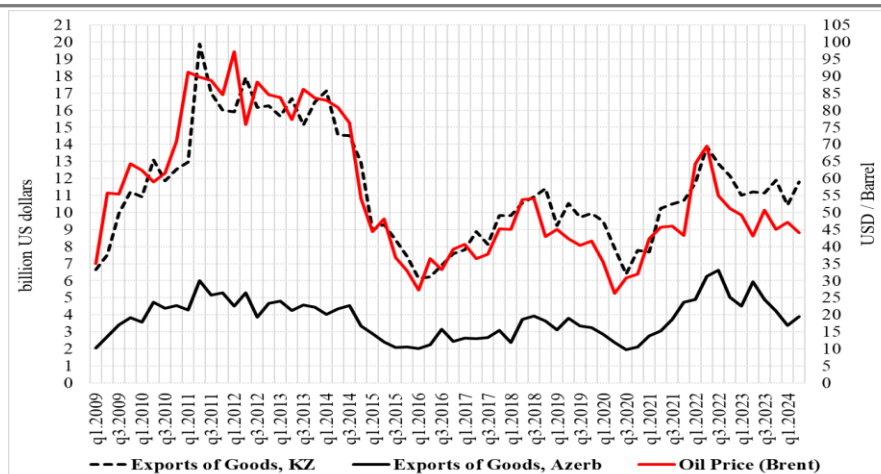


График 1. Динамика объема экспорта товаров Казахстана и Азербайджана

Примечание: представлено в ценах первого квартала 2001 года.

Источник: составлено на основе данных МВФ

Таким образом, выбор между ARIMA и VAR зависит от специфики задачи: ARIMA предпочтительна для прогнозирования одиночных временных рядов, тогда как VAR лучше подходит для анализа взаимосвязанных переменных. В данной статье рассматриваются принципы работы обеих моделей, их достоинства и недостатки, а также области применения в экономическом анализе.

Обзор литературы. В данном разделе представлены исследования о влиянии цен на нефть на макроэкономические переменные в развивающихся странах, а также в Норвегии. В экономической литературе представлено множество работ на эту тему, но в данном разделе представлены наиболее схожие статьи по теме исследования. Влияние цен на нефть на макроэкономические показатели является актуальной темой экономических исследований, особенно для нефтедобывающих стран. В следующих эмпирических исследованиях анализируются последствия колебаний нефтяных цен на экономику Азербайджана и Казахстана. Исследование [6] рассматривает влияние цен на нефть на экономику Азербайджана в период с 2001 по 2018 годы с использованием методов коинтеграции Йохансена и коррекции ошибок. Результаты подтверждают, что нефтяные шоки оказывают значительное влияние не только на экономику страны, но и на другие развивающиеся государства, добывающие нефть. Работа [7] анализирует экономическую ситуацию в Азербайджане в период с 2002 по 2018 годы, используя модель векторной авторегрессии. Выводы показывают, что после колебаний цен на нефть наблюдается снижение ВВП. При этом процентные ставки и обменный курс преимущественно падают в ответ на рост нефтяных цен. Исследование [8] фокусируется на Казахстане за период 2009–2021 годов. Используя систему пяти регрессионных уравнений и два тождества, авторы пришли к выводу, что в долгосрочной перспективе национальная валюта Казахстана остается подверженной рискам, а доходы государственного бюджета и ВВП тесно связаны с изменением цен на сырьевые товары. [9] рассматривают данные по Казахстану и Азербайджану за период 2000–2020 годов, применяя структурную векторную авторегрессионную модель. Исследование показывает, что краткосрочный рост цен на нефть сопровождается снижением валютных курсов, что ведет к укреплению азербайджанского маната и тенге относительно доллара США. Кроме того, увеличение цен на нефть способствует росту международных резервов Азербайджана. Исследование [10] рассматривает экономику Китая за период 1992–2005 годов с использованием методологии авторегрессионного распределенного лага и стилизованной макромоделли открытой экономики. Выявлено небольшое положительное влияние цен на нефть, коэффициента эластичности конкурентоспособности экспорта, а также отрицательная эластичность реального обменного курса на увеличение разности объема экспорта Китая.

Таким образом, эмпирические исследования подтверждают значительное влияние цен на нефть на макроэкономические показатели различных стран, но степень этого влияния зависит от структурных особенностей их экономик.

Методология. Экспорт товаров имеет важное значение для экономики Азербайджана, обеспечивая значительную часть валютных поступлений и влияя на макроэкономическую стабильность. Его динамика тесно связана с доходами резидентов из-за рубежа, процентными ставками, международными резервами и мировыми ценами на нефть. С учетом ведущей роли нефтегазового сектора, влияние этих факторов требует тщательного анализа. Для оценки краткосрочных эффектов используются модели ARIMA и VAR на основе квартальных данных за 2001–2024 годы (в ценах первого квартала 2001 года). Источник данных — МВФ. В исследовании применяются логарифмированные переменные: LNINC (доходы из-за рубежа), LNIR (ставка рефинансирования), LNRES (международные резервы без учета золота) и LNPB (цена на нефть Brent). ARIMA позволяет прогнозировать временные ряды, выявляя их структуру на основе прошлых значений. Наиболее подходящей для выборки является модель ARIMA (3,1,3).

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3) \Delta L N E X P_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3) \varepsilon_t \quad (1)$$

или в развёрнутом виде:

$$\Delta L N E X P_t = \phi_1 \Delta L N E X P_{t-1} + \phi_2 \Delta L N E X P_{t-2} + \phi_3 \Delta L N E X P_{t-3} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \theta_3 \varepsilon_{t-3} + \varepsilon_t \quad (2)$$

где $L N E X P_t$ — объем экспорта товаров Азербайджана, B — оператор сдвига ($B L N E X P_t = L N E X P_{t-1}$), Δ — оператор первой разности, ϕ_i и θ_j — коэффициенты модели, ε_t — белый шум.

Для оценки параметров ARIMA-модели применяются тесты стационарности (ADF-тест), анализ коррелограммы и выбор наилучшей спецификации с использованием критериев Акаике и байесовского информационного критерия. Как известно, в отличие от ARIMA, которая ориентирована на анализ одной переменной, модель VAR используется для изучения взаимосвязей между несколькими временными рядами. VAR-модель позволяет учитывать взаимозависимость объема экспорта товаров и независимых переменных, рассматривая их как систему уравнений, в которой каждая переменная объясняется своими лагами и лагами других переменных.

Результаты исследования. Анализ оценок моделей ARIMA для экспорта Азербайджана (см. таблицу 2) позволяет сделать несколько выводов. Модели ARIMA (3,1,2) и (3,1,3) имеют наивысшие значения функции правдоподобия (31,970 и 34,943), но также содержат больше значимых коэффициентов, что может указывать на переобучение. По критериям Акаике и Байеса наиболее предпочтительными являются ARIMA (1,1,3) и (2,1,3), так как у них наименьшие значения информационных критериев. Модели ARIMA с тремя лагами (3,1,1; 3,1,2; 3,1,3) показывают высокие значения этих критериев, что говорит о чрезмерной сложности без существенного выигрыша в прогнозной точности. В итоге, модель ARIMA (1,1,1) является оптимальной по балансу точности и простоты, а ARIMA (3,1,3) — потенциально лучшей при приоритете максимизации функции правдоподобия.

Таблица 2. Оценки результатов моделей ARIMA для объема экспорта товаров и услуг Азербайджанской Республики

	ARIMA (1,1,1)	ARIMA (1,1,2)	ARIMA (1,1,3)
Зависимая переменная: объём экспорта товаров и услуг			
Кол-во статистически значимых коэффициентов	2	0	1
Сигма (волатильность)	0,1899698	0,189751	0,1782809

Функция правдоподобия	22,23354	22,34964	27,82951
Критерий Акаике	-36,46708	-34,69928	-43,65902
Байесовский информационный критерий	-26,37992	-22,09033	-28,52829
	ARIMA (2,1,1)	ARIMA (2,1,2)	ARIMA (2,1,3)
Кол-во статистически значимых коэффициентов	0	3	2
Сигма (волатильность)	0,189184	0,1822485	0,174762
Функция правдоподобия	22,61682	24,33029	29,66867
Критерий Акаике	-35,23364	-38,66059	-45,33733
Байесовский информационный критерий	-22,62469	-26,05165	-27,68481
	ARIMA (3,1,1)	ARIMA (3,1,2)	ARIMA (3,1,3)
Кол-во статистически значимых коэффициентов	1	5	6
Сигма (волатильность)	0,1774681	0,1701118	0,164313
Функция правдоподобия	28,27644	31,97081	34,94325
Критерий Акаике	61,1297	63,12823	64,73366
Байесовский информационный критерий	76,2643	80,78075	84,90797

Примечание: стоимостные показатели представлены в ценах 1 квартала 2001 г., зависимая переменная была прологарифмирована. Источник: рассчитано в программе STATA.

На основании представленных оценок моделей ARIMA для объема экспорта товаров Республики Казахстан можно сделать следующие выводы (см. таблицу 3). Среди трех моделей (ARIMA (1,1,1), ARIMA (2,1,2) и ARIMA (3,1,1)) наилучшей по значению критерия Акаике и байесовского информационного критерия является модель ARIMA (3,1,1), поскольку данная модель имеет наименьшие значения данных критериев (см. таблицу 4), что указывает на ее лучшую объяснительную способность и адекватность по сравнению с остальными моделями. При этом, количество статистически значимых коэффициентов варьируется: в моделях ARIMA (1,1,1) и ARIMA (3,1,1) имеется по одному статистически значимому коэффициенту, тогда как в модели ARIMA (2,1,2) значимых коэффициентов нет. Значения волатильности незначительно отличаются между моделями, с наименьшим значением в модели ARIMA (3,1,1), что также говорит о ее предпочтительности. Таким образом, на основании критериев информационной эффективности и наличия значимых коэффициентов модель ARIMA (3,1,1) представляется наиболее подходящей для анализа объема экспорта товаров Республики Казахстан.

Таблица 3. Оценки результатов моделей ARIMA для объема экспорта товаров Республики Казахстан

	ARIMA (1,1,1)	ARIMA (2,1,2)	ARIMA (3,1,1)
Зависимая переменная: объём экспорта товаров			
Кол-во статистически значимых коэффициентов	1	0	1
Сигма (волатильность)	0,1523638	0,1513535	0,1455772
Функция правдоподобия	34,86833	35,27386	41,4384
Критерий Акаике	-61,73666	-58,54772	-70,8768
Байесовский информационный критерий	-52,36144	-44,48489	-56,81397

Примечание: стоимостные показатели представлены в ценах 1 квартала 2001 г., зависимая переменная была прологарифмирована

Источник: рассчитано в программе STATA.

На следующем графике 2 иллюстрирует влияние краткосрочных шоков цен на нефть, доходов, процентных ставок и резервов на объем экспорта товаров Азербайджанской Республики. На панели (а) представлена реакция экспорта на собственные шоки. В первые кварталы наблюдается резкое снижение, после чего эффект постепенно стабилизируется. Панель (б) демонстрирует влияние шоков экспорта на международные резервы. В начальный период эффект отрицательный, но со временем он ослабевает и приближается к нулю. На панели (в) показана реакция экспорта на изменения цен на нефть марки Brent. Видно, что в первый квартал экспорт растет, достигая максимума во втором квартале, после чего постепенно снижается. Панель (г) отражает влияние процентных ставок на экспорт. В первые периоды наблюдается умеренный положительный эффект, который со временем ослабевает. Наконец, панель (д) демонстрирует реакцию экспорта на изменения доходов резидентов от иностранных источников. В первые кварталы экспорт сокращается, затем эффект постепенно смягчается, но остается отрицательным. Примечание указывает, что по горизонтальной оси представлены кварталы, а все показатели даны в ценах первого квартала 2001 года. Серые области на графиках обозначают 95% доверительный интервал. Все расчеты выполнены в программе STATA.

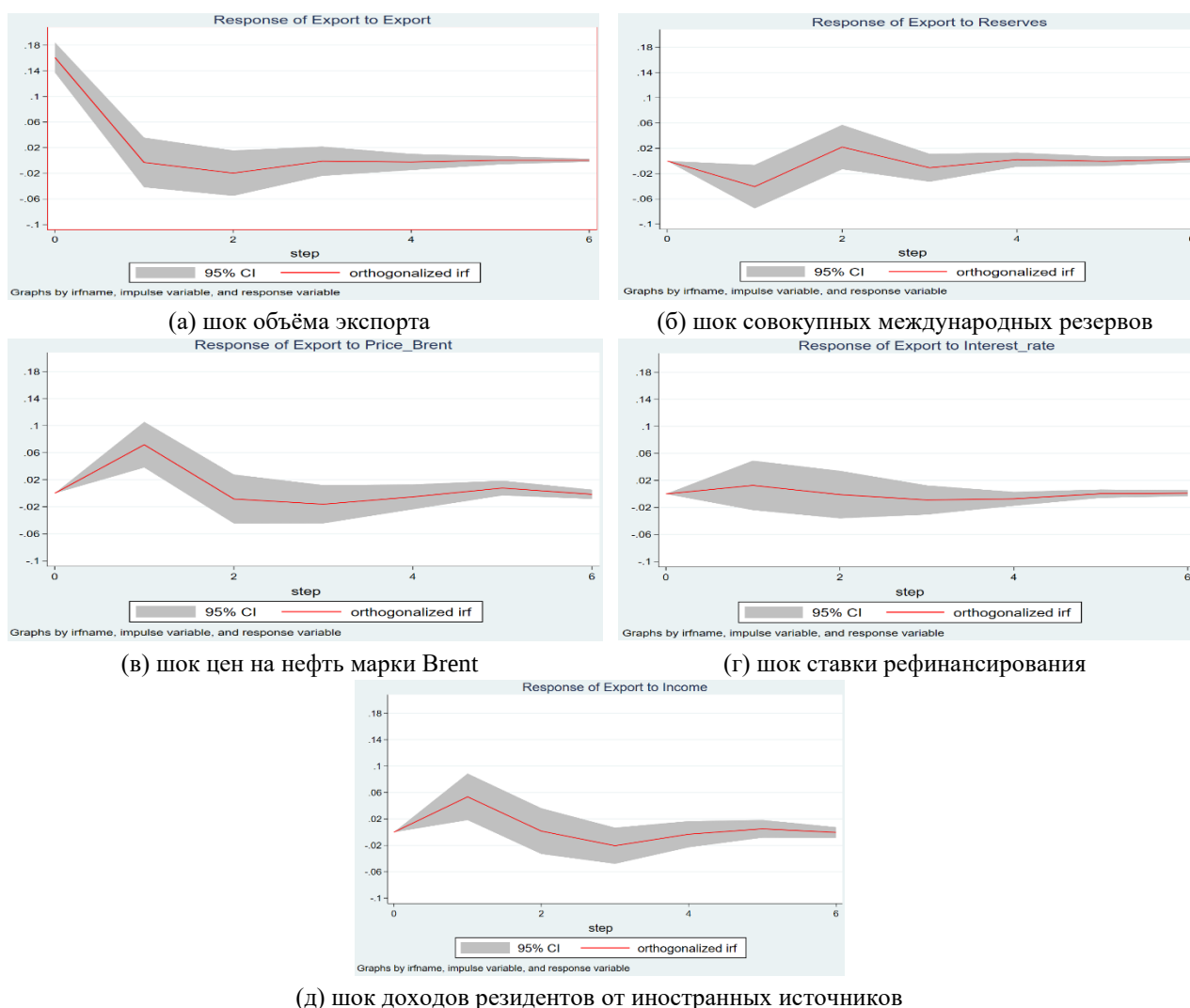


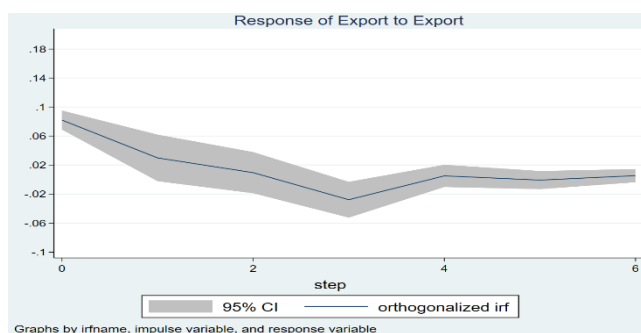
График 2. Влияние краткосрочных шоков макроэкономических факторов на объем экспорта товаров Азербайджанской Республики

Примечание: по горизонтальной оси представлены кварталы, переменная «Export» – объем экспорта

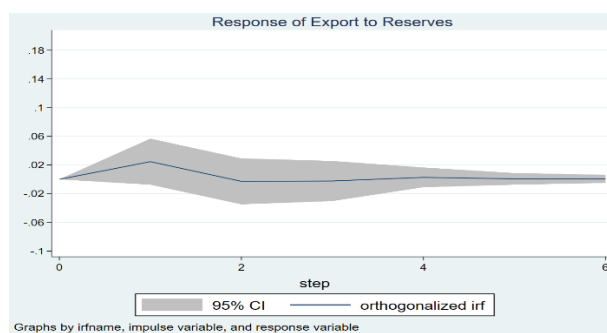
товаров, «Reserves» - совокупные международные резервы за исключением золота, «Price_Brent» - цена на нефть марки Brent, «Interest_rate» - ставка рефинансирования, «Income» - доходы резидентов от иностранных источников, все стоимостные показатели представлены в ценах первого квартала 2001 г.

Источник: рассчитано в программе STATA.

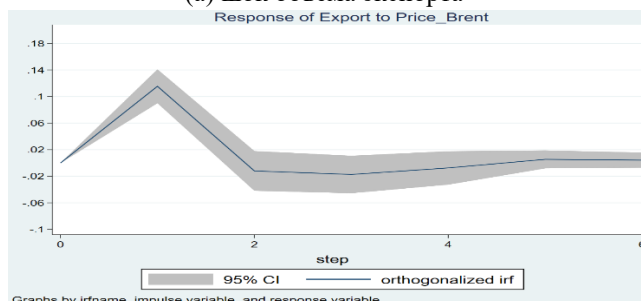
Следующий график 3 иллюстрирует влияние краткосрочных макроэкономических шоков на экспорт Казахстана через функцию импульсного отклика. Начальный рост экспорта сменяется снижением, что говорит о временном эффекте — увеличение в одном периоде компенсируется в следующих (см. график 3а). Небольшое снижение после шока в резервах указывает на возможную связь между накоплением резервов и внешней торговлей. Рост цен на нефть краткосрочно увеличивает экспорт, но эффект быстро ослабевает. Повышение ставки рефинансирования слегка снижает экспорт из-за удорожания кредитов. Доходы от иностранных источников оказывают слабое влияние, что говорит о низкой зависимости экспорта от зарубежных поступлений. В целом, наиболее значимым фактором остаются цены на нефть, в то время как резервы, ставка рефинансирования и внешние доходы оказывают умеренное или незначительное воздействие. Эти результаты подтверждают высокую зависимость экспорта от нефтяного сектора и необходимость учитывать монетарные факторы при прогнозировании внешней торговли.



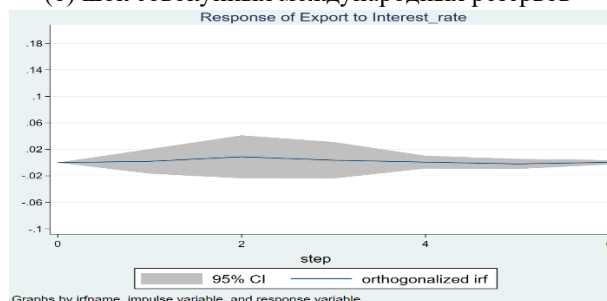
(а) шок объёма экспорта



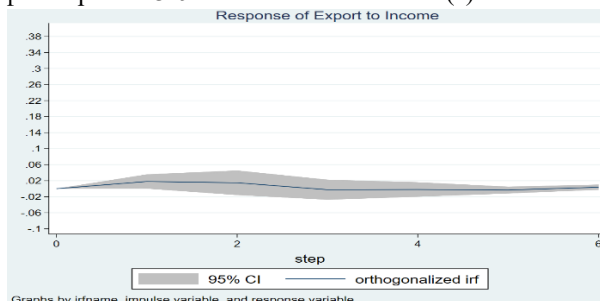
(б) шок совокупных международных резервов



(в) шок цен на нефть марки Brent



(г) шок ставки рефинансирования



(д) шок доходов резидентов от иностранных источников

График 3. Влияние краткосрочных шоков макроэкономических факторов на объем экспорта товаров Казахстана

Примечание: по горизонтальной оси представлены кварталы, переменная «Export» — объем экспорта товаров, «Reserves» - совокупные международные резервы за исключением золота, «Price_Brent» - цена на нефть марки Brent, «Interest_rate» - ставка рефинансирования, «Income» - доходы резидентов от иностранных источников, все стоимостные показатели представлены в ценах первого

квартала 2001 г.

Источник: рассчитано в программе STATA.

Заклучение

Анализ импульсных откликов показал, что экспорт Казахстана чувствительно реагирует на краткосрочные положительные шоки, связанные с ценами на нефть и международными резервами. Эти факторы оказывают наибольшее влияние на динамику экспорта в краткосрочном периоде. Подтверждено, что нефтяные цены являются значимым фактором, что подчеркивает важность диверсификации экспорта и мер по снижению его волатильности. Развитие альтернативных секторов экономики и улучшение управления валютными резервами и процентной политикой должны стать приоритетами. Сравнение импульсных откликов показало различия в реакции экспорта Казахстана и Азербайджана на макроэкономические шоки. В обеих странах краткосрочный рост экспорта сменяется спадом, но в Казахстане этот процесс более плавный. Международные резервы слабо влияют на экспорт Казахстана, тогда как в Азербайджане играют более заметную роль. Рост цен на нефть положительно влияет на экспорт обеих стран, но в Казахстане эффект краткосрочный, а в Азербайджане более устойчивый. Повышение ставки рефинансирования снижает экспорт, особенно в Азербайджане. Доходы резидентов от иностранных источников значимы для Азербайджана, но незначительны для Казахстана. В целом, экономика Азербайджана более уязвима к шокам, тогда как экспорт Казахстана показывает большую устойчивость.

Список литературы

1. Newbold P. ARIMA model building and the time series analysis approach to forecasting // J. Forecast. Wiley Online Library, 1983. Vol. 2, № 1. P. 23–35.
2. Fattah J. et al. Forecasting of demand using ARIMA model // Int. J. Eng. Bus. Manag. SAGE Publications Sage UK: London, England, 2018. Vol. 10. P. 1847979018808673.
3. Makridakis S., Hibon M. ARMA models and the Box--Jenkins methodology // J. Forecast. Wiley Online Library, 1997. Vol. 16, № 3. P. 147–163.
4. Abad P., Benito S., López C. A comprehensive review of Value at Risk methodologies // Spanish Rev. Financ. Econ. Elsevier, 2014. Vol. 12, № 1. P. 15–32.
5. Sims C.A. Macroeconomics and reality // Econom. J. Econom. Soc. JSTOR, 1980. P. 1–48.
6. Mukhtarov S., Aliyev S., Zeynalov J. The effects of oil prices on macroeconomic variables: Evidence from Azerbaijan // Int. J. Energy Econ. Policy. 2020. Vol. 10, № 1. P. 72–80.
7. Zulfigarov F., Neuenkirch M. The impact of oil price changes on selected macroeconomic indicators in Azerbaijan // Econ. Syst. 2020. Vol. 44, № 4. P. 100814.
8. Moldabekova G. et al. The impact of oil prices on the macroeconomic indicators of Kazakhstan and the consequences for the formation of social policy // Int. J. Energy Econ. Policy. 2022. Vol. 12, № 4. P. 447–454.
9. Czech K., Niftiyev I. The impact of oil price shocks on oil-dependent countries' currencies: The case of Azerbaijan and Kazakhstan // J. Risk Financ. Manag. MDPI, 2021. Vol. 14, № 9. P. 431.
10. Faria J.R. et al. The effect of oil price on China's exports // China Econ. Rev. Elsevier, 2009. Vol. 20, № 4. P. 793–805.

Ж. Ғ. Нұрсұлтанова

ҚАЗАҚСТАН МЕН ӘЗЕРБАЙЖАННЫҢ ТАУАР ЭКСПОРТЫНЫҢ МАКРОЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРГЕ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ӘСЕРІ

Абстракт. Бұл зерттеудің мақсаты - ARDL, VAR және ARIMA модельдерін қолдана отырып, Қазақстан мен Әзербайжан экспортына макроэкономикалық факторларының қысқа мерзімді әсерін бағалау. Талдау 2001–2024 жылдар аралығындағы тоқсандық деректерге негізделген. Нәтижелер екі

елдің экспорт көлемдерінің мұнай бағасына қатты тәуелді екенің көрсетті, бұл сыртқы сауда құрылымының әлсіз әртараптандырылғанын білдіреді. Экспорт көлемдері алдыңғы үш тоқсанмен автокорреляцияны көрсетеді. Қысқа мерзімде қайта қаржыландыру және мұнай бағасының өзгеруіне байланысты шоктар экспортқа оң әсер етеді. Қазақстан экспорты мұнай бағасына аса сезімтал болса, Әзербайжан экспорты шетелдік көздерден түсетін резиденттердің кірістерінің өсуіне көбірек әрекет етеді. Халықаралық резервтердің шоктары елдерге әртүрлі әсер етеді: Әзербайжанда экспортты төмендетсе, Қазақстанда керісінше, оны ынталандырады.

Түйін сөздер: мұнай бағасы, экспорт, халықаралық резервтер, шетелдік кірістер, пайыздық мөлшерлеме.

Zh. G. Nursultanova

THE SHORT-TERM IMPACT OF KAZAKHSTAN'S AND AZERBAIJAN'S COMMODITY EXPORTS ON MACROECONOMIC INDICATORS

Abstract. The study aims to assess the impact of macroeconomic factors on the short-term export performance of Kazakhstan and Azerbaijan using ARDL, VAR, and ARIMA models. The analysis is based on quarterly data from 2001 to 2024. The results reveal a strong dependence of both countries' exports on oil prices, indicating low diversification of their external trade. Export volumes exhibit autocorrelation with the previous three quarters. In the short run, refinancing shocks and oil price changes have a positive effect on exports. Kazakhstan's exports are more sensitive to oil price shocks, while Azerbaijan's exports respond more strongly to the growth of residents' income from foreign sources. Shocks to international reserves have divergent effects: they reduce Azerbaijan's exports but positively influence Kazakhstan's exports in the short term.

Keywords: oil price, export, international reserves, foreign income, interest rate.

Б.С. Нығметов

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті. Атырау қ., Қазақстан

ҰЛЫ ДАЛА ЗАҢДАРЫ МЕН АТА ЗАҢЫМЫЗДЫҢ САБАҚТАСТЫҒЫ: (ТАРИХЫ, ОЙЛАР, ТҰЖЫРЫМДАР)

Аңдатпа. Бұл мақалада Қазақстан Республикасы Конституциясының тарихи негізі мен терең тамырлары көне заманнан бастау алатындығын, оның Ұлы Дала аумағындағы заңдар тарихы мен сабақтастығы, ұлы ғұламалардың озық ойлары жөнінде пікір бөлісіп, қазіргі қолданыстағы Конституцияның маңыздылығына тоқталамыз.

Кілт сөздер: әдет-ғұрып құқықтары, Қасым ханның қасқа жолы, Есім ханның ескі жолы, Тәуке ханның Жеті жарғысы, төре-би соты, құқық жүйесі, Конституция, референдум.

Қазақстан Республикасының қазіргі қолданыстағы Ата Заңы – Конституциясы, мемлекетіміздің тәуелсіздігін, демократиялық құрылымын, азаматтардың құқықтары мен бостандықтарын бекітетін негізгі құқықтық құжат. Бірақ бұл заңдылық пен құқықтық жүйенің бастауы тек 1995 жылғы Конституциядан басталмайды. Оның тарихи негізі мен терең тамыры – Ұлы далада өмір сүрген түркі, сақ, ғұн, қыпшақ, қазақ мемлекеттерінің құқықтық дәстүрлерінде, әсіресе «Қасым ханның қасқа жолы», «Есім ханның ескі жолы», «Тәуке ханның Жеті жарғысында» жатыр. Ұлы дала заңдарының негізгі мәні – бұл ежелгі түркі және қазақ мемлекеттерінің билік жүргізу тәжірибесінде қалыптасқан дәстүрлі құқық нормалары. Олар жазбаша немесе ауызша түрде бекітіліп, ғасырлар бойы ұрпақтан-ұрпаққа жалғасып отырды. Белгілі тарихшы, академик Талас Омарбеков «географиялық атаудан гөрі этникалық ұғымды басшылыққа алып қазақ жерінің ежелгі тарихын «Ежелгі Түркістан» тарихы ретінде бергеніміз көкейге қонымды және тарихи санаға үйлесімді» - деген пікірі орынды деп есептейміз.[1,22-б.] Сол кезеңдегі тарихи деректер – Геродоттың, Страбонның, Ксенофонттың, Птоломейдің шығармалары, көне парсы мен қытай жазбалары екендігі

баршаларымызға аян. Қазақстан аумағындағы алғашқы құқықтық нормалар көшпелі тайпалардың әдет-ғұрып құқықтарынан бастау алады. Бұл құқық жүйесі жазылмаған болса да, қоғамда кеңінен қолданылып, ұрпақтан-ұрпаққа ауызша жолмен беріліп отырған. Бұл заңдар халықтардың басқару құрылымын, әлеуметтік қатынастарын, меншік құқығын және қылмыстық істерді реттеуде үлкен рөл атқарған. Төре-би соты негізінен қалың көпшілік алдында би мен ақсақалдар даулы мәселелерді шешіп отырған. Олар негізінен адалдық, әділдік және теңдік принциптеріне сүйенген. Құда түсу, қалың мал, әмеңгерлік, жер дауы, мал ұрлығы сияқты мәселелер әдет құқығында нақты реттеліп отырған.

Ерте түркі мемлекетінде VI-VIII ғасырларда тасқа қашалып жазылған Орхон-Енисей жазба ескерткіштерінің дүниежүзілік өркениет тарихында алатын орны ерекше. Бұл ескерткіштер жазба мәдениетінің ғана емес, сол кездегі саяси ойдың асыл мұрасы болып табылады. «Күлтегін», «Білге қаған» және «Тоныкөк» шығармаларында сол бір тарихи кезеңнің саяси тынысы, түркі халықтары өміріндегі аласапыран оқиғалар, ел билеушілерінің отаншылдық, бірлік, намыс туралы түсінігі, наным-сенімі, ұлысаралық қарым-қатынастар, жеңістері мен қателіктері баяндалады. [2,335-б.] Түрік қағанаты кезінде заңдар қаған тарапынан белгіленіп, жазбаша түрде де бекітілген деген болжамдар бар. Дегенмен, бізге нақты құқықтық кодекстер жетпеген. Қаған билігі шексіз болғанымен, қоғамда "тұтқа" деп аталатын кеңесші ақсақалдар институты болған. Қылмыс жасағандарға қатаң жаза қолданылған: ұрлық, сатқындық, қоғам тәртібін бұзу – өлім жазасына дейін апарған. Жоғары биліктегі қағанның ең басты міндеті де «ел жұртының қамын ойлау, халқын асырау, елді қорғау, күші мен ісін мемлекет мүддесіне жұмсау» болған. Әлемдік мәдениеттегі ұлы ескерткіштердің қатарынан саналатын ерте түрік жазбаларында көне түркі тайпаларының идеологиясы, саясаты, ел бірлігі мен ынтымағы көркем баяндалады.

VIII-XI ғасырларда Орта Азия мен Қазақстанда ислам дінінің таралуына байланысты араб тілі мен жазуы кеңінен қолданыла бастады. Мұсылмандық ренессанс деп аталған осы дәуірде өмір сүрген Жүсіп Баласағұн, Махмұт Қашқари, Ахмет Яссауи, Сүлеймен Бақырғани, Ахмет Йүгінеки және тағы басқа ғұламалардың шығармалары мен еңбектері кеңінен мәлім болды. Олардың шығармаларында мемлекет, саясат, ел басқару, адам және қоғам мәселелері де қамтылды.[3, 355-б.] Махмұд Қашқари (XI ғ.) өзінің «Диуани лұғат ат-түрк» атты еңбегінде түркі халықтарының тұрмыс-салты, құқықтық нормалары мен сөз мәдениеті туралы жазады. Түркілердің әдет-ғұрып заңдарының әділдікке негізделгенін жоғары бағалаған. Махмұд Қашқари үшін заң мен тіл – мемлекеттіліктің тірегі. "Ел билеу үшін сөз де, заң да қажет. Халықтың сөзі таза болса, заңы да әділ болады."- деген ұлы өсиет қалдырған. Сол замандағы ұлы ғұламалардың бірегейі Жүсіп Баласағұнның «Құтты білік» еңбегі (XI ғ.) құқықтық кодекс болмаса да, мемлекеттік басқару, әділдік, билік пен заң туралы маңызды философиялық және саяси-әлеуметтік ойларды қамтиды. Әділдік – мемлекеттің іргетасы; Билеуші – заң мен мораль үлгісі болуы керек; Халық – заң алдында тең болуы тиіс. Ол түркі халықтарының мемлекеттік басқару және құқық жүйесі туралы философиялық тұжырымдар жасаған. Заңның негізі ретінде әділет, парасат пен ақыл ұғымдарын ұсынады. Билеуші мен халықтың арасындағы қарым-қатынасты заң арқылы реттеуді қолдайды. Автор өз еңбегінде «Мемлекеттің бақ-даулеті екі нәрсеге байлаулы: бірі – сақтық, бірі – заң. Бек қырағы, сақ болса, елін қауіптен қорғайды, дұшпанының желкесін үзеді. Қандай да бір бек еліне әділ заң орнатса, елін түзу жолға түсіріп, күнін жарқыратады. Биліктің бағы осы екеуі арқылы жанады»- деп орынды айтқан.[4, 48-б.] "Әділетпен елді биле, заңға мойынсұн, сонда халқың сені құрметтейді." – деген ойының күні бүгінге дейін маңызды екендігі даусыз. Негізінен алғанда алғашқы заңдар топтамасы — бұл тек құқық нормалары емес, сонымен бірге сол дәуірдің дүниетанымы, саяси құрылымы мен мәдени деңгейінің көрінісі. Түркі дәстүріндегі әділдік пен шарият ережелерінің үйлесімі кейінгі қазақ заң жүйелерінің (мысалы, Қасым ханның қасқа жолы, Есім ханның ескі жолы) қалыптасуына негіз болды.

Қазақ хандығындағы алғашқы заңдарға байланысты ұлы ойшылдар мен ғұламалар өз заманына сай пікірлер айтып, бұл заңдардың қоғамдағы орны мен маңызын философиялық, саяси және құқықтық тұрғыдан бағалаған. Бұл ойлар көбінесе әділдік, билік пен заңның

байланысы, халық пен билеуші қарым-қатынасы төңірегінде айтылды. Міне, сол замандағы ойшылдардың пікірлеріне назар аударсақ:

Қадырғали Жалайыри (XVI ғ.) Қазақ хандығы кезеңіндегі ойшыл әрі шежіреші. «Жамиғат-тауарих» (Шежірелер жинағы) еңбегінде хандық құрылымы, билік және заң тәртібі туралы баяндайды. Хандардың әділ болуы мен заңды мүлтіксіз орындауы – мемлекеттің тұрақтылығының кепілі деп санаған. "Хан – халықтың айнасы. Әділ заңмен жүрмесе, ел іші бүлінеді." - деп ойын зерделеген. Шалкиіз жырау, Асан Қайғы, Бұқар жырау (XV–XVIII ғғ.) - бұл жыраулар тек ақын емес, елдің рухани және саяси кеңесшілері болған. Асан Қайғы – Қасым ханның заңдарын қолдап, әділ билікті дәріптеген. Шалкиіз – би мен төренің әділеттілігін талап етіп, заңның бұзылмауын ескерткен. Бұқар жырау – Абылай хан тұсында әділ заңмен ел басқаруды, халықпен кеңесіп шешім қабылдауды жақтаған. Бұқар жырау: "Хан әділ болса, қарашасы түгел болады, заңы мықты болса, елінің іргесі бекем болады." Қазақ хандығындағы алғашқы заңдар – Қасым ханның қасқа жолы, Есім ханның ескі жолы, Тәуке ханның "Жеті жарғысы" сияқты жүйелер – ұлы ойшылдардың әділет, парасат, ел бірлігі туралы идеяларына негізделіп жасалған. Бұл заңдар тек билік құралы ғана емес, қоғамдық тәртіп пен рухани құндылықтардың кепілі ретінде бағаланған. Қазақ хандығының алғашқы заңдары — мемлекетті басқару, халықтың құқықтық тәртібін сақтау және адам мен қоғам арасындағы қарым-қатынасты реттеуде үлкен рөл атқарған. Бұл заңдар әдет-ғұрып құқықтарына, тарихи тәжірибеге және рухани-адамгершілік ұстанымдарға негізделді. Мемлекет пен адам мәселесі жөнінде бұл заңдардың өзіндік ерекшеліктері бар. Қазақ хандығының алғашқы заңдарының мемлекет және адам мәселесі жөніндегі ерекшеліктері:

- Адам мен мемлекет арасындағы қатынас — әділет пен жауапкершілікке негізделді.
- Билеушінің басты міндеті – халықтың мүддесін қорғау, әділ заңмен ел басқару.

- Халық ханды қолдауға, ал хан халқын қорғауға тиіс болды. Бұл - екіжақты жауапкершілік. Хан мен қараша заң алдында тең болуы тиіс деген түсінік тараған. Ханның заңсыз шешімі — бүкіл мемлекетті әлсіретеді деген ұстаным болған.

Мемлекеттегі тұрақтылық әділ би, адал төре, таза сот арқылы қамтамасыз етілуі тиіс болды. Мысалы, Төле би: "Тура биде туған жоқ, туғанды биде иман жоқ." — бұл мемлекет пен адамның арасындағы әділдік принципін көрсетеді. Ұлы дала заңдары мен Ата Заңымыздың сабақтастығы күні бүгінге дейін өзіндік ерекшелігімен айқындалады. Ұлы дала заңдарының мәні – бұл ежелгі түркі және қазақ мемлекеттерінің билік жүргізу тәжірибесінде қалыптасқан дәстүрлі құқық нормалары. Олар жазбаша немесе ауызша түрде бекітіліп, ғасырлар бойы ұрпақтан-ұрпаққа жалғасып отырды. Қасым хан қазақ деген елдің алғашқы заң шығарушысы ретінде белгілі «Қасым ханның қасқа жолы» деген, қазақтың бітім – билігін шығарған осы хан еді» делінеді жазбаларда. Қасым ханның заң шығарушылық қызметі туралы толық және қызықты материалдар Ә.Марғұланның мақаласында кездеседі. Академик «Қасым ханның қасқа жолы» заңдарын орта ғасырларда Қыпшақ, шағатай ұлыстарында қолданылған «Ярғу» заңынан алынған, қазақша «Жарғы» деген ұғым береді деп есептеді. Бұл ұғымның түпкі мәні жару, нәрсенің салмаған бір жағына аудармай, дәл, әділ айтудан шыққан: «Дауды әділ, тура шешкен билерді халық бұқарасы ардақтап «Қара қылды қақ жарған» деп мақтаған. Өзінің мазмұны бойынша, бұл заңның түбегейлі идеясы ежелгі әскери-демократия арнасына барып тіреледі» - дейді. [5,107-б.]

«Қасым ханның қасқа жолы» (XVI ғ.) – алғаш жүйеленген қазақ заңы. Әлеуметтік әділдік, ел бірлігіне негіз болды. «Есім ханның ескі жолы» (XVII ғ.) – бұрынғы заңдарға жаңалықтар енгізіп, әскери тәртіпті күшейтті. «Тәуке ханның Жеті жарғысы» (XVIII ғ. басы) – қазақтың заң жүйесінің шыңы. Қылмыстық, азаматтық және отбасы құқығын реттейтін ережелерді қамтыды.

Ата Заңымыз – қазіргі құқықтық мемлекет негізі 1995 жылы қабылданған ҚР Конституциясы – Қазақстанның егемен ел ретінде даму жолындағы басты құжаты. Ол халық билігін мойындайды, адам құқықтарын жоғары қояды, Заң үстемдігін қамтамасыз етеді, Республикалық басқару мен демократиялық жүйені бекітеді. Сабақтастық элементтерін келтірсек: Ұлы дала заңдарында Биліктің халыққа тиесілігі – «Хан халықпен ақылдаса

отырып шешім шығарады». Ата Заңымыздың 1-бабы: «Қазақстан Республикасы – демократиялық, зайырлы, құқықтық және әлеуметтік мемлекет. Оның ең қымбат қазынасы – адам және оның өмірі, құқықтары мен бостандықтары.»

Ұлы Дала Заңында әділдік пен теңдік – дау шешу, билер институты. Ал, Ата заңымызда - Сот тәуелсіздігі және барша азаматтардың заң алдындағы теңдігі. Бұдан шығатын қорытынды: Ұлы дала заңдары мен қазіргі Ата Заңымыз арасында тарихи сабақтастық пен рухани үндестік бар. Ежелгі құқықтық мәдениет қазіргі Конституциямыздың мазмұнына арқау болып, ұлттық құқықтық сананың қалыптасуына негіз болды. Тарихты тану – болашақты бағдарлау, сондықтан қазақ заңгерлік мектебінің тамырын тереңнен іздеу – біздің құқықтық мемлекетіміздің тұғырын нығайта түседі.

Тәуелсіз Қазақстанның Ұлттық саяси жүйесін құру үрдісі 1990 жылы Қазақ Республикасының егемендік туралы декларациясынан басталады. Тәуелсіз Қазақстанның бірінші Конституциясы 1993 жылы қабылданды. Бұл Қазақстанның жаңа тарихында болған ең жарқын оқиғалардың бірі еді. 1993 жылғы Конституцияның жағымды жақтарын келесіден байқауға болады. Біріншіден, ол алғашқы рет Қазақстан егемендігінің құқық субъектілігін көрсетті, осыған байланысты Қазақстан әлемдік қауымдастықтың саяси және заңды түрде мойындауын алды және халықаралық қатынастарға жеке тәуелсіз ел ретінде қатысуға мүмкіндік алды.

Екіншіден, Конституция бүкіл дүниежүзінде бірінші рет «Қазақстан халқы» деген әлеуметтік-этникалық түсінікті заңдастырды. Бұл факттың стратегиялық болашағы зор, ол елде мемлекеттілік негіздері әбден бекіген кезде, мемлекет құрудан жағымды нәтиже шыққан жағдайда, жүз жылдықтар өткеннен кейін болады. Легитимділік деп бұл жерде біз Қазақстан халқының заңды түрде Республикадағы әлеуметтік-этникалық жағдайды қабылдағанына көз жеткіземіз.

Үшіншіден, Отанымыздың тарихында бірінші рет билік бөлінісі мен адам құқықтары концепциясы қабылданды. Бұл тұжырым жеткілікті түрде қисындық жағынан дәлелдендірілмесе де және құрылымдық жағынан әлі де әлсіз ілгерілеу болып табылады. [6,266-б.]

Сонымен, 1993 жылы 28 қаңтарында Қазақстан Республикасының Жоғарғы Кеңесі тәуелсіз, егеменді Қазақстан мемлекетінің тұңғыш Конституциясын қабылдады. Ол жаңа тәуелсіз мемлекеттің орнауында және Республика заңдарының қалыптасуында белгілі бір тарихи рөл атқарды.[7,123-б.] Қазақстан Республикасының Конституциясы барлық қазақстандықтар еңбегінің жемісі болып табылады. Бұл маңызды құжаттың жобасын талқылау барлық жерде азаматтардың, әр түрлі саяси партиялар мен қозғалыстар өкілдерінің жиналыстарында, баспасөз беттерінде, теледидар мен радиода жүргізілді. Талқылау барысында бір-біріне мүлдем қарама-қарсы көзқарастар да айтылды. Азаматтар мен заңгерлер талқылау барысында көптеген ескертулер мен толықтырулар енгізді. Қазақстан Республикасының осы, алғашқы Конституциясы 4 бөлімнен, 21 тараудан тұрды. Конституцияның құрамдас бөлігі Қазақстанның қоғамдық даму ерекшелігін бейнелейтін өтпелі кезең жағдайларына арналған тарау. Өтпелі кезеңнің мақсаты бұрынғы және жаңа конституциялық заңдылыққа, мемлекет пен оның органдары мен институттарына қатысты кейбір жағдайларын байланыстыру, үйлестіруге тиіс болды. 1993 жылғы Конституцияны дайындау және қабылдау жұмыстары Қазақстан Республикасының Жоғарғы Кеңесі тарапынан жүзеге асырылды. Конституцияны жазуға арнайы құрылған конституциялық комиссия жауапты болды. Бұл комиссияның құрамына заңгерлер, ғалымдар, депутаттар, мемлекет қайраткерлері енді. Мәселен: Сұлтан Сартаев, Марат Сәрсембаев, Зина Бимағамбетова, Өмірбек Байгелді, Ораз Мұхамеджанов т.б. - Конституция жобасының дайындалуына белсене атсалысты. Дей тұрғанмен, Қазақ қоғамының даму үрдістерінң заңдылығына сай, жаңа Конституция қабылдауымызға тура келді.

Қазақстан Республикасының Конституциясы — Қазақстанның ата заңы. ағымдағы Конституция 1995 жылғы 30 тамызда жалпыхалықтық референдум негізінде қабылданды және 5 қыркүйек күні өз күшіне енді. Конституция 9 тараудан, 99 баптан тұрады. Конституция

мемлекеттік құрылыстың құқықтық негізін қалыптастырушы құжат болып табылады. Ол мемлекеттілік тетік, қоғамдық, саяси институттар ретінде қызметтің негізі боларлық принциптерін орнықтырды, адам мен азаматтың конституциялық мәртебесін белгіледі, экономикалық құрылыстың негіздерін айқындады. Бұл тәуелсіз Қазақстанның қабылдаған екінші конституциясы. 1995 жылы желтоқсанда екі палаталы (жоғарғы палата — Сенат, төменгі палата — Мәжіліс) Парламентке сайлау өткізілді. Конституцияға қоғамның даму талабын ескере отырып, мемлекетті басқаруды ұйымдастыру, саяси реформалар үрдісін жеделтеу үшін өзгертулер мен түзетулер үнемі енгізіледі. Мәселен: 1998 ж. Конституцияның 19 бабына түзету енгізілді. Президенттікке жас шегі 40-қа дейін көтеріліп, 65 жасқа шектеу алынып тасталды. Президент 5 жыл емес, 7 жыл мерзімге сайланады. Мәжіліс депутаттарының саны 67-ден 77-ке дейін артты. 2007 ж, 2011 ж, 2017 жылдардағы толықтыруларда уақыт талабына сай өзгерістер еді. 2019 ж 19 наурызда Н.Назарбаев мерзімінен бұрын президенттік өкілеттігін тоқтатынын мәлімдеді. 2019 жылы 20 наурызда ҚР Парламенті Сенатының төрағасы Қасым-Жомарт Тоқаев Қазақстан халқына ант беріп, уақытша Президент болды. Сол күні Астана атауын Нұр-Сұлтан деп өзгерту туралы заң жобасы қабылдады. 2022 жылғы 8 маусым 5 маусымда өткен жалпыұлттық референдум нәтижесінде Конституцияның 33 бабына 56 өзгеріс енгізілді.

Соның ішінде атап өтуге лайықты өзгертулерді атасақ. Олар: Жер және оның қойнауы, су көздері, өсімдіктер мен жануарлар дүниесі, басқа да табиғи ресурстар халыққа тиесілі екені атап өтілді.

Президенттің жақын туыстарының саяси мемлекеттік қызметші, квазимемлекеттік сектор субъектісі басшылары лауазымдарын атқаруға және Президент өз өкілеттіктерін жүзеге асыру кезеңінде саяси партияда болуына тыйым салынды. Конституциялық сот қайта құрылды. Қазақстан Республикасының Конституциялық Соты – Конституцияны сот арқылы қорғайтын жоғары орган болып танылуы өз алдына жаңа ереже болды. Қазақстан Республикасының Конституциялық Соты 1992 жылы құрылып, 1995 жылға дейін жұмыс істеді. Міне, сол үрдіс қалпына келтірілді. Республикалық бюджеттің атқарылуын бақылау жөніндегі есеп комитеті Жоғары аудиторлық палата болып құрылды. Тұңғыш президенттің ерекше рөлі мен артықшылықтары туралы ережелер алып тасталды. Ең соңғы толықтырылу 2022 ж 17 қыркүйекте Қазақстанның елордасына Астана атауы қайтарылуына байланысты өзгерістер енгізілді. Әрине, осы толықтырулар мен өзгерістер Ата Заңымыздың халықаралық беделін нығайтты.

Бірақ та, әлемдік құқықтық кеңестікте Конституциясы берік мықты алпауыт мемлекеттер баршылық. Олардың Конституциялық даму тарихына және өткен жолдарына үнемі назар аударып, Қазақ Елінің Конституциясы өзгермейтін тұрақты, мықты болуы үшін әрқашанда саяси шешімдердің тазалығына, елдің дамуын айқындайтын, оң түзетулер мен өзгерістерге назар аударуымыз керек. Жоғарғы билік, Президент, Парламент, Үкіметтің жауапкершілігін арттыру өмір талабы. Міне, сонда ғана Қазақ Елінің Ата Заңы әлемдік қауымдастықтарда өз беделін берік орнықтырады. Құқықтық негізде біз әлемдегі алпауыт мемлекеттердің Конституциялық жүйесінен үлгі алуымыз керек. Мәселен: АҚШ Конституциясы 1787 жылы қабылданды, 1789 жылы күшіне енді. Бұл - әлемдегі ең ежелгі және әлі де қолданыстағы жазбаша конституция. АҚШ Конституциясына жалпы 27 түзету енгізілген. Соңғысы — 1992 жылы. Конституция сирек өзгереді, бірақ тұрақтылығы мен құқықтық негіздерінің беріктігі оны әлемде ең ықпалды құжаттардың біріне айналдырды. Сол сияқты, Франция қазіргі уақытта 1958 жылы қабылданған Бесінші Республика Конституциясымен өмір сүріп келеді. Бұл Конституция 1958 жылы 4 қазанда қабылданып, бүгінгі күнге дейін қолданыста. Конституциясына осы күнге дейін 24 рет түзету енгізілген. Соңғы ірі өзгеріс - 2008 жылы болған, өзгерту тәсілі - Парламент немесе референдум арқылы өтеді.

Бүгінгі Қазақстан «ашық» қоғамға «әділетті қоғамға» аяқ басу алдында тұр. Міне, сондықтан мемлекет үшін ең маңызды мәселелерді референдумға шығару осы халықтық бағыттың, демократиялық үрдістің жалғасы іспетті. «Кеңесіп пішкен тон келте болмас» деген

нақыл сөз бар. Бабаларымыз ел тағдырын айқындайтын тарихи шешімдерді бүкіл халық болып ақылдасып, бірге қабылдаған. Президент кезекті бір Жолдауында: «Ұлытауда, Ордабасы мен Күлтөбеде өткен ұлы басқосулар – соның айқын дәлелі. Келелі жиында айтылған кесімді сөзге алты Алаштың баласы түгел тоқтаған. Біз бірліктің бастауы болған осы дала демократиясының дәстүрін жаңғыртуымыз керек» -деп атап өтті. Қазіргі кезең алмағайып дәуір, мемлекеттердің сыналатын, шындалатын уақыты. Біздің қоғам саяси реформалар жасауда кідіртектеп, қалғаны анық. Сондықтан жаңа Қазақстан жаңғыру жолына түсу, елде саяси реформаларды жасау – уақыт талабы Ата Заң – ұрпақтан ұрпаққа мұра болып қалатын құжат. Конституция - Қазақстан Республикасының азаматтарына үлкен жауапкершілік жүктейді. Отаншылдық міндетті түрде тұлғаның жоғары әлеуметтік белсенділігін көрсетеді, өйткені, оның өзі еңбекте табыстарға жету үшін, қоғамға, ел жұртқа, халыққа қызмет ету үшін биік серпін болып табылады. Осы себепті, күрделі рухани және саяси-әлеуметтік құбылыс ретіндегі қазақстандық патриотизм Отанды қорғау, нығайту және гүлдендіру жолында онымен ажырамас тұтастығын саналы түрде ұғынатын тұлғаның руханилығы, азаматтығы және саяси-әлеуметтік белсенділігінің бірлігі болып табылады. Ал, бұл кез-келген мемлекеттің түбірлі саяси міндеті екендігі белгілі. Отаншылдыққа тәрбиелеудің негізгі көздеген мақсаты – өзінің бай тарихи тәжірибесіне сүйене отырып, келер ұрпақты еңбекке, өнер-білім машықтарын меңгеруге, отбасын, туған өлкесін, Отанын сүйуге, ар-намысын қорғауға, және т.б. ізгі адамгершілік қасиеттерге баулу. Белгілі заманымыздың ойшылы Ғарифолла Есім: «XXI ғасырда өмір сүру қиынның қиыны, алайда Асан-Қайғы анықтап берген Жер-ұйық – Қазақстанға иелігіміз тек біздің ғана емес, ұрпақтар қамы екенін сезініп, соған сай қаракетіміз болса екен деген игі үміт сөнбесе екен» - деп түйіндеген.[8,96-б.]

Отансүйгіштік рух –тәуелсіз еліміздің әлемдік өркениет көшіне қосылып, дүниежүзілік қауымдастықтан лайықты орнын алуына мүмкіндік беретін бірден-бір күш. Осы жерде ең бастысы жас ұрпақ отбасында асқақ отансүйгіштік сезімге тәрбиеленуі тиіс. Жүсіп Баласағұн бабамыз: «Адамдардың артықшылығы өнері, ақылы, білімі болса, ол - адамның өз қажеттіліктері үшін таптырмайтын қасиет» - дей отырып, адамдарды осы асыл қасиеттерді бойына жинақтауға шақырады. Бұл ойлардағы басты мақсат - адамның өзін-өзі тәрбиелеуінің көрінісі саяси саналығы және сауаттылығы екендігі даусыз. Сондықтан баршаларыңызды Конституция–Ата Заңымызды құрметтеуге, оны қолдауға, негізгі қағидаттарын мұқият сақтауға шақырамыз.

Әдебиеттер тізімі

1. Т.Омарбеков. Ш.Омарбеков. Қазақстан тарихына және тарихнамасына ұлттық көзқарас. Алматы «Қазақ университеті» 2004. – 388 б.
2. Сырымбетұлы Бекмырза, Сатершинов Бақытжан. Саяси және құқықтық ілімдер тарихы (Ежелгі заман, орта ғасырлар және жаңа заман) Алматы: «Издательство LEM» ЖШС-452 б. 2015.
3. Сонда, 355-бет.
4. Баласағұни Ж. Құтадғу Білік (Қарасөз түрінде) / Аударған Бекарыс Нұрман. – Астана: «Mugaba», 2023, - 208 б.
5. Ж.О.Артықбаев,Е.С.Жаркешов. Қазақ мемлекеттілігі: тарихы, саяси және әкімшілік құрылымы, басқару институттары. Астана-2016-336 бет.
6. Сонда, 266-бет.
7. Қазақстан тарихы (көне заманнан бүгінге дейін бес томдық) Алматы «Атамұра» 2010: 5-том.
8. Есім Ғарифолла Саяси философия. Ойлар, тұжырымдар. – Алматы, «Ел-шежіре», 2006. – 256 бет.

Б.С. Нигметов

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЗАКОНОВ ВЕЛИКОЙ СТЕПИ И НАШИХ ПРЕДКОВЫХ ЗАКОНОВ: (ИСТОРИЯ, МЫСЛИ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ)

Резюме. В данной статье мы рассмотрим историческую основу и глубокие корни Конституции Республики Казахстан, уходящие корнями в глубокую древность, историю и преемственность её законов в Великой Степи, передовые идеи великих учёных, а также остановимся на важности действующей Конституции.

Ключевые слова: обычные права, «Светлый путь хана Касыма», «Исконный путь хана Есима», «Семь законов хана Тауке», «Торе-бийский суд», правовая система, Конституция, референдум.

B.S.Nigmatov

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LAWS OF THE GREAT STEPPE AND OUR ANCESTRAL LAWS: (HISTORY, THOUGHTS, CONCEPTS)

Abstract. In this article, we will examine the historical basis and deep roots of the Constitution of the Republic of Kazakhstan, which date back to ancient times, the history and continuity of its laws in the Great Steppe, the progressive ideas of great scholars, and also discuss the importance of the current Constitution.

Keywords: customary law, the ancient path of Kassym Khan, the ancient path of Yesim Khan, the Seven Charters of Tauke Khan, court, legal system, Constitution, referendum.

УДК 004.855.2

Г.Байжигитова, Р.Бисембай

Атырауский университет нефти и газа им.С.Утебаева
Казахстан E-mail: bayzhigitova.63@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЩЕГУМАНИТАРНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. Сегодня перед высшим образованием стоит проблема качественной подготовки и обеспечения всех отраслей производства высокообразованными кадрами. Об этом говорится и в Послании Главы государства К.-Ж.Токаева, в котором взят курс на создание министерства ИИ и цифрового развития, принятие Цифрового кодекса, что будет способствовать повышению качества жизни каждого гражданина нашей страны. В этой связи в центре внимания преподавателей общегуманитарных дисциплин технического вуза находятся вопросы пересмотра отдельных вопросов учебной программы при подготовке специалистов технических специальностей. В рамках настоящей статьи речь идет о тех преимуществах, которые находят место в методике преподавания дисциплин общегуманитарного направления, в частности, языковедческих дисциплин. Одним из таких методик мы признаем активное применение элементов ИИ при обучении студентов, развитию их коммуникативных компетенций. Здесь мы делимся с опытом взаимодействия элементов искусственного и естественного интеллекта средствами языка.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, общегуманитарная подготовка, языковая культура, мышление, этикет, коммуникация, кроссворд, метод.

Введение.

В настоящее время важно, чтобы студенты интересовались не только и не столько академическими проектами, направленными на расширение знаний и научного кругозора по избранному ими направлению, но сколько лично ориентированными проектами, которые влияли бы и на их социальное и общекультурное развитие и совершенствование. Здесь нельзя недооценить и значение как общетеоретических, так и частных методических вопросов обучения студентов, на что ориентированы практически все учебные программы вузовской подготовки. Ежегодно преподаватели вносят частичные изменения в Рабочие программы преподаваемой дисциплины в целях улучшения качества обучения и внедрения передовых современных технологий. Так, с этого учебного года в рамках внедрения ИИ, цифровизации в учебный процесс, нами активно пропагандируется такая форма обучения как создание Кроссворда с применением ИИ. По определению Гуманитарного словаря,

«кроссворд есть «головоломка, представляющая собой переплетение рядов клеточек, которые заполняются словами по заданным значениям» [1]. Есть специальная программа, в которой предусмотрено создание кроссворда по уже готовой инструкции. Как же работает данная программа и что нового мы вносим при работе с ней во время учебного процесса?

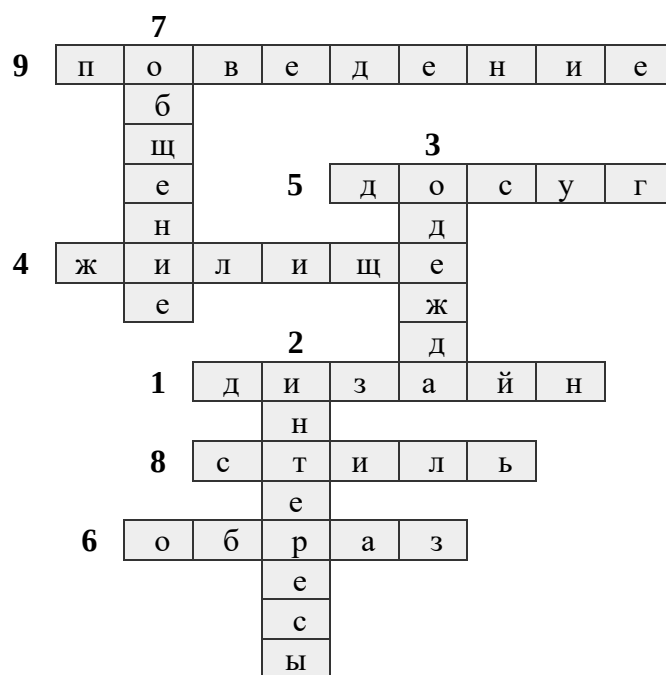
В ходе формулировки целей и задач обучения языку мы уделяем внимание таким умениям, как осуществление использования языковых средств на основе системы грамматического знания, анализ информации в соответствии с ситуацией общения, демонстрация личностной и профессиональной конкурентоспособности. В этом нам помогают темы Рабочей программы с учетом комплекса требуемых компетенций, заложенных в содержании дисциплины. Методика обучения, применяемая на занятиях, а именно создание кроссворда позволяет совместить в себе решение задач межличностного, межкультурного и профессионального (производственного) общения. Следует заметить, что названия темы в Рабочей программе подсказывает, чем будут заниматься студенты при ее изучении. Процесс создания кроссворда призван обеспечить повышение интереса студентов к изучаемой теме через развитие языкового мышления, создание глоссария по специальности, отработку навыков применения искусственного интеллекта, повышение словарного фонда, формирование навыков работы с представленным текстовым материалом и т.д.

Если раньше студенты обращались к кроссворду лишь как способу развлечения, «коротания» свободного времени, то на занятии ими преследуются иные цели: создание и закрепление в памяти терминов, специальных понятий, развитие интеллектуального мышления. Иными словами, кроссворд содержит игровую (разгадывание или составление кроссворда) и учебную (овладение определенными знаниями, умениями и навыками) задачи. На практике кроссворд является и познавательным средством, когда ставится задача составить кроссворд по изученному параграфу или страницам учебника. В нашем случае это работа с текстом по специальности или текстам разностилевого и разножанрового содержания. Приведем образец составления кроссворда по теме занятия «Стиль жизни. Особенности труда, досуга, общения, круга интересов». Целью изучения данной темы является понимание стиля как категории, связанной с различными представлениями о деятельности человека. В рамках темы студенты получают информацию о стиле как совокупности признаков, создающих целостный образ о ком-либо или о чем-либо. Так, понятие стиля предстает как многозначное явление, охватывающее такие стороны, как: стиль одежды, образ мыслей и поведения человека, особенности речевой манеры, дизайн и функциональность жилища и т.д.

Известно, что с конца 1990-х годов для составления кроссвордов применяется специализированное программное обеспечение. Как правило, компьютерные программы предоставляют пользователю возможность вручную рисовать сетку головоломки и вручную подбирать для неё слова¹. Тем не менее, возможности ПО позволяют также полностью автоматизировать процесс составления головоломки. При этом рисование сетки кроссворда и последующее её заполнение происходит исключительно путём применения программных алгоритмов, без участия человека, что, по мнению разработчиков ПО, делает головоломки интереснее [2].

На своих занятиях мы обращаемся к возможностям ИИ во время изучения определенной темы. Так, после знакомства с темой и выполнения ряда заданий студенты задают ИИ задачу создать кроссворд из слов-понятий, имеющих отношение к данной теме. Эта работа может выполняться в двух формах – групповой и индивидуальной, т.е. каждый студент подбирает свой список слов. Главное условие при составлении кроссворда – это приведение списка слов, состоящих только из имен существительных в форме Именительного падежа единственного числа (или множественного числа при отсутствии у слова формы единственного числа).

Приведем один из множества вариантов кроссворда, предложенный студентам при обращении к нейросети. Согласно условию, каждый студент диктует свой список слов-понятий. К примеру, такие слова: *одежда, стиль, образ, дизайн, интересы, досуг, жилище, общение, поведение*. И затем, нажимая на команду «Создать», получает в ответ следующую версию кроссворда.



Но на этом работа не заканчивается. Студентам предлагается найти (по словарю) или самостоятельно текстовое определение слов, указанных в кроссворде. Для сравнения, вот какие текстовые определения слов были найдены для кроссворда (см.выше).

- 1.Создание продуманных решений для различных объектов, систем и услуг, где главное – не только внешний вид, но и функциональность, удобство и решение задач пользователя.
2. Положительно окрашенное эмоциональное состояние, возникающее на основе внутренних потребностей человека и проявляющееся в повышенном внимании к объекту.
3. Изделие или совокупность изделий, надеваемых человеком и несущих утилитарные и эстетические функции.
- 4.Традиционное сооружение (постройка), приспособленное для обитания человека.
- 5.Время, которое остаётся после выполнения обязательных дел.
6. Визуальный, или зрительный образ, изображение.
7. Процесс взаимодействия людей, социальных групп, общностей, в котором происходит обмен информацией, опытом, способностями и результатами деятельности ...
- 8.Совокупность признаков, черт, создающих целостный образ о ком (о чем) -либо
9. Образ жизни, совокупность поступков и действий кого-либо.

В процессе составления текстового определения каждый студент старается найти более сжатую формулировку слов, что удобно для запоминания и последующей работы с этим словами. Так, вместо определения, к примеру, слова «жилище» как «традиционное сооружение (постройка), приспособленное для обитания человека», предлагается более краткое определение: «*Место, приспособленное для обитания человека*». Или определение слова «досуг» как «*время, которое остается после выполнения обязательных дел*» заменяется более кратким: «*свободное от занятий время*». Подобная работа позволяет улучшить языковое мышление студентов, помочь совершенствовать навыки составления кратких, удобных для восприятия и понимания текстового определения.

Заключение.

Таким образом, кроссворд можно рассматривать как способ визуализации ключевых понятий определенной темы, иногда целого раздела, а также повторения, закрепления и активизации изученного материала. Кроссворд выступает как отдельный вид контроля знаний, способ стимулирования у студентов повышения интереса к изучению не только отдельной темы, но и всего курса дисциплины. Более того, на практике мы увеличиваем образовательный потенциал работы с кроссвордами в учебном процессе. Каждый раз усложняя принцип создания кроссворда, вовлекая в его содержание все больше и больше новых слов-понятий, мы способствуем повышению и совершенствованию интеллектуального уровня студентов.

Кроме всего, при переносе кроссворда на лист бумаги, во время выступления перед аудиторией каждый студент продумывает оформление, расположение и цветовую гамму букв, рисунков, что заслуживает поощрения. И если применение ИИ в создании кроссворда есть первый шаг, то второй шаг ориентирован на возможность оценки преподавателем таких умений и навыков студентов, как анализ, квалифицированный подход к разъяснению значения включенных в кроссворд терминов, слов-понятий, а также оценка общей научной и культурной подготовки студентов. Создание кроссворда является в нашей практике одним из способов органичного сосуществования интеллекта искусственного и естественного, а это означает, что кроссворд понимается как форма интеллектуальной игры, интеллектуального развития обучающегося.

Список литературы

1. Российский Гуманитарный энциклопедический словарь. Санкт-Петербург, 2002.
2. Julie Leibach. Inside the Box: Crossword Puzzle Constructing in the Computer Age (19 сентября 2014).

Г. Байжігітова, Р. Бисембай

ТЕХНИКАЛЫҚ МАМАНДАРДЫ ЖАЛПЫ ГУМАНИТАРЛЫҚ БІЛІМ БЕРУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ҚОЛДАНУ

Андатпа. Бүгінгі таңда жоғары білімнің алдында сапалы мамандар даярлау және өндірістің барлық салаларын жоғары білімді кадрлармен қамтамасыз ету міндеті тұр. Бұл да Мемлекет басшысының Жолдауында көрсетілген АИ және цифрлық даму министрлігін құру және еліміздің әрбір азаматының өмір сүру сапасын жақсартуға ықпал ететін Цифрлық кодты қабылдау бағытын белгіледі. Осыған байланысты техникалық жоғары оқу орындарының жалпы гуманитарлық пәндер оқытушыларының басты назары техникалық сала мамандарын даярлаудың оқу жоспарының жекелеген аспектілерін қайта қарау болып табылады. Бұл мақалада жалпы гуманитарлық пәндердегі, әсіресе тіл біліміндегі оқыту әдістерінің артықшылықтары қарастырылады. Бізше сондай әдістердің бірі оқушыларды оқытуда және олардың коммуникативті дағдыларын дамытуда жасанды интеллект элементтерін белсенді пайдалану.

Мұнда біз тіл арқылы жасанды және табиғи интеллект элементтерінің өзара әрекеттесу тәжірибесімен бөлісеміз.

Түйін сөздер: Жасанды интеллект, жалпы гуманитарлық оқыту, тіл мәдениеті, ойлау, этикет, қарым-қатынас, сөзжұмбақ, әдістеме.

G.Bayzhigitova, R. Bisembai

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS IN THE GENERAL HUMANITIES TRAINING OF TECHNICAL SPECIALISTS

Abstract. Today, higher education faces the challenge of high-quality training and providing all sectors of production with highly educated personnel. This is also reflected in the Address of the Head of State, Kassym-Jomart Tokayev, which sets a course for the creation of a Ministry of AI and Digital Development and the adoption of a Digital Code, which will contribute to improving the quality of life of every citizen of our country. In this regard, the focus of teachers of general humanities disciplines at technical universities is on revising certain aspects of the curriculum for training specialists in technical fields. This article discusses the advantages of teaching methods in general humanities disciplines, particularly linguistics. One such method, we recognize, is the active use of AI elements in teaching students and developing their communicative skills. Here, we share our experience of the interaction of artificial and natural intelligence elements through language.

Keywords: Artificial intelligence, general humanities training, language culture, thinking, etiquette, communication, crossword puzzle, method.

МАЗМҰНЫ

1-БӨЛІМ. МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ИГЕРУ ЖӘНЕ БҰРҒЫЛАУ, ГЕОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІ	3
<i>Каримова А.С., Асқаров А.С., Кабышев С.Р.</i>	3
МҰНАЙДЫ МЕЖКЕН ОРЫНДАР АРАЛЫҚ ҚҰБЫРЛАРМЕН ТАСЫМАЛДАУ КЕЗІНДЕ АБРАЗИВТІ ШӨГІНДІЛЕРМЕН КҮРЕСУГЕ АРНАЛҒАН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕР	
<i>Сабыржанқызы А., Боранбаев Д.</i>	16
КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ ҰЗАҚМЕРЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУҒА АРНАЛҒАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
<i>Сабыржанқызы А., Миданов А., Марданова А.</i>	19
ҚАБАТ ҚЫСЫМЫН ҰСТАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІ	
<i>Сейтмұханова А.С., Капизоллаева А.А.</i>	25
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МҰНАЙ ҰҢҒЫМДАРЫНДА ҚҰМ ӨНДІРУГЕ ҚОЙМА ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ӘСЕРІ	
<i>Сулейменова Р.Т., Қарасаева, Мурзиев М.Б., Жалғас Б.Е., Құттыбай Р.Б.</i>	37
ҚАБАТТАРДЫҢ Г.Р.МҰНАЙБЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІН НЕГІЗДЕУ КЕЗІНДЕ РҮТ-ТАЛДАУДЫ ҚОЛДАНУ	
<i>Досказиева Г.Ш., Бақтығалиева Н.Ж.</i>	42
БАЙШОНАС КЕН ОРНЫНДАҒЫ ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ТАЛДАУ	
<i>Сулейменова Р.Т., Нұрболатқызы А., Мурзиев М.Б., Наурызбай С.</i>	47
МҰНАЙДЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ӘДІСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ТАҢДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУДАҒЫ РҮТ ЗЕРТТЕУЛЕРІНІҢ РӨЛІ	
2-БӨЛІМ. МҰНАЙ ХИМИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІ	52
<i>Шамбилова Г.К., Исаков Р.М., Құрманғалиева А.Б., Макаров Г.И., Калауова А.С., Кадашева Ж.К.</i>	52
МҰНАЙ ЭМУЛЬСИЯЛАРЫН БӨЛУГЕ АРНАЛҒАН ПОЛИПРОПИЛЕН НЕГІЗІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАР	
<i>Шамбилова Г.К., Исаков Р.М., Макаров Г.И., Буканова С.К., Карабасова Н.А.</i>	59
АСФАЛЬТ-ПОЛИМЕРЛІ ЖОЛДАР: ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕР, ПОЛИМЕРЛЕРДІ ҚАЙТА ӨНДЕУ, ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ЗИЯНСЫЗДЫҚ ЖӘНЕ БЕТТЕРДІҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҒЫ	
<i>Кадибергенов А.Д., Исаков Р.М.</i>	66
КЕҢ КӨЛЕМДІ ГРАФИТ ҚОЛДАНЫЛҒАН ПОЛИПРОПИЛЕНГЕ АРНАЛҒАН ӨРТКЕ ТӨЗІМДІ ҚОСПАЛАР	

3-БӨЛІМ. ЭНЕРГЕТИКА, КӨЛІК ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС МӘСЕЛЕЛЕРІ

Салпакаева Р. К., Тукашев Ж.Б., Казагачева С.В. 77
 ҚҰРЫЛЫС БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНДА ВІМ ЖӘНЕ ЦИФРЛЫҚ
 ЕГІЗДЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

82

Қарасаева Г.Р.
 МАГИСТРАЛДЫ МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫН САЛУДАҒЫ
 АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ДӘНЕКЕРЛЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖӘНЕ
 ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫС САПАСЫНА ӘСЕРІ

4-БӨЛІМ. АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР 87

Бәзіл Г. Д., Тауныхов А. Д., Өтеғали М.М. 87
 ҒИМАРАТТЫҢ ЖЕЛДЕТУ ЖҮЙЕСІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН
 ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӨЗІРЛЕУ

С.С.Бекмағамбетов 94
 ТАБИҒИ ГАЗДЫ СЕПАРАЦИЯЛАУ ҮДЕРІСТЕРІН АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ
 БАСҚАРУДА PID-РЕТТЕГІШТЕРДІ ҚОЛДАНУ

5-БӨЛІМ. ЭКОНОМИКА ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР 99

Нұрсұлтанова Ж. Ғ. 99
 ҚАЗАҚСТАН МЕН ӘЗЕРБАЙЖАННЫҢ ТАУАР ЭКСПОРТЫНЫҢ
 МАКРОЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРГЕ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ӘСЕРІ

Нығметов Б.С. 107
 ҰЛЫ ДАЛА ЗАҢДАРЫ МЕН АТА ЗАҢЫМЫЗДЫҢ САБАҚТАСТЫҒЫ: (ТАРИХЫ,
 ОЙЛАР, ТҰЖЫРЫМДАР)

Байжігітова Г., Бисембай Р. 113
 ТЕХНИКАЛЫҚ МАМАНДАРДЫ ЖАЛПЫ ГУМАНИТАРЛЫҚ БІЛІМ БЕРУДЕ
 ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ҚОЛДАНУ

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ, БУРЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН	3
<i>Каримова А.С., Асқаров А.С., Кабышев С.Р.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С АБРАЗИВНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ ПО МЕЖПРОМЫСЛОВЫМ ТРУБОПРОВОДАМ	3
<i>Сабыржанқызы А., Боранбаев Д.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН	16
<i>Сабыржанқызы А., Миданов А., Марданова А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ	19
<i>Сейтмуханова А.С., Қатизоллаева А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТА НА РАЗВИТИЕ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЙ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ КАЗАХСТАНА	25
<i>Сулейменова Р.Т., Қарасаева Г.Р., Мурзиев М.Б., Жалғас Б.Е., Құттыбай Р.Б.</i> ПРИМЕНЕНИЕ РУТ-АНАЛИЗА ПРИ ОБОСНОВАНИИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ	37
<i>Досқазиева Г.Ш., Бақтығалиева Н.Ж.</i> АНАЛИЗ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЙШОНАС	42
<i>Сулейменова Р.Т., Нұрболатқызы А., Мурзиев М.Б., Наурызбай С.</i> РОЛЬ РУТ-ИССЛЕДОВАНИЙ В ВЫБОРЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ	47
ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕХИМИИ И ЭКОЛОГИИ	52
<i>Шамбилова Г.К., Исаков Р.М., Курмангалиева А.Б., Макаров Г.И., Калауова А.С., Кадашева Ж.К.</i> МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	52
<i>Шамбилова Г.К., Исаков Р.М., Макаров Г.И., Буканова С.К., Карабасова Н.А.</i> АСФАЛЬТ-ПОЛИМЕРНЫЕ ДОРОГИ: СОСТОЯНИЕ НАУКИ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ПОКРЫТИЙ	59
<i>Кадибергенов А.Д., Исаков Р.М.</i> ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛИПРОПИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЯЕМОГО ГРАФИТА	66

ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ТРАНСПОРТА И СТРОИТЕЛЬСТВА 77

Салтакаева Р. К., Тукашев Ж.Б,Казагачева, С.В. 77

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Қарасаева Г.Р. 82

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ 87

Базил Г. Д., Тауныхов А. Д., Отегали М.М. 87

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЗДАНИЯ

Бекмагамбетов С.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ И КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СЕПАРАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА 94

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИКА И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ 99

Нұрсұлтанова Ж. Ғ. 99

КРАТКОСРОЧНОЕ ВЛИЯНИЕ ТОВАРНОГО ЭКСПОРТА КАЗАХСТАНА И АЗЕРБАЙДЖАНА НА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Нигметов Б.С. 107

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЗАКОНОВ ВЕЛИКОЙ СТЕПИ И НАШИХ ПРЕДКОВЫХ ЗАКОНОВ: (ИСТОРИЯ, МЫСЛИ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ)

Байжигитова Г., Бисембай Р. 113

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЩЕГУМАНИТАРНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

CONTENTS

CHAPTER 1. PROBLEMS OF GEOLOGY, DRILLING AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS WELLS	3
<i>Karimova A.S., Askarov A.S., Kabyshev S.R.</i> TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR COMBATING ABRASIVE DEPOSITS DURING CRUDE OIL TRANSPORTATION THROUGH INTERFIELD PIPELINES	3
<i>Sabyrzhankyzy A., Boranbaev D.</i> INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR ENHANCING THE LONG-TERM DURABILITY OF HORIZONTAL WELLS	16
<i>Sabyrzhankyzy A., Midanov A., Mardanov A.</i> MODERN METHODS OF ENHANCING OIL RECOVERY USING RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEMS	19
<i>Seitmukhanova A.S., Kapizollaeva A.A.</i> THE INFLUENCE OF RESERVOIR GEOMECHANICAL PARAMETERS ON SAND PRODUCTION IN OIL WELLS IN KAZAKHSTAN	25
<i>Suleimenova R.T., Karassayeva G.R., Murziyev M.B., Zhalgas B.E., Kuttybay R.B.</i> APPLICATION OF PVT ANALYSIS IN JUSTIFYING METHODS FOR ENHANCING OIL RECOVERY OF RESERVOIRS	37
<i>Doskazieva G.Sh., Baktygalieva N.Zh.</i> ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC STUDIES OF THE BAISHONAS OIL FIELD	42
<i>Suleimenova R.T., Nurbolatkyzy A., Murziev M.B., Nauryzbay S.</i> THE ROLE OF PVT STUDIES IN THE SELECTION AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS FOR INCREASING OIL RECOVERY	47
CHAPTER 2. PROBLEMS OF PETROCHEMISTRY AND ECOLOGY	52
<i>Shambilova G., Iskakov R., Kurmangaliyeva A., Makarov G., Kalauova A., Kadasheva Zh.</i> POLYPROPYLENE-BASED MEMBRANES FOR SEPARATING OIL EMULSIONS	52
<i>Shambilova G., Iskakov R., Makarov G., Bukanova S., Karabasova N.</i> ASPHALT-POLYMER ROADS: THE STATE OF THE ART, POLYMER RECYCLING, ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND FUNCTIONALITY OF THE SURFACES	59
<i>Kadibergenov A.D., Iskakov R.M.</i> FIRE-RETARDANT ADDITIVES FOR POLYPROPYLENE USING EXPANSIVE GRAPHITE	66
CHAPTER 3. PROBLEMS OF ENERGY, TRANSPORT AND CONSTRUCTION	77
<i>Salpakaeva R. K., Tukashev Zh.B., Kazagacheva S.V.</i> PROSPECTS OF USING BIM AND DIGITAL TWINS IN EDUCATIONAL PROGRAMS FOR CONSTRUCTION	77
<i>Karassayeva G.</i> AUTOMATED WELDING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF MAIN OIL PIPELINES AND THEIR IMPACT ON CONSTRUCTION QUALITY	82

CHAPTER 4. INFORMATION TECHNOLOGIES AND PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES 87

Bazil G. D., Taupykhov A. D., Otegali M.M.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT VENTILATION CONTROL SYSTEM 87

Bekmagambetov S.S.

APPLICATION OF PID-CONTROLLERS FOR AUTOMATED CONTROL OF NATURAL GAS SEPARATION PROCESSES 94

CHAPTER 5. ECONOMICS AND SOCIAL AND HUMANITIES 99

Nursultanova Zh. G.

THE SHORT-TERM IMPACT OF KAZAKHSTAN'S AND AZERBAIJAN'S COMMODITY EXPORTS ON MACROECONOMIC INDICATORS 99

Nigmatov B.S.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LAWS OF THE GREAT STEPPE AND OUR ANCESTRAL LAWS: (HISTORY, THOUGHTS, CONCEPTS) 107

Bayzhigitova G., Bisembai R.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS IN THE GENERAL HUMANITIES TRAINING OF TECHNICAL SPECIALISTS 113

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакционная коллегия просит авторов при подготовке статей для опубликования в журнале руководствоваться следующими правилами.

Условия размещения публикаций в журнале

Для публикации принимаются статьи на казахском, русском и английском языках, содержащие ранее не опубликованные проблемные, обзорные, дискуссионные статьи в области естественных и технических наук, где освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований. А также публикуются рецензии, хроники научной жизни и мн. др.

К оформлению статей предъявляются следующие требования

Объем статьи, включая список литературы, таблицы и рисунки с подрисуночными надписями, аннотации, не должен превышать 15 страниц печатного текста. Минимальный объем статьи для технических направлений — 5 страниц, естественных — 3 страницы. В редакцию необходимо представить электронную версию статьи в полном соответствии с распечаткой. Имя файла должно начинаться фамилией первого автора на латинице (например, Ivanov.doc(rtf)); Страницы статьи должны быть пронумерованы. Указывается код по УДК.

Текст должен быть набран в программе Word любой версии, представляется на CD или другом носителе либо отправляется по электронной почте vestnik@aogu.edu.kz.

Шрифт текста — Times New Roman, размер кегля 12 пт, межстрочный интервал — одинарный. Выравнивание по ширине.

Абзацный отступ — 1,25 см. Поля верхнее — 2, нижнее — 2, левое — 2, правое — 2. Гарнитура нормальная. В таблицах, рисунках, формулах не должно быть разночтений в обозначении символов, знаков. Рисунки должны быть четкими, чистыми. На рисунки и таблицы в тексте должны быть ссылки.

В тексте число формул должно быть минимальным. Формулы должны быть набраны в соответствующем редакторе (для математических и химических формул). Таблицы должны быть озаглавлены, не допускается наличия в них пустых граф. Условные сокращения и символы следует пояснять в примечании. Иллюстративные материалы представляются в форматах: для фото, рисунков — tiff или jpeg (300 dpi для черно-белых и цветных); графики, диаграммы. На обороте рисунка или под ним указывается фамилия автора, название статьи и номер рисунка. Иллюстрации могут размещаться по тексту. Подрисуночные подписи даются отдельным списком, в конце статьи. В конце статьи рукопись подписывается всеми авторами.

Список литературы должен оформляться в соответствии с ГОСТ 7.1–2003

«Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылки на источники в тексте статьи даются только в квадратных скобках (без цитирования [12], при цитировании или пересказе авторского текста [12, с. 29]). Нумерация ссылок в статье производится по порядковому номеру источника в пристатейном списке литературы. Архивные материалы в список не включаются, ссылки на них помещаются в тексте в круглых скобках. При использовании в статье источников из электронных ресурсов или удаленного доступа (Интернета) в списке литературы приводится библиографическая запись источника и ссылка на сетевой ресурс с полным сетевым адресом в Интернете.

Например (библиографические сведения условны):

Для книг: Фамилии и инициалы авторов. Заглавие. — Сведения о повторности издания.

— Место издания: Издательство, Год издания. — Количество страниц. Например: Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра. — 3-е изд. — М.: Наука, 1984. — 294 с.

Для статей из журналов: Фамилии и инициалы авторов. Название статьи // Заглавие издания. (Серия). — Год издания. — Том. — Номер. — Страницы.

Например: Панчук Д.А., Садакбаева Ж.К., Пуклина Е.А. и др. О структуре межфазного слоя на границе металлическое покрытие–полимерная подложка // Российские нанотехнологии. — 2009. — Т. 4. — № 5-6. — С. 114–120.

Для материалов конференций, сборников трудов и т.д.: Фамилии и инициалы авторов. Название статьи // Заглавие издания: Вид издания. — Место, год издания. — Том. — Номер. — Страницы.

Например: Приходько Н.Г., Лесбаев Б.Т., Ченчик Д.И., Нажипкызы М., Мансуров З.А. Синтез углеродных наноструктур в пламени при низком давлении // VI Международный симпозиум: Физика и химия углеродных материалов/ Наноинженерия. – Алматы, 2010. - С. 135-138.

Список литературы предоставляется на том языке, на котором цитируется статья. Сведения об авторах

К рукописи прилагаются:

- 1) справка о каждом из авторов статьи с указанием фамилии, имени, отчества; ученой степени; ученого звания; основного места работы; должности; домашнего, служебного или мобильного телефонов; электронного и почтового адресов (для связи с редакцией);
- 2) для магистрантов, аспирантов и соискателей — выписка из протокола заседания кафедры, заверенная в деканате и руководителем темы;
- 3) информация о том, кому из соавторов следует адресовать вопросы ответ.редактора и/или направлять корректуру.

Все статьи, поступившие в редакцию, рецензируются.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла статьи.

Статьи публикуются по мере поступления.

Схематический пример оформления статьи

УДК
МРНТИ

В. Борисов, И.Утепов, С.Ранова

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: v.borISOV@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ НПЗ НА ЭКОСИСТЕМУ РЕГИОНА

Аннотация.

Ключевые слова:

Текст статьи.

Список литературы

В конце статьи приводится ФИО авторов, название статьи и аннотация на казахском (русском), английском языках (размер шрифта на кегель меньше, чем основной).

Ответственность за содержание материала несут авторы.

С уважением, редакция научного журнала «Вестник АУНГ».

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай газ университетінің хабаршысы
Ғылыми журнал

Материалдарды компьютерде беттеп, баспадан шығарған Атырау мұнай және газ
университетінің Баспа орталығы.
Басуға 24.11.2025ж. қол қойылды.
Пішімі А4. Көлемі 16,29 б.т. Таралымы 100 дана.

Вестник Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева
Научный журнал

Верстано и тиражировано в Издательском центре Атырауского университета нефти и газа.
Подписано в печать 24.11.2025 г.
Формат А4. Объем 16,29 п.л. тираж 100 экз.