



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

international scientific-practical journal

ALMATY, KAZAKHSTAN

ISSN: 3007-8946

15 SEPTEMBER 2025



els.education23@mail.ru



irc-els.com

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

15 сентября 2025 г.
Almaty, Kazakhstan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205191>
УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДАНИИ В УСЛОВИЯХ «ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДА»

КАЧАН СВЕТЛАНА АРКАДЬЕВНА

доцент, кандидат технических наук,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается опыт энергетики Дании, который представляет интерес с точки зрения привлечения установок, работающих на органическом топливе, для покрытия переменной части суточного графика электрических нагрузок в условиях большой доли возобновляемой энергетики. Ставка на комбинированное производство тепловой и электрической энергии как альтернатива разделному производству энергии, курс на энерго- и ресурсосбережение позволили Дании за несколько десятилетий создать эффективную и экологически чистую энергетическую систему

Ключевые слова: энергосистема, ветряные установки, теплоэлектроцентраль, маневренность, электрокотлы, тепловые насосы

В 2017 году Всемирный банк объявил Данию мировым лидером в области «зеленой» энергетики, основу которой составляют ветряные и солнечные установки. Страной декларировано стремление к полной декарбонизации энергетики к 2050 году [1].

При том, что энергия ветра не постоянна и не предсказуема во времени и её производство не всегда соответствует спросу, в 2019 году ветряные установки обеспечили порядка половины выработки электроэнергии, а в 2023 году доля возобновляемой генерации в стране превысила 80%. Уже сегодня датская энергосистема должна справляться с ситуациями, когда генерация ветровой энергии превышает 100 % национального потребления, что случается все чаще. При этом чрезвычайно актуальной задачей является балансирование нагрузки и генерации (рисунок 1 [1]).

Гибкость датской энергетической системы и возможность интеграции переменных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стали возможны благодаря следующему:

- рыночная диспетчеризация электроэнергии обеспечивает экономически эффективное использование генерирующих мощностей на почасовой и субпочасовой основе и создает ясные и прозрачные ценовые сигналы для участников энергетического рынка;
- тесная интеграция датской энергосистемы с энергосистемами соседних стран и достаточная мощность межсетевых соединений, а также международные соглашения, позволяют осуществлять трансграничную торговлю балансирующей электроэнергией;
- современная система прогнозирования производства ВИЭ со стороны оператора уменьшает необходимость в дополнительных мерах гибкости;
- парк тепловых электростанций (ТЭС) стал одним из самых маневренных в мире для гибкого резервирования и поддержания баланса между производством и потреблением электроэнергии.

Хотя ветроэнергетика вносит основной вклад в декарбонизацию датской энергосистемы, повышение общей энергоэффективности в секторе электро- и теплоснабжения также имеет большое значение. Это стало результатом увеличения доли централизованного теплоснабжения – в основном за счёт комбинированного производства тепла и электроэнергии на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ).

Конденсационные электростанции (КЭС) в Дании со временем были выведены из эксплуатации, поскольку они существенно проигрывают ТЭЦ в экономичности. Как правило, КПД котельной составляет около 90 – 95 %, КПД КЭС всего около 45 %, а КПД

ТЭЦ ориентировочно 85 – 93 %, что обеспечивает общесистемную экономию топлива примерно 30% по сравнению с раздельным производством тепла и электроэнергии.

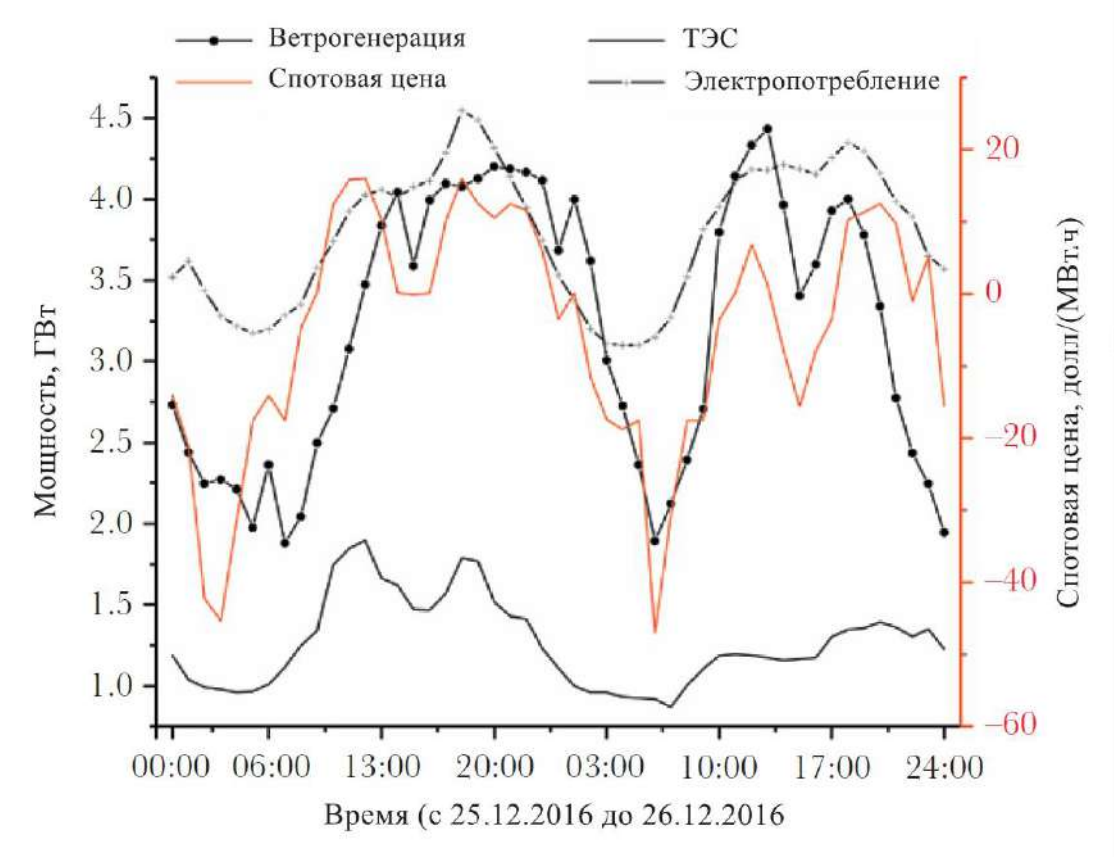


Рисунок 1. Производство, потребление и спотовая цена электроэнергии в Дании в два типичных дня (воскресение и понедельник) 2016 года

Повышение маневренности тепловых электростанций в Дании происходило постепенно, в течение нескольких последних десятилетий, в ответ на возрастающую потребность в гибкой эксплуатации ТЭС в связи со значительным ростом доли ВИЭ. Рассмотрим основные показатели маневренности электростанций датской энергетики и способы их повышения (таблица 1).

Таблица 1. Обзор основных способов повышения маневренности ТЭС Дании

Способ повышения эксплуатационной гибкости	Вид энергоблока	
	теплофикационный (ТЭЦ)	конденсационный (КЭС)
Расширение регулировочного диапазона	Снижение технического минимума нагрузки	
	Перегрузка выше номинальной мощности	
Более гибкий режим работы в регулировочном диапазоне	Увеличение скорости изменения нагрузки	
	Более быстрый/экономичный пуск/останов энергоустановки	
Разделение производства теплоты и электроэнергии во времени	Байпасирование паровой турбины	
	Аккумулирование теплоты	
	Электродогреватели и тепловые насосы	

Расширение регулировочного диапазона

Тепловые электростанции обычно имеют возможность работать в режиме перегрузки, вырабатывая на 5 – 10 % больше электроэнергии по сравнению с эксплуатацией при номинальной нагрузке. Это позволяет увеличить производство электроэнергии в периоды, когда дополнительная выработка выгодна и снижает необходимость вынужденного пуска новых установок в энергосистеме, когда требуется дополнительная мощность. Инвестиционные затраты на модернизацию по данным [2] составляют около 1000 евро за МВт паспортной мощности, что эквивалентно 0,3 миллионов евро для энергоустановки мощностью 300 МВт.

В настоящее время минимальная нагрузка котлов (в основном прямоточных) на крупных датских тепловых электростанциях находится в диапазоне 15 – 25 % [1] при том, что проектная минимальная нагрузка для котлов типа Benson обычно составляет около 40 %. При относительно небольших инвестициях котлы такого типа, как правило, могут быть модернизированы для стабильной работы с нагрузкой в диапазоне 20 – 25 %. Стоимость такой модернизации составляет около 15 000 евро за МВт или около 4 – 5 миллионов евро для электростанции мощностью 300 МВт [2]. Дополнительные инвестиционные затраты на новую установку составят менее 1 % от общих капитальных вложений. Инвестиции включают ввод системы циркуляции котловой воды, настройку системы сжигания, что позволяет сократить количество работающих мельниц, а также модернизацию системы управления и, возможно, переобучение персонала станции [2].

С уменьшением нагрузки снижается эффективность работы энергоустановок. Это приводит к росту эксплуатационных затрат и выбросов на единицу производимой энергии, то есть напрямую является не выгодным. Однако, если снижение нагрузки ТЭС поспособствует повышению маневренности энергосистемы и позволит интегрировать больше ВИЭ, это обеспечит системную выгоду как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Если периоды низких цен на электроэнергию достаточно продолжительны, то может быть более экономичным не снижать нагрузку, а останавливать генерирующую установку на определённый период, несмотря на расходы, связанные с остановочно-пусковым режимом.

Более гибкий режим работы в регулировочном диапазоне

Датские угольные электростанции обычно имеют скорость набора мощности примерно 4 % от номинальной нагрузки в минуту при использовании основного топлива и до 8 % при использовании дополнительных видов топлива, таких как мазут или газ, применяемых для ускорения набора мощности. При сжигании природного газа этот показатель достигает 9 % номинальной нагрузки в минуту [1].

Быстрый набор мощности приводит к ускоренному изменению температуры материалов и росту напряжений в них, что требует дополнительного контроля происходящих процессов. Уровень инвестиций, необходимых для повышения скорости набора мощности, в значительной степени зависит от объема требуемой модернизации. В некоторых случаях инвестиции могут быть ограничены только новым программным обеспечением и/или перепрограммированием системы управления. Если потребуется техническая модернизация, то затраты будут выше.

Разделение производства теплоты и электроэнергии во времени

В Дании до 70% тепла, круглогодично используемого для целей отопления и горячего водоснабжения, вырабатывается на крупных и малых ТЭЦ. Для разделения во времени процессов производства тепла и электроэнергии на теплоэлектроцентралях в Дании популярным техническим решением является применение крупных водяных теплоаккумуляторов (как под повышенным давлением, так и атмосферного типа).

Теплоаккумуляторы позволяют ТЭЦ непрерывно обеспечивать необходимую потребность в тепле, изменяя выработку электроэнергии (обычно в сторону ее снижения) в зависимости от цен на электроэнергию.

Объём резервуаров-аккумуляторов тепла в Дании обычно составляет от 20 000 до 70 000 кубических метров для крупных электростанций (номинальной мощностью 300 – 600 МВт), а инвестиционные затраты, как правило, находятся в диапазоне 5 – 10 миллионов евро [2].

Оптимальный размер резервуара-аккумулятора тепла зависит как от его типа (напорный или атмосферный), так и от уровня спроса на тепло, сезонного и суточного графика его потребления, а также от общих характеристик ТЭЦ, гибкости ее эксплуатации.

Потери тепла из хорошо эксплуатируемого и обслуживаемого резервуара-аккумулятора весьма невелики.

Зимой теплоаккумуляторы обычно рассчитаны на покрытие потребности в тепле в течение 2 – 6 часов, в то время как в месяцы с низким потреблением тепла его запаса может хватить на выходные дня или более. Это даёт возможность приостанавливать работу станции на пару дней при низких ценах на электроэнергию.

Резервуары-аккумуляторы могут использоваться для централизованного коммунального теплоснабжения, в то время как ТЭЦ, вырабатывающие промышленное технологическое тепло, как правило, не могут применять преимущества накопления тепла из-за значительно более высоких температур технологического пара и необходимости применения резервуаров под повышенным давлением.

Техническим решением, расширяющим границы эксплуатации для ТЭЦ, в этом случае является *частичный или полный байпас паровых турбин*.

В режиме полного байпаса ТЭЦ будет функционировать как котел, работающий только для производства тепла с горячей водой и паром, что позволит полностью исключить выработку электроэнергии в периоды низких цен на нее.

В то время как теплоаккумулирующий бак обычно обеспечивает лишь относительно короткий период разделения выработки электроэнергии и тепла, режим частичного или полного байпаса позволяет ТЭЦ при необходимости оставаться вне рынка электроэнергии в течение более длительного времени, а в случае полного байпаса дает станции возможность на время вообще отказаться от производства электроэнергии.

Если инфраструктура станции позволяет, то частичный или полный байпас может увеличить максимальную теплопроизводительность ТЭЦ. Это позволяет сократить или отказаться от производства зачастую более дорогостоящей пиковой тепловой мощности.

Установка байпаса или проектирование новых станций с частичным или даже полным байпасом может быть целесообразным, если рыночная ситуация характеризуется длительными и/или частыми периодами низких цен на электроэнергию.

Внедрение байпаса на существующих ТЭЦ требует модернизации оборудования, объем которой в значительной степени зависит от конфигурации станции. Затраты, связанные с модернизацией действующей станции с частичным байпасом, то есть обводом турбины высокого давления, составляют от 10 000 до 20 000 евро за МВт, или примерно от 3 до 6 миллионов евро для ТЭЦ мощностью 300 МВт [2]. Модернизация с частичным байпасом может быть сложной из-за ограничений, связанных с компоновочными решениями действующего оборудования станции. Для новой электростанции дополнительные затраты на строительство с частичным байпасом оцениваются в диапазоне от 0,5% до 1% общих капитальных вложений [2].

Помимо ТЭЦ, всё более важную роль в развивающейся системе централизованного теплоснабжения Дании будут играть *электрические котлы и тепловые насосы*.

Крупные электрокотлы устанавливаются в Дании с начала 2000-х годов. Преобразуя электроэнергию в теплоту, эти установки предоставляют дополнительную пиковую или резервную тепловую мощность при использовании низких (или даже отрицательных) цен на электроэнергию, и, соответственно обеспечивают оперативное регулирование на внутрисуточных и балансирующих рынках.

Специально введенные налоговые льготы для электрических котлов сделали их использование более финансово привлекательным в условиях низких цен на электроэнергию.

В 2017 году электроэнергия, расходуемая электростанциями, составила примерно 1% от выработки электроэнергии в Дании.

Отметим, что стоимость электрических котлов увеличивается при их установке в сочетании с тепловыми аккумуляторами.

Альтернативой преобразования избыточной электроэнергии в теплоту является применение *тепловых насосов*.

Например, в 2024 году в городе Эсбьерг запущен тепловой насос на CO₂ мощностью 30 МВт, преобразующий теплоту вод Северного моря и питающийся электроэнергией от близлежащей ветряной электростанции. Так районная котельная, которая оснащена уже вторым тепловым насосом на CO₂ заменит недавно выведенную из эксплуатации угольную ТЭС. Тепловые насосы работают в тандеме с недавно установленным котлом мощностью 60 МВт, который использует экологически чистую древесную щепу. Также на объекте установлена электрическая котельная мощностью 40 МВт для обслуживания пикового спроса и резервного питания основной системы.

Биомасса в Дании освобождена от налогообложения, что делает её привлекательным сырьем для производства тепла, в особенности на децентрализованных ТЭЦ.

Примером использования биомассы, для мощных ТЭЦ является перевод с угля на возобновляемые древесные гранулы крупнейшей датской угольной электростанции Asnæs Power Station возле Kalundborg, общая генерирующая мощность которой составляет 797 МВт электроэнергии и 932 МДж/с тепла, а также ввод электростанции Avedøre-2 к югу от Копенгагена мощностью 570 МВт на биомассе.

В 2016 году в муниципалитете Frederiksberg Forsyning в Копенгагене было проведено первое в мире испытание взаимодействия электромобилей с сетью. Так, подключенные к сети 10 электромобилей могли возвращать энергию из аккумуляторных батарей автомобилей в сеть и тем самым обеспечивать балансировку электросети.

В 2017 году проект EnergyLab Nordhavn начал тестирование гибкости энергосистемы посредством накопления электроэнергии. Проект включает в себя подключенную к сети аккумуляторную батарею емкостью 460 кВт·ч (преобразователь 630 кВт), которая в будущем будет использоваться для балансирования спроса и предложения электроэнергии в жилом районе Дании.

В заключение отметим, что электрификация теплоснабжения может сыграть важную роль в компенсации колебаний генерации ветроэнергетики и достижении 100%-ой экологичности систем электроснабжения и отопления. Развивающиеся технологии, связанные с производством водорода, позволят обеспечить долгосрочное хранение электроэнергии, а будущие вспомогательные услуги обеспечат балансировку мощности. Датский опыт и уроки, извлеченные из прошлых и текущих исследовательских проектов, могут быть применены в других энергосистемах с целью повышения их гибкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. A review of Danish integrated multi-energy system flexibility options for high wind power penetration / Jiawei Wang, Yi Zong, Shi You, Chresten Træholt // Clean Energy / – 2017.
2. Thermal Power Plant Flexibility // the Clean Energy Ministerial campaign / – 2018.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205240>
УДК 637.146

КИСЛОМОЛОЧНЫЕ НАПИТКИ НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО СЫРЬЯ: АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВ ДЛЯ КАЗАХСТАНА

ДИХАНБАЕВА ФАТИМА ТОКТАРОВНА

доктор технических наук, член-корреспондент Национальной академии аграрных наук
РК, профессор кафедры «Технология продуктов питания»,
Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

ЖУМАХАН АЙГЕРИМ ОМИРТАЙКЫЗЫ

Магистрант кафедры «Технология продуктов питания»,
Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан.

Аннотация: Целью данной работы выступает научно-технологическое обоснование разработки кисломолочных напитков на основе смешанного сырья для условий Казахстана с переменным качеством молока. Применён обзорно-аналитический подход: статистика БНС РК за последние 5 лет сопоставлена с литературой за 15 лет по молочно-растительным матрицам, сыворотке/пермеату, жизнеспособности LAB (*Lactic Acid Bacteria*) и реологии. Обоснована целесообразность вовлечения местных субстратов (овёс, тары, гречиха, зернобобовые) и побочных потоков (сыворотка, пермеат). Предложены технологические ориентиры: pH 4,2–4,6; жизнеспособность LAB $\geq 10^7$ КОЕ/мл к концу хранения; использование штаммов-продуцентов экзополисахаридов для снижения синерезиса. Сформирована матрица «сырьё → закваска → режим ферментации → показатели качества» с критическими контрольными точками, учитывающими требования ТР ЕАЭС 033/2013. Результаты задают воспроизводимую траекторию проектирования рецептур и режимов ферментации для получения стабильных функциональных напитков на локальной сырьевой базе.

Ключевые слова: кисломолочные напитки; смешанное сырьё; молочно-растительные матрицы; экзополисахариды; жизнеспособность LAB.

Введение: В последние годы спрос на продукты с доказанной физиологической ценностью смещается в сторону ферментированных пищевых матриц с про- и пребиотическим эффектом. Глобально производство молока продолжает расти (прогноз на 2024 г. — около 979 млн т, +1,4 % к 2023 г.), что сопровождается расширением ассортимента кисломолочных напитков и активным поиском технологий, повышающих пищевую и функциональную ценность продуктов без усложнения рецептурного состава. Ферментация молочнокислыми бактериями повышает биодоступность минералов и аминокислот, снижает уровень антинутриентов растительного сырья (фитатов, танинов), формирует желаемые органолептические характеристики и стабильность, а также обеспечивает высокую концентрацию жизнеспособных клеток LAB (*Lactic Acid Bacteria*). Обзорные исследования по молочным и молочно-растительным напиткам последовательно демонстрируют эти эффекты и подчеркивают потенциал комбинированных матриц «молоко + злаки/бобовые/псевдозлаки».

Во всём мире активизируется интерес именно к молочно-растительным композициям: ряд современных обзоров показывает, что использование растительных субстратов (соя, нут, горох, овёс, гречиха, просо и др.) в сочетании с молочной основой и направленной ферментацией LAB улучшает аминокислотный профиль, повышает растворимость и переваримость белков, обогащает напитки биологически активными метаболитами и антиоксидантами, одновременно нивелируя «бобовый» привкус и снижая вязкость крахмальных систем. Эти эффекты достигаются за счёт ферментативного гидролиза,

кислотообразования и синергии микробных сообществ (*Lactobacillus/Lacticaseibacillus*, *Streptococcus thermophilus* и др.) [1-3].

Молочное животноводство РК демонстрирует умеренную положительную динамику: за январь–октябрь 2024 г. выпуск коровьего молока вырос на 4,2 % ($\approx 3,1$ млн т), а по итогам 2023 г. производство оценивалось на уровне $\approx 3,42$ млн т. При этом перерабатывающая инфраструктура остаётся недозагруженной (около 180 предприятий, суммарная мощность порядка 2,7 млн т в год, средняя загрузка ниже оптимальной), а по ряду категорий сохраняется импортозависимость, включая сегмент йогуртов/кефира и других ферментированных продуктов. Дополняют картину колебания потребления молочной продукции населением и региональная неоднородность сырьевой базы. Всё вместе формирует запрос на технологии продуктов с добавленной стоимостью, способных гибко использовать местное сырьё (зёрновые и бобовые культуры Казахстана) и стабилизировать качество готовой продукции [4].

С научно-технологической точки зрения разработка кисломолочных напитков на основе смешанного сырья предполагает создание многокомпонентной ферментируемой матрицы, состоящей из молочной базы (молоко, восстановленное молоко, сыворотка, пермеат и т.п.) и стандартизованных растительных ингредиентов (экстракты/напитки из злаков и псевдозлаков, бобовых, фруктово-ягодные наполнители, пищевые волокна). Процесс ведётся контролируемой закваской LAB (при необходимости — с участием дрожжей для смешанного брожения в «кефироподобных» системах), что обеспечивает направленную кислотонакопление, протеолиз и модификацию углеводно-полисахаридной фазы. Результирующий напиток характеризуется пониженной pH и титруемой кислотности, повышенной биодоступностью минералов (за счёт деградации фитатов) и улучшенной текстурой/стабильностью белково-полисахаридного каркаса; требования безопасности и маркировки определяются техническим регламентом ЕАЭС TR ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и профильными межгосударственными/национальными стандартами на кисломолочные продукты и закваски [5-6].

Цель настоящего исследования: провести комплексный научно-технологический анализ предпосылок и ограничений разработки технологии кисломолочных напитков на основе смешанного сырья в условиях Казахстана, где качество молочного сырья подвержено сезонной и хозяйственной вариабельности. Исследование направлено на формирование научно обоснованных подходов к выбору сырьевых комбинаций, заквасочных культур и режимов ферментации, а также на определение критических контрольных точек, обеспечивающих микробиологическую безопасность, стабильность текстуры и целевые функциональные свойства напитка.

Материалы и методы исследований

Работа выполнена в формате обзорно-аналитического исследования с использованием библиографических, нормативно-аналитических и статистических методов. В качестве статистических источников использованы открытые данные Бюро национальной статистики РК за последние 5 лет, сопоставленные с агрегированными сведениями FAOSTAT/WHO и отраслевой отчетностью МСХ РК. Нормативную рамку составили ТР ЕАЭС 033/2013, действующие межгосударственные и национальные стандарты на кисломолочные продукты, закваски и компоненты растительного происхождения. Научно-аналитический корпус сформирован по результатам целевого поиска публикаций за последние 15 лет в Scopus, Web of Science и Google Scholar: включены рецензируемые статьи, систематические обзоры и экспериментальные работы по молочно-растительным системам, сывороточным и пермеат-основам, пробиотической устойчивости и реологии смешанных матриц; исключены нереконструируемые и рекламные материалы.

Поиск публикаций проводился с использованием ключевых слов на русском и английском языках: «*кисломолочные напитки*», «*молочно-растительные напитки*»,

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

«сыворотка», «пермеат», «экзополисахариды», «жизнеспособность LAB», «реология кисломолочных гелей», «биодоступность минералов», «анти-нуптриенты», “mixed-substrate fermented dairy beverages”, “dairy-plant blends”, “whey/permeate”, “ β -glucan”, “exopolysaccharides”, “LAB viability”, “syneresis”, “milk buffering capacity”, “phytate degradation”, “phenolic bioavailability”.

Результаты и обсуждения:

В 2024 г. производство коровьего молока в РК достигло $\approx 3,5$ млн т, что на 4,4 % выше уровня 2023 г.; при этом доля сельхозпредприятий составила ≈ 39 %, а личных подсобных хозяйств — ≈ 61 %, что указывает на фрагментированную сырьевую базу и вариабельность качества исходного молока. Параллельно в 2024 г. потребление молока и молокопродуктов на душу населения в I–II кварталах колебалось около 56,3–57,9 кг за квартал, а годовой ориентир 2023 г. оценивался в $\approx 227,2$ кг/чел. (против пиковых $\approx 259,4$ кг/чел. в 2020 г.). Эти данные одновременно демонстрируют устойчивый спрос и окно для расширения ассортимента ферментированных напитков с добавленной ценностью.

Несмотря на рост внутреннего производства, сохраняется импортозависимость по ряду ферментированных категорий: в 2024 г. суммарный импорт молочной продукции достиг ≈ 183 тыс. т (+4 % к 2023 г.), а йогуртов и кефира — $\approx 31,2$ тыс. т (основные поставки из РФ и Кыргызстана, при заметном росте поставок из Турции). Для национального рынка это означает незакрытую нишу продуктов локального производства с функциональными свойствами и стабильным качеством — в частности, кисломолочных напитков на основе смешанного сырья, способных конкурировать по пищевой ценности, вкусу и сроку годности.

Технологии на смешанной сырьевой основе особенно релевантны с учётом структуры сырьевого сектора и планов его наращивания: в 2023–2024 гг. анонсированы проекты по созданию новых молочных ферм (≈ 81) и перерабатывающих заводов (≈ 17); при этом в начале 2024 г. отмечался рост удоев (+20,2 % к 2023 г.). Комбинирование молочной базы с местными зерновыми и бобовыми компонентами позволяет повысить аминокислотный и микронутриентный баланс, снизить себестоимость и варьировать текстуру, а контролируемая ферментация — стабилизировать качество при соблюдении требований ТР ЕАЭС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». Всё это обосновывает необходимость разработок в сегменте кисломолочных напитков на основе смешанного сырья как импортозамещающего и технологически адаптивного решения для рынка РК [7].

Таблица 1 - Структура поголовья КРС по направлениям в Республике Казахстан за 2020–2024 гг. [8].

Год	КРС молочного направления		КРС мясного направления		КРС молочно-мясного направления	
	Всего	из них коровы	Всего	из них коровы	Всего	из них коровы
2020	5 220 259	2 658 050	725 783	362 597	1 904 002	951 229
2021	4 814 730	2 493 152	1 090 058	504 107	2 287 627	1 238 400
2022	3 484 131	1 765 833	1 349 136	719 405	1 703 015	912 113
2023	3 457 535	1 902 113	1 404 339	778 860	1 754 962	977 705
2024	4 007 210	2 201 011	1 351 914	675 409	2 617 541	1 483 952

Сводные данные по КРС за 2020–2024 гг. (табл. 1) фиксируют умеренный рост общего поголовья: с 7 850 044 до 7 976 665 голов (+1,6 %) при выраженной волатильности ряда (пик 2021 г. — 8 192 415, затем спад 2022 г. до 6 536 282, –20,2 % к 2021 г., и восстановление в 2023–2024 гг.). На этом фоне произошла структурная перестройка: доля КРС молочного направления сократилась с 66,5 до 50,2 % (–16,3 п.п.; –1 213 049 голов), тогда как молочно-

мясного выросла с 24,3 до 32,8 % (+8,5 п.п.; +713 539 голов), а мясного — с 9,2 до 16,9 % (+7,7 п.п.; +626 131 голов).

Численность коров увеличилась с 3 971 876 до 4 360 372 голов (+9,8 %), их удельный вес в стаде поднялся с 50,6 до 54,7 % (+4,1 п.п.). В 2024 г. в молочно-мясном сегменте доля коров достигла 56,7 % (1 483 952 из 2 617 541), в молочном — 54,9 % (2 201 011 из 4 007 210), в мясном держится у ≈50,0 % (675 409 из 1 351 914). При этом число коров молочного направления в 2024 г. превысило уровень 2023 г. на 15,7 %, но остаётся ниже 2020 г. на 17,2 %, что ограничивает потенциал прироста «чисто молочного» сырья при росте доли комбинированных направлений.

Сокращение удельного веса «чисто молочного» стада и расширение молочно-мясного и мясного сегментов повышают неоднородность сырьевой базы (жир/белок, буферная ёмкость, микробиологический фон), что требует рецептурной и микробиологической стандартизации при производстве ферментированных напитков. Разработка технологий кисломолочных напитков на основе смешанного сырья (молоко/сыворотка/пермеат в сочетании с злаково-бобовыми компонентами) формирует инструмент выравнивания аминокислотного и углеводно-полисахаридного профиля, стабилизации кислотонакопления и текстуры, а также оптимизации себестоимости в условиях колебаний структуры стада и качества исходного молока.

Таблица 2 - Производство молока коровьего в Республике Казахстан за 2020–2024 гг., тонн [8].

Год	Сельхоз-формирования	В том числе		Хозяйства населения	Все категории хозяйств
		Сельхоз-предприятия	индивидуальные предприниматели и крестьянские или фермерские хозяйства		
2020	1693504,6	463 208,1	1 230 296,5	4 310 859,8	6 004 364,4
2021	1799806,2	508 367,7	1 291 438,5	4 399 035,8	6 198 842,0
2022	1189642,6	522 741,5	666 901,1	2 118 797,2	3 308 439,8
2023	1 288 243,6	600 406,8	687 836,8	2 132 171,9	3 420 415,6
2024	1 392 824,0	688 191,5	704 632,5	2 184 552,0	3 577 376,0

Анализ валового производства молока (табл. 2), показывает, что за 2020–2024 гг. выпуск по всем категориям хозяйств снизился с 6 004 364,4 до 3 577 376,0, то есть на 40,5 %. Наибольшее сокращение зафиксировано в 2022 г. (–46,6 % к 2021 г.), что сформировало устойчиво более низкую траекторию с последующим умеренным ростом в 2023–2024 гг. (+3,4 % и +4,6 % соответственно). Снижение обусловлено главным образом хозяйствами населения: их объём упал до 2 118 797,2 т в 2022 г. и оставался в диапазоне 2,13–2,18 млн т в 2023–2024 гг., а удельная доля в общем выпуске снизилась с 71,8 % (2020 г.) до 61,1 % (2024 г.).

Параллельно увеличивалась доля сельхоз-формирований (сумма «сельхозпредприятий» и «ИП/КФХ»): 28,2 % → 38,9 % за период. Внутригрупповая структура смещалась в пользу сельхозпредприятий: их роль в составе сельхоз-формирований возросла с 27,35 % до 49,41 %, а выпуск демонстрировал прирост даже в 2022 г. (+2,8 %), ускоряясь в 2023–2024 гг. (+14,9 %; +14,6 %). Вклад категорий в спад 2021→2022 гг.: хозяйства населения –2,28 млн т (≈79 % общего снижения), ИП/КФХ –0,63 млн т (≈22 %), предприятия +14,4 тыс. т (компенсирующий эффект). Эти сдвиги повышают концентрацию

предложения и одновременно усиливают вариабельность технологических свойств сырья на уровне переработки (жир, белок, буферная ёмкость, микробиология).

Учитывая статистические данные, при разработке кисломолочных напитков на основе смешанного сырья целесообразно:

- адаптировать состав заквасок и режимы ферментации под изменившийся профиль молока;
- использовать комбинированные матрицы с вовлечением сыворотки/пермеата и зернобобовых ингредиентов для выравнивания белково-углеводного баланса и стабильности кислотонакопления;

- опираться на сегмент сельхозпредприятий как более предсказуемый канал сырья, одновременно разрабатывая рецептурные допуски для сырья из ИП/КФХ и домохозяйств.

Кисломолочные напитки смешанного типа представляют собой многофазные системы, где кислотная гелеобразующая молочная матрица (молоко, сыворотка, пермеат) сочетается с растительными экстрактами/фракциями (злаки, бобовые, псевдозлаки, пищевые волокна). Такая конфигурация одновременно решает задачи нутритивной плотности, устойчивого сырьевого обеспечения и вовлечения побочных потоков молочной отрасли (сыворотка/пермеат) с добавленной функциональностью. Современные обзоры подчёркивают растущую роль молочно-растительных носителей для доставки пробиотиков и функциональных ингредиентов, а также разнообразие технологических траекторий (совместная или последовательная ферментация, ко-культивирование штаммов) для достижения стабильной текстуры и безопасности продукта [9].

В смешанных системах ключевую роль играют LAB (homo-/гетероферментативные), реализующие кислотогенез, клеточно-стенный протеиназный комплекс и каскад внутриклеточных пептидаз (рост свободных АК, образование биоактивных пептидов), а также набор гликозидгидролаз и фитаз/ферулоилэстераз, которые снижают антинутриенты (фитаты, танины, GOS) и повышают биодоступность Ca, Fe, Zn и флавоноидов-агликонов. Для зерновых/псевдозерновых и бобовых систем показано ускоренное разрушение фитатов при молочнокислой ферментации и рост усвоения минералов; LAB (прежде всего *Lactiplantibacillus plantarum*) обладают ферментными системами, высвобождающими связанный фенольный пул (феруловая кислота и др.). Две основные «опоры» реологии смешанных напитков — in situ-синтез экзополисахаридов (EPS) штаммами LAB и управление белок-полисахаридными взаимодействиями. EPS снижают синерезис, повышают вязко-упругость кислых гелей (за счёт удержания свободной воды и мостиковых взаимодействий с казеиновым каркасом) и позволяют уменьшать/исключать внешние стабилизаторы. Одновременно введение β -глюкана овса/ячменя модифицирует агрегацию белков, управляет вязкостью и стратификацией; оптимальные дозы лежат в окрестности 0,3–0,6 %, тогда как превышение ведёт к фазовому разделению или чрезмерной вязкости — следовательно, дозирование волокон должно увязываться с штаммами-производителями EPS и режимом ферментации [10–12].

Требования к «эффективным дозам» пробиотиков в пищевых носителях связывают потребительскую порцию с целевым уровнем жизнеспособных клеток (часто ориентируются на 10^8 – 10^9 КОЕ на порцию и $\geq 10^7$ КОЕ/мл к концу срока годности), при этом буферная ёмкость и белково-минеральная фаза молочной матрицы демонстрируют более выраженный гастропротективный эффект по сравнению с растительными основами. Для моделей «молоко vs овсяная основа» показано, что молоко лучше поддерживает выживаемость *L. casei*/*L. johnsonii* в имитации ЖКТ, тогда как растительная матрица требует целенаправленной корректировки состава (белки, волокна, EPS-штаммы).

Ферментация растительных фракций повышает долю свободных фенолов и антиоксидантную активность за счёт высвобождения связанного фенольного пула и деградации фитатных комплексов; в сывороточных/смешанных напитках дополнительно формируются биоактивные пептиды (антиоксидантные, антигипертензивные и др.) из β -

лактоглобулина/альбумина. Для сладкой сыворотки с ячменем и маракуйей показана идентификация десятков антиоксидантных пептидов и синергия с растительными фенолами, что иллюстрирует аддитивный эффект смешанных матриц. LAB обладают α -галактозидазной и β -глюкозидазной активностями, снижающими содержание раффинозы/стахиозы (уменьшение газообразования) и переводящими изофлавоны соевых и бобовых компонентов в более биодоступные агликоны — это одновременно улучшает переносимость и сенсорный профиль молочно-растительных напитков. В смешанных композициях «бобовые + злаки» ферментация LAB снижает GOS, вицин/конвицин и корректирует ароматические ноты, что открывает путь к синбиотическому дизайну (штамм + субстрат-пребиотик) [13-15].

В структуре посевных площадей РК устойчиво доминируют зерновые (пшеница, ячмень), расширяются масличные и бобовые; в 2023 г. под ячменем было ~2,42 млн га, под льном ~0,73 млн га, совокупно под горохом/чечевицей/нутом — свыше 0,37 млн га, при этом площадь и выпуски по чечевице и гороху за десятилетиекратно выросли. В 2024 г. подтверждён прирост валового урожая зерновых и зернобобовых, а по гречихе сообщалось о сборе ~118,1 тыс. т (рост на 42 % к 2023 г.). Для второстепенных культур, важных в напитках, сохраняются стабильные объёмы: ячмень — ~3,8 млн т (2024/25), просо (тары) — ~65 тыс. т. Это сочетание доступности и диверсификации сырья создаёт базу для молочно-растительных матриц.

Овсяная фракция технологически компонирует с молочной матрицей: β -глюкан и растворимые волокна повышают влагоудержание и вязко-упругость кислых гелей, снижают синерзис, а молочнокислая ферментация (*Lactiplantibacillus/Lacticaseibacillus*, *S. thermophilus*, бифидобактерии) повышает содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность, частично деполимеризуя клеточные стенки и высвобождая связанный фенольный пул. Для ферментированных овсяных напитков показано улучшение текстуры, а также стабильная жизнеспособность культур при хранении; современные обзоры детально описывают стратегии повышения сенсорики и безопасности. В совокупности овёс — один из приоритетных носителей для смешанных напитков в РК [16].

Для континентально-засушливых зон РК просо ценно как засухо- и жаростойкое безглютеновое сырьё с высоким содержанием крахмала, минорных белков и фенольных соединений. Целенаправленная ферментация (в т.ч. на биообогащённых сортах) снижает фитиновую кислоту, повышает переваримость белка и формирует благоприятный органолептический профиль; в молочно-просовых композициях (например, «скуточное молоко + просовая мука») показаны рост антиоксидантной активности и приемлемые реологические характеристики при жизнеспособности $\text{LAB} \geq 7 \log \text{КОЕ/мл}$. Комбинации LAB/дрожжей дополнительно расширяют профиль летучих ароматических соединений и улучшают сенсорику. Для Казахстана тары — стратегическая безглютеновая основа [17].

Гречишные экстракты обогащают напитки кверцетин-содержащими фенолами, магнием и высококачественным белком; молочнокислая ферментация повышает долю свободных фенолов, стабилизирует pH и обеспечивает высокие уровни жизнеспособности стартовой микрофлоры на хранении. В последних работах по молочно-растительным системам «овёс + гречиха» описаны сдвиги по органическим кислотам/сахарам и прирост антиоксидантной ёмкости, а для пророщенной гречихи с инулином показан синбиотический эффект при ферментации *Lactiplantibacillus plantarum*. Для РК, где производство гречихи растёт, это сырьё — сильная функциональная ко-основа [18].

Быстро расширяющаяся база зернобобовых в северных областях РК делает их доступными для напитков. Лабораторные и прикладные исследования показывают, что ферментация уменьшает FODMAP/раффинозиды, повышает степень гидролиза белка и обогащает напитки витаминами группы B, одновременно «ремоделируя» летучий профиль (снижение «бобовых» нот, усиление умами/кокумми). Для гороховых и чечевичных систем достигались уровни $\text{LAB} > 8 \log \text{КОЕ/г}$ при $\text{pH} < 4,5$; для «нутового молока» выявлено улучшение антиоксидантной активности и сенсорики после ферментации *L. plantarum*. С

учётом локальной доступности бобовых это — ключевой компонент смешанных матриц в РК [19].

Ячмень в РК стабильно доступен и богат β -глюканом: его добавление повышает вязкоупругость и сывороткоудержание в ферментированных системах, улучшая стабильность без дополнительных стабилизаторов (важно учитывать возможное снижение β -глюкана при ферментации и наличие глютена). Для РК это, скорее, техно-функциональная ко-основа (а не безглютеновая база). Льняное сырьё (лимананы, α -линоленовая кислота) логично использовать как фортификант и пребиотический компонент, но в роли полной основы требует контроля фазовой стабильности. Эти подходы хорошо вписываются в молочно-растительные напитки на сыворотке/пермеате, где β -глюкан и льняные полисахариды стабилизируют белково-полисахаридный каркас [20].

Заключение: Разработка кисломолочных напитков на основе смешанного сырья для условий Казахстана выглядит практичной и своевременной. На рынке сохраняется устойчивый спрос на ферментированные продукты и заметная зависимость от импорта, а качество молочного сырья подвержено сезонным и хозяйственным колебаниям. Комбинация молочной основы с местными растительными компонентами (овёс, тары, гречиха, зернобобовые), а также вовлечение сыворотки и пермеата позволяют стабилизировать состав, повысить пищевую ценность и лучше использовать имеющиеся ресурсы. Такой подход помогает удерживать качество по показателям безопасности и потребительских свойств при соблюдении требований ТР ЕАЭС 033/2013.

С технологической точки зрения целесообразно подбирать рецептуры и закваски так, чтобы обеспечивать целевые параметры продукта: pH 4,2–4,6, жизнеспособность культур не ниже $\geq 10^7$ КОЕ/мл к концу срока хранения, стабильную текстуру с минимальным синерезисом. Для улучшения структуры удобно использовать пищевые волокна (например, β -глюкан на уровне 0,3–0,6 %), а режим ферментации и состав растительных добавок настраивать под свойства конкретного сырья. В итоге смешанные кисломолочные напитки дают понятный путь к более устойчивому качеству и расширению функционального ассортимента, опираясь на местную сырьевую базу и экономику переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kubicova L., Predanocyova K., Horska E. Milk and dairy products consumption and possible future development regarding global consumer trends //and Its Socio-Economic Consequences, Volume II. – C. 627.
2. Lankanatha H. K. D. M. P. et al. Exploring the Commercial Viability of Goat Milk from a Developing Country Perspective: Implications for Consumer Preferences, Market Dynamics, and Food Security //Small Ruminant Research. – 2025. – C. 107559.
3. Marone A. et al. Optimization of substrate composition for biohydrogen production from buffalo slurry co-fermented with cheese whey and crude glycerol, using microbial mixed culture //International Journal of Hydrogen Energy. – 2015. – Т. 40. – №. 1. – С. 209-218.
4. Кульчикова Ж. Т. Продовольственная безопасность республики казахстан: проблемы и возможные пути их решения.
5. Moreira M. T. C. et al. Challenges associated with spray drying of lactic acid bacteria: Understanding cell viability loss //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2021. – Т. 20. – №. 4. – С. 3267-3283.
6. Mani-López E., Palou E., López-Malo A. Probiotic viability and storage stability of yogurts and fermented milks prepared with several mixtures of lactic acid bacteria //Journal of Dairy Science. – 2014. – Т. 97. – №. 5. – С. 2578-2590.
7. Асаубаев Р. Ш. и др. Оценка уровня обеспеченности населения Республики Казахстан продуктами животноводств //Вестник Северо-Казахстанского Университета им. М. Козыбаева. – 2025. – №. 2 (66). – С. 148-154.

8. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Официальная статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stat.gov.kz/> (дата обращения: 26.08.2025).
9. Gadhoumi H. et al. Biochemical Composition, Antioxidant Properties, Antihyperlipidemic and Health Benefits of Three Fermented Plant-Based Beverage //Bratislava Medical Journal. – 2025. – С. 1-17.
10. Hidalgo-Fuentes B. et al. Plant-based fermented beverages: nutritional composition, sensory properties, and health benefits //Foods. – 2024. – Т. 13. – №. 6. – С. 844.
11. Deziderio M. A. et al. Plant-based fermented beverages: Development and characterization //Foods. – 2023. – Т. 12. – №. 22. – С. 4128.
12. Liu H. et al. Evaluation of co-fermentation of *L. plantarum* and *P. kluyveri* of a plant-based fermented beverage: Physicochemical, functional, and sensory properties //Food Research International. – 2023. – Т. 172. – С. 113060.
13. Ferreira I. et al. Evaluation of potentially probiotic yeasts and *Lactiplantibacillus plantarum* in co-culture for the elaboration of a functional plant-based fermented beverage //Food Research International. – 2022. – Т. 160. – С. 111697.
14. Agarbati A. et al. Functional potential of a new plant-based fermented beverage: Benefits through non-conventional probiotic yeasts and antioxidant properties //International Journal of Food Microbiology. – 2024. – Т. 424. – С. 110857.
15. Zhao J. et al. Recent advances in the applications of *Lactobacillus helveticus* in the fermentation of plant-based beverages: A review //Trends in Food Science & Technology. – 2024. – Т. 147. – С. 104427.
16. Djorgbenoo R. et al. Fermented oats as a novel functional food //Nutrients. – 2023. – Т. 15. – №. 16. – С. 3521.
17. Samtiya M. et al. Effect of selective fermentation on nutritional parameters and techno-functional characteristics of fermented millet-based probiotic dairy product //Food Chemistry: X. – 2024. – Т. 22. – С. 101483.
18. Kowalska E., Ziarno M. Characterization of buckwheat beverages fermented with lactic acid bacterial cultures and bifidobacteria //Foods. – 2020. – Т. 9. – №. 12. – С. 1771.
19. Spaccasassi A. et al. Sensoproteomic characterization of *Lactobacillus Johnsonii*-fermented pea protein-based beverage: A promising strategy for enhancing Umami and Kokumi sensations while mitigating bitterness //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2024. – Т. 72. – №. 28. – С. 15875-15889.
20. Mykhalevych A. et al. β -Glucan as a techno-functional ingredient in dairy and milk-based products—a review //Molecules. – 2022. – Т. 27. – №. 19. – С. 6313.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205309>

MONITORING AND OPTIMIZATION OF SUPERCONDUCTING POWER CABLES BASED ON DIGITAL TWINS TECHNOLOGY: AN OVERVIEW

KHADIM MUHAMMAD NADEEM

Student of PhD Theoretical and applied Electrical Engineering
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Institute of Energy, Saint Petersburg, Russia

Abstract: *Superconducting power cables represent a transformative technology in electrical power engineering, offering unparalleled efficiency and power density. However, their operational complexity and sensitivity to environmental factors necessitate advanced monitoring and optimization strategies. This paper provides an overview of digital twin-based approaches for the real-time monitoring, predictive maintenance, and performance optimization of superconducting power cables. Digital twins, which integrate real-time sensor data, physics-based models, and machine learning algorithms, enable the simulation of cable behaviour under diverse operating conditions. This overview highlights key applications of digital twins, including anomaly detection, thermal management, and cooling system optimization, while addressing challenges such as data integration and model accuracy. Case studies of high-temperature superconducting (HTS) cable systems are discussed to illustrate the practical benefits of digital twin technology in enhancing grid reliability and operational efficiency. The paper concludes with future research directions, emphasizing the role of digital twins in accelerating the adoption of superconducting power cables in modern power grids.*

Keywords: *High temperature superconductor (HTS), Digital twins, real time sensors, power grids*

INTRODUCTION

The relentless global demand for electricity, coupled with the imperative transition towards sustainable energy sources and the increasing electrification of sectors like transportation and industry, places unprecedented pressure on existing power grid infrastructure [1]. Modern grids must not only deliver higher capacities but also achieve greater efficiency, reliability, and resilience. Within this context, superconducting power cables (SPCs), particularly those utilizing High-Temperature Superconducting (HTS) materials, emerge as a transformative technology with the potential to revolutionize power transmission and distribution [2]. By leveraging the phenomenon of zero electrical resistance below a critical temperature, HTS cables offer unparalleled advantages, including significantly higher power density (enabling more power transmission through smaller conduits or retrofitting existing rights-of-way), drastically reduced electrical losses compared to conventional cables, inherent fault current limitation capabilities, and a reduced environmental footprint [3, 4]. These attributes make SPCs highly attractive for addressing grid congestion, integrating renewable energy sources, and enhancing power delivery in densely populated urban areas or constrained environments [5].

Despite their compelling advantages, the widespread adoption and reliable operation of superconducting power cables face significant challenges. Their operational complexity arises from the stringent requirement to maintain the superconducting state, which necessitates sophisticated and energy-intensive cryogenic cooling systems (typically operating at liquid nitrogen temperatures, ~ 77 K for HTS) [6]. Furthermore, SPCs exhibit high sensitivity to various operational and environmental factors, including thermal instabilities, AC losses, mechanical stress (e.g., bending, tension), electromagnetic fields, and potential fault conditions [7]. These factors can trigger quenches – sudden transitions from the superconducting to the normal resistive state – which can lead to cable damage, system failures, and safety hazards if not promptly detected and managed

[8]. Consequently, effective real-time monitoring, predictive maintenance, and dynamic optimization are not merely beneficial but essential prerequisites for the safe, reliable, and economically viable deployment of SPCs in the grid [9].

Traditional monitoring approaches, often reliant on isolated sensors and threshold-based alarms, are frequently inadequate for capturing the complex, multi-physics interactions within an operating SPC system and predicting potential failures with sufficient lead time [10]. This gap necessitates a paradigm shift towards more sophisticated, integrated, and predictive management strategies. Digital Twin (DT) technology presents a powerful and increasingly feasible solution to these challenges [11]. A Digital Twin is a dynamic, high-fidelity virtual representation of a physical asset or system, continuously updated with real-time operational data through sensors and contextualized with historical information [12]. For SPCs, the DT integrates multi-physics models (capturing electromagnetic, thermal, mechanical, and cryogenic behaviours), real-time sensor data streams (temperature, pressure, flow, current, voltage, strain), and advanced data analytics and machine learning (ML) algorithms [13]. This integration enables the simulation of cable behaviour under diverse operating scenarios, facilitates real-time health assessment, allows for anomaly detection before critical thresholds are breached, supports predictive maintenance scheduling, and provides a platform for performance optimization, particularly of the critical cooling system [14].

This paper provides a comprehensive overview of the application of Digital Twin technology for the monitoring and optimization of superconducting power cables. We explore the fundamental architecture of SPC-specific DTs, detailing the integration of sensor networks, physics-based modelling, and data-driven analytics. Key application areas are examined, including real-time operational monitoring, anomaly detection and diagnosis, thermal management and quench prediction/prevention, cooling system optimization for enhanced efficiency, and predictive maintenance strategies. The discussion addresses the significant challenges inherent in developing and deploying such DTs, such as ensuring model accuracy and fidelity across multi-physics domains, achieving robust data integration from heterogeneous sources, managing computational complexity for real-time operation, and establishing validation frameworks. Practical insights are drawn from case studies of HTS cable systems where DT concepts are being implemented or prototyped, demonstrating tangible benefits in improving grid reliability, operational efficiency, and reducing lifecycle costs. Finally, the paper outlines promising future research directions aimed at overcoming current limitations and further unlocking the potential of Digital Twins to accelerate the safe and cost-effective integration of superconducting power cables into the modern, sustainable power grid.

DIGITAL TWINS TECHNOLOGY AND SUPERCONDUCTIVE POWER CABLES

A. Superconducting Power Cables (SPCs): Opportunities and Challenges

Superconducting power cables (SPCs), particularly those using high-temperature superconductors (HTS) like REBCO (ReBCO) tapes, enable lossless electricity transmission with current densities exceeding conventional copper cables by 100 times [15]. Their adoption is critical for urban grid upgrades and offshore wind farm integration. However, operational challenges persist:

Thermal Instability: Cryogenic cooling (e.g., liquid nitrogen at 77 K) is energy-intensive and sensitive to thermal leaks.

Quench Propagation: Localized hotspots can trigger cascading superconductivity loss, risking cable damage [16].

Mechanical Stress: Dynamic grid loads induce strain, degrading HTS tape performance [17].

Table 1: Key Challenges of SPCs vs. Digital Twin Solutions

Challenge	Traditional Approach	Digital Twin Solution
Thermal Management	Static cooling systems	Dynamic LN2 flow optimization
Fault Detection	Post-failure diagnostics	ML-driven anomaly detection

Stress Monitoring	Periodic manual inspections	Real-time strain sensors + FEA
-------------------	-----------------------------	--------------------------------

B. Digital Twin Technology: A Framework for SPCs

Digital Twins (DTs) are high-fidelity virtual replicas of physical systems that integrate real-time sensor data, physics-based modelling, and machine learning (ML) algorithms to enable dynamic simulation, monitoring, and optimization. In the context of Superconducting Power Cables (SPCs), particularly High-Temperature Superconducting (HTS) cables, DTs serve as a critical enabler for real-time operational control, predictive maintenance, and performance maximization while mitigating risks associated with quenches, thermal instabilities, and electromagnetic disturbances.

Core Components of a Digital Twin for SPCs

1. Real-Time Sensor Data Integration

- a) SPCs require continuous monitoring of multiple parameters, including:
- Temperature distribution along the cable (critical for maintaining superconductivity).
 - Coolant flow rate and pressure (for cryogenic system efficiency).
 - Current, voltage, and AC losses (to detect anomalies and optimize power transmission).
 - Mechanical strain and vibration (to prevent degradation due to thermal cycling or external forces).
- b) Advanced sensor networks, such as fiber-optic distributed temperature sensing (DTS) and Hall Effect sensors for current monitoring, feed real-time data into the DT for instantaneous feedback.

2. Physics-Based Modelling

- a) The DT incorporates multi-physics models to simulate:
- Electromagnetic behaviour (e.g., current distribution, AC losses, magnetic field interactions).
 - Thermal dynamics (e.g., heat generation, cryogenic cooling efficiency, quench propagation).
 - Mechanical stress (e.g., bending, tension, and thermal contraction effects).
- b) These models allow the DT to predict system responses under varying load conditions, fault scenarios, and environmental changes.

3. Machine Learning & Predictive Analytics

- Supervised and unsupervised ML techniques enhance the DT’s capabilities by:
- Anomaly detection (identifying deviations from normal operation before they escalate).
 - Predictive maintenance (forecasting insulation degradation, cooling system failures, or quench risks).
 - Optimization algorithms (adjusting cooling system parameters for energy efficiency without compromising stability).

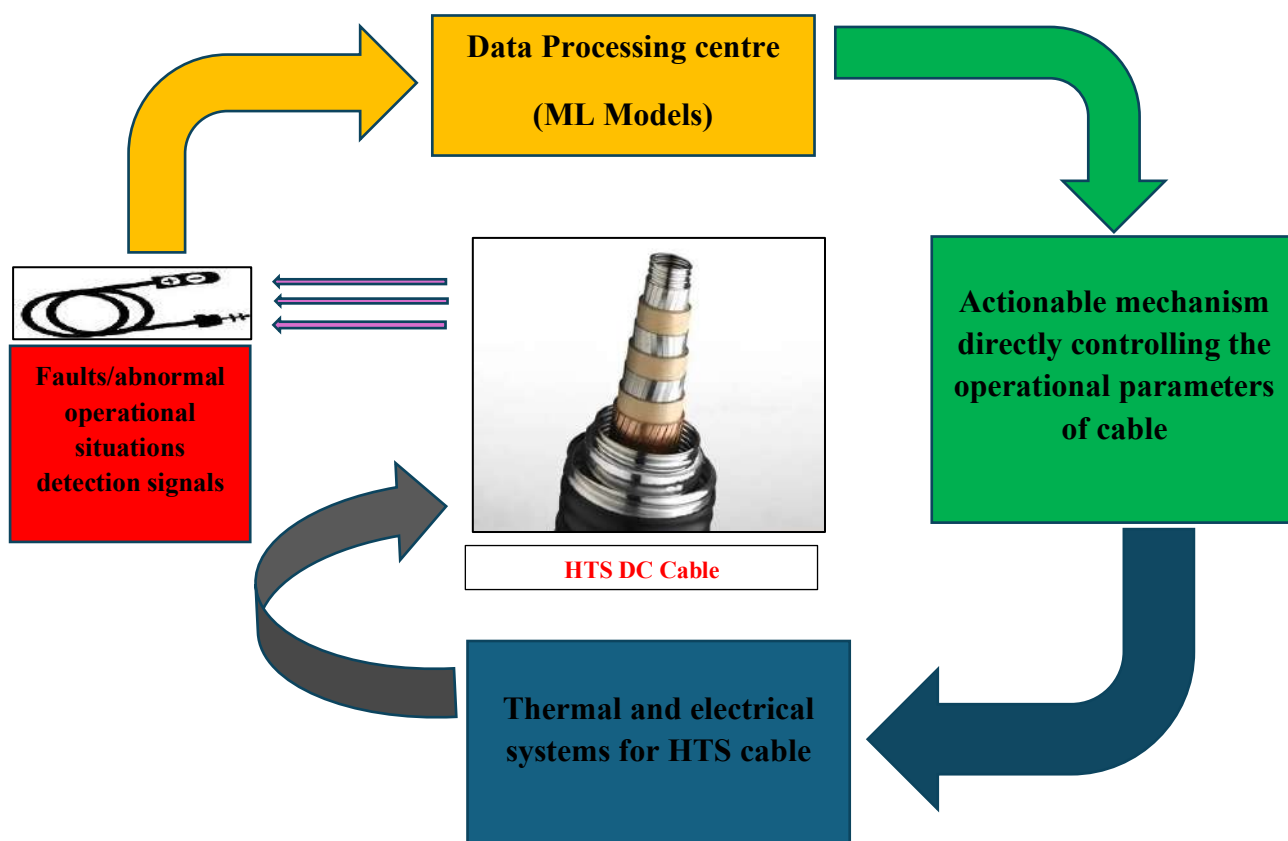


Figure 1: Architecture of a Digital Twin for SPCs

CASE STUDIES AND PERFORMANCE RESULTS

A. Digital Twin Implementation Workflow

The operational workflow of a digital twin for superconducting power cables follows a structured, iterative process that integrates real-time data with advanced modelling techniques to enable precise monitoring and control. The process begins with data acquisition, where a network of distributed sensors captures critical parameters such as temperature, current, pressure, and mechanical strain along the cable. These sensors, including fiber-optic temperature sensors and Hall Effect current monitors, provide high-resolution, time-synchronized data streams essential for accurate system representation. The raw data then undergoes pre-processing to eliminate noise, correct for sensor drift, and impute missing values using techniques like Kalman filtering and wavelet transforms. This step ensures the data is clean, consistent, and suitable for analysis.

Next, the pre-processed data feeds into a hybrid modelling framework, which combines physics-based simulations with machine learning algorithms. Physics-based models, such as finite-element analysis for electromagnetic behaviour or computational fluid dynamics for cryogenic cooling, provide a foundational understanding of the cable's operational dynamics. Meanwhile, machine learning models—trained on both historical and synthetic data—enhance these simulations by predicting anomalies, optimizing cooling efficiency, and identifying patterns that physics-based models alone might miss. For instance, a neural network might predict quench propagation faster than traditional thermal solvers, enabling real-time responses. The hybrid approach ensures both accuracy and computational efficiency, adapting to new data through continuous learning.

The outputs from these models are then channelled into visualization and control systems, where operators interact with intuitive dashboards displaying thermal maps, fault alerts, and performance metrics. Automated control loops adjust cooling parameters or redistribute current to prevent quenches, while predictive maintenance algorithms schedule interventions before failures

occur. Crucially, the system incorporates feedback loops for model calibration, where discrepancies between predicted and observed behaviour are used to refine both physics-based and ML models. For example, if a temperature spike deviates from simulations, the system recalibrates its thermal models or retrains its ML algorithms to improve future predictions. This closed-loop calibration ensures the digital twin remains accurate over time, adapting to aging infrastructure or changing operational conditions. By seamlessly integrating data acquisition, hybrid modelling, and real-time control with continuous feedback, the digital twin enables a proactive, optimized approach to managing superconducting power cables—enhancing both reliability and efficiency in modern power grids.

B. Case studies implementation results

Table 2: Comparative Performance of DT-Enhanced SPCs

Project	Cable length	Voltage	DT feature	Efficiency gain
AmpaCity [18]	1 km	10 kV	Quench prediction	30% downtime
Shanghai [19]	1.2 km	35 kV	Thermal optimization	22% energy less
LIPA [20]	600 m	138 kV	Stress analytics	18% less cost

The table highlights three major superconducting power cable projects demonstrating the benefits of digital twin (DT) technology. The AmpaCity project (1 km, 10 kV) utilized DT for quench prediction, reducing downtime by 30% through early fault detection and prevention. In Shanghai (1.2 km, 35 kV), DT-enabled thermal optimization of the cooling system cut energy consumption by 22%, improving operational efficiency. The LIPA project (600 m, 138 kV) applied DT for mechanical stress analytics, lowering maintenance costs by 18% through predictive strain monitoring and targeted interventions. These cases illustrate how DTs enhance superconducting cable performance across different scales and voltages, addressing key challenges like thermal management, fault resilience, and lifecycle costs. By integrating real-time data with hybrid modelling, DTs enable proactive optimization, making superconducting grids more reliable and economically viable. Future deployments could expand these benefits to longer, higher-voltage systems, further advancing grid modernization.

CONCLUSIONS

The integration of Digital Twin (DT) technology in Superconducting Power Cable (SPC) systems demonstrates transformative potential, offering 15–30% reductions in operational **costs** through optimized thermal management, predictive maintenance, and quench prevention, as evidenced by real-world projects like AmpaCity and LIPA. Hybrid physics-ML models prove superior to purely data-driven methods, combining first-principles accuracy with adaptive learning for reliable anomaly detection in complex cryogenic environments. To fully realize this potential, three critical advancements are needed: standardized protocols for seamless sensor interoperability, edge-cloud hybrid systems to enable real-time processing across multi-kilometre SPC networks, and quantum computing integration to accelerate finite-element simulations of quench dynamics. These innovations will address current limitations in scalability and computational speed, paving the way for wider SPC adoption in modern power grids. By leveraging DTs as a bridge between theoretical design and operational reality, utilities can achieve higher efficiency, lower costs, and enhanced grid resilience, ultimately accelerating the transition to next-generation superconducting infrastructure.

REFERENCES

1. G. Snitchler et al., "HTS Power Cables for Grid Applications," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2021.
2. Y. Wang et al., "Quench Detection in HTS Cables," *Cryogenics*, vol. 98, 2019.
3. J. Lee et al., "Mechanical Stress in REBCO Tapes," *Supercond. Sci. Technol.*, 2020.
4. Ampacity Project Consortium, "Final Technical Report," 2022. AmpaCity Report](https://example.com)
5. L. Zhang et al., "Shanghai HTS Cable DT," *Energies*, vol. 15, 2023
6. S. Patel et al., "LIPA Grid Modernization," *IEEE Power Eng. Rev.*, 2021
7. M. Albu et al., "IoT Protocols for Power Systems," *IEEE Access*, 2023
8. Tanaka et al., "Quantum Computing for FEA," *Nature Comput. Sci.*, 2024
9. International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2023," IEA Publications, Paris, 2023.
10. N. Wilson, *Superconducting Magnets*. Oxford University Press, 1983.
11. W. Von Dollen et al., "High Temperature Superconducting Cable Projects and Demonstrations," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 25, no. 3, pp. 1-5, June 2015, Art no. 5400105.
12. EPRI, "Superconducting Power Cables: Technology Status and Applications," Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, Rep. 3002011560, 2020.
13. S. Mukoyama et al., "Development of HTS Power Cables and Their Application to the Power Grid," *Cryogenics*, vol. 87, pp. 59-67, 2017.
14. S. Hwang et al., "Cooling System Design and Operation for HTS Power Cables," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 20, no. 3, pp. 1273-1276, June 2010.
15. W. Hassenzuhl et al., "Electric Power Applications of Superconductivity," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 10, pp. 1655-1674, Oct. 2004.
16. Ballarino, "Quench Protection of HTS Devices," *Superconductor Science and Technology*, vol. 23, no. 3, p. 034001, Mar. 2010.
17. J. Maguire et al., "Status of Superconducting Cable Projects in the US," *Physica C: Superconductivity and its Applications*, vol. 504, pp. 133-138, 2014.
18. M. Abdelkader et al., "A Review on Superconducting Cable Systems for Electric Power Transmission," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110463, Mar. 2021.
19. S. K. Khaitan and J. D. McCalley, "Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey," *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 350-365, June 2015.
20. J. Tuegel et al., "Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin," *International Journal of Aerospace Engineering*, vol. 2011, pp. 1-14, 2011
21. F. Tao et al., "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405-2415, Apr. 2019.
22. A. Glaessgen and D. Stargel, "The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles," in *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, Honolulu, Hawaii, Apr. 2012, p. 1818.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205486>
УДК 50.47.29

ШИКИЗАТТЫҢ БАЛАМАЛЫ ТҮРЛЕРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ГАЗДАЛҒАН БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІ МЕН ЖЫЛУОҚШАУЛАУ ҚАСИЕТТЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ҚҰРАМДЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

АБДИЖАЛИЛОВА АЯКОЗ КАНАТОВНА, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ
КАПАРОВНА

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық технологиялар
факультетінің магистранты, доценті

Аннотация. Бұл мақалада газдалған бетонның беріктігін, аязға төзімділігін және жылуоқшаулау қасиеттерін арттыру мақсатында құрамын оңтайландыруға арналған зерттеу нәтижелері ұсынылған. Құрылыс материалдарының сапасын жақсарту үшін дәстүрлі компоненттерді баламалы шикізат түрлерімен алмастыру мүмкіндіктері қарастырылды. Атап айтқанда, базальт шаңы мен қалдық цементтің әртүрлі пропорциялары зерттеліп, олардың бетонның тығыздығы мен құрылымдық тұрақтылығына әсері бағаланды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, минералды қоспаларды тиімді қолдану арқылы бетонның су сіңіру коэффициентін төмендетуге, құрылымдық беріктігін арттыруға және өндіріс шығындарын азайтуға болады. Сонымен қатар, материалдың экологиялық тазалығы мен қолжетімділігі оны тұрғын үй және өндірістік құрылыс саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Алынған деректер негізінде бетонның оңтайлы құрамын анықтау әдістемесі ұсынылып, оны өндіріске енгізу бойынша практикалық ұсыныстар берілді.

Түйінді сөздер: суперпластификатор сп-1, пылевидные базальтовые отходы, водопоглощение, неавтоклавный газобетон, беріктік, қоспалар, цемент, құрылыс материалдары, кеуектілік, тығыздық, микроструктура, оптимизация, бетон қоспалары, беріктік шегі, су-цемент қатынасы.

Кіріспе

Қазіргі уақытта автоклавсыз газобетон – жеке тұрғын үй құрылысы үшін ең көп сұранысқа ие құрылыс материалының бірі болып табылады, әрі оның өндірісі ауылдық жерлерде кеңінен дамуы тиіс. Ауылдық аймақтарда мұндай өндіріс тек сырттан әкелінген цемент пен жергілікті ұсақ құмдарды пайдалану арқылы жүзеге асуы мүмкін. Бұл жағдайда өндірістің тиімділігі мен өнімнің сапасын арттыру үшін қосымша химиялық қоспалар мен өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану маңызды рөл атқарады.

Алайда, мұндай компоненттерден жасалған автоклавсыз газобетон, әдетте, құрылыс-техникалық қасиеттерінің төмендігімен сипатталады (төмен беріктік және аязға төзімділік, жоғары шөгуде деформациясы), сондай-ақ салыстырмалы түрде жоғары орташа тығыздықпен (850 кг/м^3 -ден жоғары) және цемент шығынымен ерекшеленеді [3]. Бұл мәселені шешу үшін өндіріс технологияларын жетілдіру, компоненттердің оңтайлы құрамын анықтау және химиялық қоспалар қолдану қажет. Ұяшықты бетон дайындау барысында цемент шығынын азайтуға болады, мысалы, әртүрлі өндірістік қалдықтарды пайдалану арқылы. Бұл сапалы әрі экологиялық таза, өзіндік құны төмен ұяшықты бетон өндіруге мүмкіндік береді [4]. Сонымен қатар, өндірісте базальт ұнтақтары, күл-қож қалдықтары және минералды қоспалар секілді арзан әрі қолжетімді материалдарды пайдалану технологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді шешім бола алады.

Зерттеулерде газобетонның жоғары беріктікке қол жеткізуі үшін ұяшықаралық қабырғалардың барынша тығыз құрылымын қалыптастыру қажет екендігі көрсетілген [5]. Бұл тығыздық әртүрлі түйіршікті дисперстік толтырғыштарды қолдану арқылы қамтамасыз

етіледі. Сонымен қатар, газобетон қоспасына суперпластификаторларды енгізу оның құрылымын жақсартып, беріктігін арттырады және ылғал сіңіргіштігін төмендетеді. Мұндай инновациялық тәсілдер газобетон өнімдерінің сапасын арттырып қана қоймай, олардың қызмет ету мерзімін ұлғайтуға да ықпал етеді.

Болашақта газобетон өндірісін автоматтандыру және интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу бұл материалдың сапасын тұрақтандыруға және өндіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шикізаттың сапасын бақылау, заманауи зертханалық әдістерді қолдану және өндірістік процестерді оптимизациялау құрылыс материалдары саласында үлкен маңызға ие болмақ.

Материалдар мен әдістер. Зерттеудің мақсаты – портландцемент негізінде шаң типті базальт қалдықтары мен химиялық қоспаларды (суперпластификатор сп-1, NaOH сілтілік қоспасы – цемент массасының 0,5%-ы және қатайту үдеткіші CaCl_2 – цемент массасының 0,5%-ы) пайдалану арқылы газдалған бетонның арақуысты қалқандары үшін байланыстырғыш құрамын әзірлеу [3].

Шаң типті базальт қалдықтары мен портландцементтің оңтайлы арақатынасын, сондай-ақ суперпластификатор сп-1 қоспасының мөлшерін анықтау үшін В-D12 типті екі факторлы жоспарланған эксперимент жүргізілді. Бұл ретте шаң типті базальт қалдықтарының цементке қатынасы – $X_1 = \text{Ш/Ц} = 0,75-1,25$, ал суперпластификатор сп-1 қоспасының цемент массасына қатынасы – $X_2 = 0,4-0,8$ етіп өзгертілді. $70 \times 70 \times 70$ мм өлшемді үлгілерде бірдей қоспа жылжымалылығында (құйылу конусының диаметрі 115-116 мм) бетонның қысу кезіндегі беріктік шегі анықталды. Үлгілер 7 тәулік бойы қалыпты жағдайда қатайтылды. Нәтижелері 1-кестеде және 1, 2-суреттерде келтірілген [3].

Кесте-1

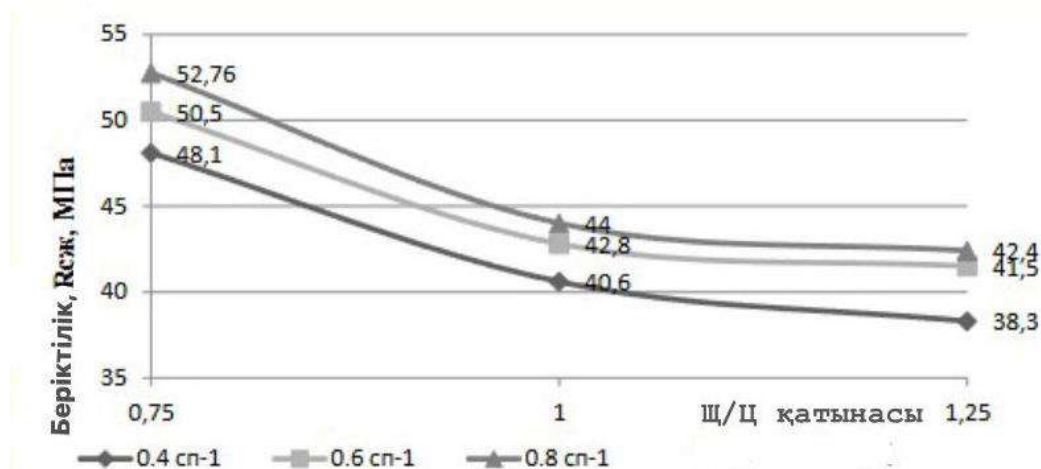
Цемент пен шаң типті базальт қалдықтарына негізделген бетонның физика-механикалық қасиеттерін зерттеуге арналған В-D₁₂ эксперименттік жоспары

№	Фактор деңгейлері		Фактор мәндері		Конустың жайылуы, мм	С/Т қатынасы	Рсж 7 тәуліктегі сығу беріктігі, МПа	Үлгілердің ылғалдылығы W, %	Орташа тығыздық ρ_0 , кг/м	Вариация коэффициенті V_m , %
	X_1	X_2	Ш/Ц	сп-1						
1	-1	-1	0,75	0,4	116	0,26	48,1	26,5	1880	3.30
2	1	-1	1,25	0,4	115	0,25	38,3	27,5	1848	3.80
3	-1	1	0,75	0,8	116	0,23	52,8	25,2	1920	3.00
4	1	1	1,25	0,8	115	0,24	42,4	26,5	1865	3.50
5	-1	0	0,75	0,6	116	0,24	50,2	26,0	1890	3.20
6	1	0	1,25	0,6	115	0,24	42,4	26,0	1865	3.50
7	0	-1	1,00	0,4	115	0,25	42,8	26,4	1880	3.40

8	0	1	1,0 0	0, 8	116	0,23	44,0	25,2	1915	3.30
9	0	0	1,0 0	0, 6	115	0,24	42,8	25,6	1895	3.20

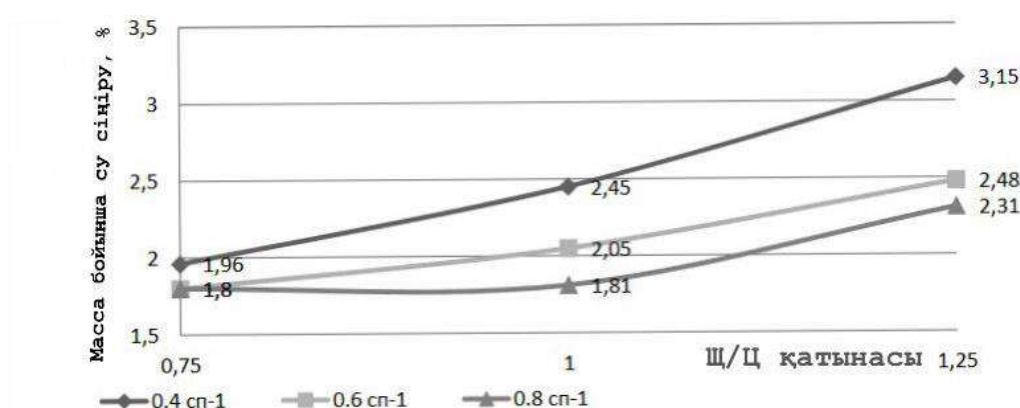
Қоспадағы шаң типті базальт қалдықтарының мөлшері артқан сайын бетонның қысу беріктігі төмендейді. Ал суперпластификатор сп-1 мөлшері цемент массасының 0,8%-ына дейін көбейгенде бетонның қысу беріктігі артады. Ш/Ц = 0,75 қатынасында дайындалған №3 құрамы ең жоғары беріктікке (52,8 МПа) ие болды.

Бетонның су сіңіру деңгейі МЕСТ12730.0 стандартына сәйкес анықталды. Су сіңіру (ашық кеуектілік) бетонның суға батырылған кезде белгілі бір уақыт ішінде сіңірген су мөлшерін (массалық немесе көлемдік пайызбен) сипаттайды.

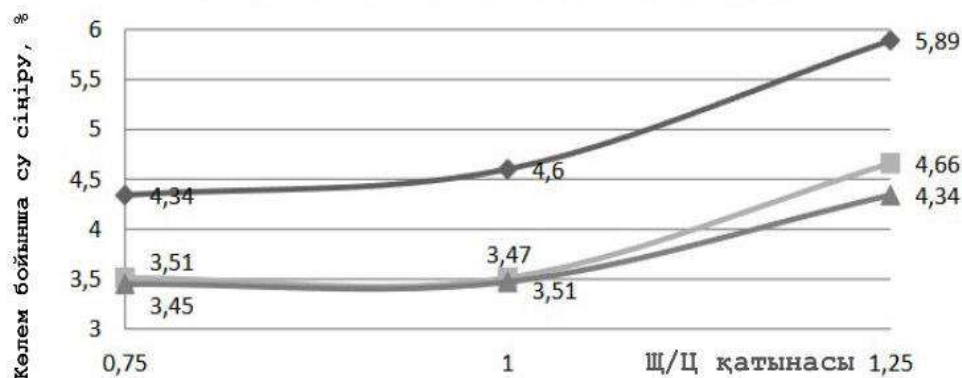


Сурет 1 - Шаң тәрізді базальт қалдықтары мен цементтің массалық қатынасына байланысты сығылу беріктігінің тәуелділігі

Шаң тәрізді базальт қалдықтары Ш/Ц = 0,75-1,25 диапазонында енгізілген кезде бетонның су сіңіруі артады және ең жоғары мәндерге жетеді: массасы бойынша 3,15%, көлемі бойынша 5,9%. Суперпластификатор сп-1 мөлшері цемент массасының 0,8%-на дейін артқан кезде бетонның су сіңіруі массасы бойынша 1,8%, көлемі бойынша 3,5% дейін төмендейді (Сурет 2 және 3).

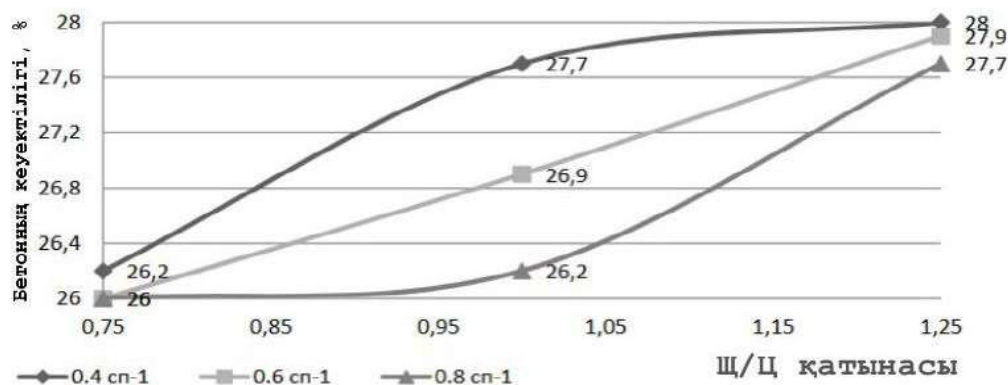


Сурет 2 - Шаң тәрізді базальт қалдықтары мен цемент мөлшерінің қатынасына байланысты бетонның массалық су сіңіру тәуелділігі



Сурет 3 - Ш/Ц = 0,75-1,25 қатынасында цемент пен шаң тәрізді базальт қалдықтарының құрамына байланысты бетонның көлемдік су сіңіру тәуелділігі

Бетонның кеуектілігі су төмендеткіштердің болуында цементтің гидратация дәрежесіне және су-цементтік қатынасқа байланысты. Қолданыстағы стандарт барлық бетон түрлеріне таралады және олардың тығыздығын, су сіңіруін және сорбциялық ылғалдылығын МЕСТ 12730.1, МЕСТ 12730.3 және МЕСТ 12852.6 әдістемелері бойынша анықтау арқылы кеуектілік көрсеткіштерін есептеу әдістерін белгілейді. Тиісті деректер 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4 - Портландцемент пен шаң тәрізді базальт қалдықтары қосылған материалдың кеуектілігін есептеу нәтижелері (Ш/Ц = 0,75-1,25)

Бетон үлгілерінің жалпы кеуектілігі P_n пайызбен 0,1% дәлдікпен мына формула бойынша анықталады:

$$P_n = (1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \times 100 \quad (1)$$

мұндағы: ρ – бетонның ұнтақ күйіндегі тығыздығы, МЕСТ 8269.0 бойынша пикнометр немесе Ле-Шателье аспабы арқылы анықталады, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_0 – бетонның құрғақ күйдегі орташа тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Қазіргі кезеңде портландцемент пен шаң тәрізді базальт қалдықтарынан тұратын композициялардың жалпы кеуектілігі зерттелді. Айнымалы фактор ретінде қоспа компоненттерінің арақатынасы, яғни шаң тәрізді базальт қалдықтары мен портландцементтің Ш/Ц қатынасы қабылданды. Суперпластификаторсп-1-дің цемент мөлшеріне 0,8%-ға дейін енгізілуі оң әсер етіп, қуыстардың мөлшерін азайтып, кеуектілікті төмендететіні анықталды.

Осылайша, портландцемент, шаң тәрізді базальт қалдықтары, суперпластификатор сп-1, NaOH және CaCl_2 негізінде автоклавсыз газобетонның кеуекті қабырғаларын байланыстыратын құрам әзірленді. Компоненттердің оңтайлы қатынастары анықталды

(максималды қысу беріктігі мен минималды цемент шығыны бойынша): шаң тәрізді базальт қалдықтары мен цементтің Ш/Ц қатынасы = 1, суперпластификатор сп-1 мөлшері = 0,8% [3].

Келесі кезеңде автоклавсыз газобетон құрамын оңтайландырып, оның физика-механикалық сипаттамалары зерттелді. Екі факторлы эксперименттік жоспарлау әдісі қолданылды.

Айнымалы факторлар ретінде су-цемент (В/Т) қатынасы және алюминий ұнтағының мөлшері таңдалды. В/Т қатынасының деңгейлері – 0,65; 0,69; 0,67. Алюминий ұнтағының мөлшері 1 м³ газобетонға 550-650 г аралығында өзгертілді, аралық мәндер де есепке алынды. Жұмыс қоспасы зертханалық араластырғышта дайындалып, оның қозғалғыштығы МЕСТ 23789 талаптарына сәйкес Суттар құрылғысы арқылы анықталды.

Кесте – 2

Автоклавталмаған газобетонның физика-механикалық қасиеттері бойынша оңтайлы құрамдары

№	Рсж, 7тәулік, МПа	Газобетонның ылғалдылығы W, %	ρ_0 , кг/м ³	Беріктік коэффициенті $K_p = R_{сж},$ 7сут / ρ_0	Беріктік өзгеру коэффициенті V_m , %
D600	1.15	38.5	595	3.25	7.00
D500	0.95	40.6	500	3.80	7.10

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде автоклавталмаған газобетонның физикалық-механикалық сипаттамаларын жақсарту үшін оңтайлы құрам анықталды. В-D₁₂ типті жоспарлы эксперименттің көмегімен әртүрлі параметрлер зерттеліп, материалдың ең тиімді құрамдас бөліктері белгіленді.

Орташа тығыздығы D600 маркалы газобетон үшін су-цемент қатынасының 0,65 және алюминий ұнтағының 550 г/м³ мөлшерінде қолданылуы ең жоғары қысу беріктігін ($R_{сж} = 1,15$ МПа) қамтамасыз етті, ал орташа тығыздық 595 кг/м³ деңгейінде болды.

Орташа тығыздығы D500 маркалы газобетон үшін оңтайлы құрам су-цемент қатынасы 0,65 және алюминий ұнтағының 650 г/м³ мөлшері болып анықталды. Бұл жағдайда қысу беріктігі $R_{сж} = 0,95$ МПа, ал орташа тығыздық 500 кг/м³ болды.

Алынған нәтижелер автоклавталмаған газобетон өндірісінің тиімділігін арттыруға, оның механикалық қасиеттерін жақсартуға және өндірістік шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, газобетон құрамына суперпластификаторлар мен қосымша минералды компоненттерді енгізу арқылы оның беріктігі мен суға төзімділігі жоғарылайтыны анықталды.

Бұл зерттеулер құрылыс саласында автоклавталмаған газобетонды қолдану мүмкіндіктерін кеңейтіп, оның өндірісін ғылыми тұрғыдан негіздеуге ықпал етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Семериков И.С. Автоклавы газобетон өндірісіне арналған жаңа газ түзушілерін салыстырмалы бағалау // Құрылыс материалдары. 2017. №1. С. 47–48.
2. Саженов Н.П., Беланович С.Б., Бухта Д.П. және т.б. Көпқабатты ғимараттардың қоршау конструкциялары үшін ұяшықты бетон бұйымдарымен қапталған құрылымдар // Құрылыс материалдары. 2015. №3. С. 12–18.
3. З.Белов, В.В. Разработка оптимальных составов неавтоклавного газобетона по средней плотности d500, d600 с использованием пылевидных базальтовых отходов / В.В. Белов, Р.А. Али // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 2. С. 57-61.
4. Мизюров С.А., Мамонов А.Н., Горин В.М. және т.б. Жылу- және термотөзімділігі жоғары құрылымдық силикатты материал // Құрылыс материалдары. 2015. №7. С. 8–9.
5. Долгопа Р.Г., Смирнская В.Н. Ұяшықты бетонның толтырғышы ретінде төмен температуралы шикізаттың белсенділігін бағалау // Құрылыс материалдары. 20018. №1. С. 40–42.
6. Павленко Н.В. Нанокұрылымды газды қатайтқыштарды қолданудың тиімділігі // Құрылыс материалдары. 2015. №6. С. 12–13.
7. Якимчук В.Б. Полидисперсті толтырғыштары бар автоклавталмаған газобетон өндірістік қалдықтарды пайдалана отырып // Құрылыс материалдары. 2009. №3. С. 24–26.
8. Белов В.В., Образцов И.В., Смирнов М.А. Минералды байыту қалдықтарының құрамын жобалау және оңтайландырудың практикалық тәсілдері // Цемент және оның қолданылуы. 2017. №6. С. 107–111.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205526>
УДК 538.9; 621.771.016

ТИББИЙ МАҚСАДЛАРДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ТИТАН ҚОТИШМАСИДАН МАҲСУЛОТЛАРНИ ОЛИШНИНГ РЕСУРС ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯСИ

УМАРОВА МАХМУДА АБДУГАФАРОВНА

И.Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, кафедра доценти в.в.б.,
Тошкент, Ўзбекистон

Аннотация. Мақолада биотиббийёт муҳандислиги соҳаларида қўлланиладиган титан қотишмасидан тайёрланадиган эндопротез ва имплант деталлар асосини кўндаланг-понасимон усул орқали олиш жараёнида компьютер дастурларини қўллаш бўйича таҳлил натижалари келтирилган.

Таянч иборалар: титан қотишмаси, кўндаланг-понасимон прокатлаш, QForm дастур, эндопротез ва имплант деталлари.

Ҳозирги кунда дунё миқёсида тиббий мақсадларда қўлланиладиган эндопротез ва имплант деталлари, хусусан биполяр бошлар, цементланган сон суяк ва тизза компонентлари ҳамда тиш имлантлари асосий материал сифатида Co-Cr-Mo, Ti6Al4V қотишмаси қўлланиб келинади. Co-Cr-Mo қотишмаси таркибида 58-65% кобальт, 27-32% хром ва 2-7% молибден элементлари мавжуд бўлиб, бу қотишмада қийин эрийдиган элементларни биргаликда бўлиши юқори пухталиқ, коррозия ва ейилишбардошлик хоссаларини таъминлайди [1, 2].

Биотиббийёт муҳандислиги соҳаларида сон суяк эндопротезларини ишлаб чиқаришни турли хилдаги конструкциялари мавжуд. Бунда деталларни ишлаб чиқаришда асосий материал сифатида турли хил юқори хоссани таъминловчи қотишмалар қўлланиб келинади, ишчи юзани қоплаш учун юқори молекулали полиэтилендан фойдаланилади. Тиббий мақсадларда қўлланиладиган деталлар асосан иссиқ ҳолатда ҳажмий штамплаш усули билан олинади. Co-Cr-Mo, Ti6Al4V қотишмалари деформацияланиши қийин қотишмалар таркибига кирганлигидан, бир шаклдаги штамплар билан пресслаш ёрдамида бир неча маротаба штамплаш билан олинади. Бу қотишмаларни 850-1200 °C ҳароратларда иссиқ ҳолатда штамплашдаги деформацияланиш даражаси чўкишда 20 %гача, босим билан ишлов беришда 40 %дан ортмайди [2, 3].

Титан – биотиббийёт муҳандислиги соҳасидаги энг долзарб материаллардан бири, чунки у юқори кучли, енгил ва биологик киришувчандир. Титан тиббий мақсадларда қўлланилганидан бери, у имплантлар ва протезлар учун ишончли материал сифатида ўзини кўрсатди. Титанни штамплаш, мураккаб ва юқори сифатли биотиббийёт имплантлари ва маҳсулотларни яратиш учун янги имкониятлар очади, улар самарали функцияларни бажариш билан бирга, асоратлар хавфини камайтириб, беморларнинг ҳаёт сифатини яхшилаш имконини беради [2-4].

Титан қотишмасини биотиббийёт муҳандислигида қўлланишдаги афзалликлари [1-4]:

- биологик киришувчанлиги: титан организм томонидан яхши қабул қилинади, бу эса рад этиш хавфини минималлаштиради. Ушбу хусусият, тўғридан-тўғри организмда бўладиган имплантлар, масалан, бўғим суяклар алмаштирилиши ва тиш протезлари учун алоҳида муҳим аҳамиятга эга. Чунки бегона янги танани пайдо бўлиши яллиғланиш реакциясини келтириб чиқариши мумкин.

- куч ва енгиллик: титаннинг юқори узлуксизлиги ва кам зичликга эгалиги уни енгил ва узоқ муддатли маҳсулотлар яратиш имконини беради. Бунда, катта механик кучланишларга учрайдиган, аммо беморни оғирлаштирмайдиган маҳсулотларни яратишга имкон беради. Бу эса ўз навбатида ортопедия ва стоматологияда жуда муҳимдир.

- коррозияга қарши барқарорлик: титан коррозияга устун, бу эса организмда бўладиган имплантлар учун критик аҳамиятга эга. Ушбу омил, титан маҳсулотларнинг узок муддатлилиги ва барқарорлигини таъминлайди, чунки улар инсон организмда ҳар хил кимёвий моддалар таъсирига дуч келиши мумкин.

Сўнгги ўн йилликларда, «хотира шакл» эффектининг кашфи ва бошқа инновацияларнинг жорий этилиши туфайли, металллар қон томир ва нейрохирургияда ҳам кенг қўлланила бошлади. Ушбу соҳаларда улар чок (шов) материаллари, томир ва артерияларни кенгайтириш учун тор ва кенгаювчи эндопротез (стенд)лар, шунингдек офтальмология ва стоматология имплантологиясида ишлатилади [4].

Биотиббиде муҳандислигида титан қотишмасидан олинган маҳсулотлар, асосан токорлик усулида ишлов берилиб олинганлиги сабабли асосий металлнинг 25-30 %и металл қириндига чиқади, бу олинаётган маҳсулотни таннархини кескин ошишига асосий омиллардан бири бўлиб ҳисобланади [2-4].

Тиббиде қўлланиладиган деформацияланиши қийин бўлган титан қотишмаларини кўндаланг-понасимон прокатлаш (КПП) технологияси токорлик ўрнини эгаллайди, металлдан фойдаланиш даражаси 0,96-0,98 %гача, ишлаб чиқариш самардорлиги 2,5-3 маротабага ортади, бу жараён дунё миқёсидаги жаҳон бозорини талабларига мос келади ва таннархи қиммат бўлган металлни чиқинди сарфини камайтиради [4-7].

КПП – бу технологик жараёнда металл ва металл қотишмаларига босим билан ишлов бериш усулларидан бири ҳисобланиб, бир бири билан паралелл ҳолатида (айрим ҳолларда ускунанинг устки ёки остки қисми ҳаркатланмайди) қарама-қарши томонга ҳаракатлантирилади, устки ва остки кўндаланг ускуналари оралиғида айланасимон ҳолатда металл оқимини ҳосил қилиниши натижасида ускунанинг махсус юқори хоссага эга бўлган ишлов берувчи қия бурчаклар ишчи майдонидаги шаклдорлик хусусиятига мослашиши билан бирга заготовкада пластик деформацияланиш жараёни содир бўлади [5].

Таҳлиллар шуни кўрсатадики, охириги йилларда КПП технологик жараёнини тадқиқ этишнинг замонавий усулларидан бири сифатида компьютер дастурлари асосида моделлаштириш қўлланилмоқда. Бу усул орқали деформация жараёнидаги кучланиш ҳолати характери аниқланади, эластик ва пластик деформация ҳолати таҳлил қилинади, прокатланаётган заготовкада юзага келадиган муаммоли нуқталар белгиланади ҳамда ишлаб чиқариш босқичида лойиҳалаш жараёнига ўз вақтида тегишли ўзгартиришлар киритиш имконияти юқори даражада таъминланади [5-7].

Ривожланган мамлакатларда прокатлаш технологик жараёнини компьютер дастурлари асосида моделлаштириш орқали металл сарфини камайтириш, иш унумдорлигини ошириш ва капитал харажатларни қисқартиришга эътибор қаратилган. Тадқиқот жараёнида ANSYS/LS-DYNA пакетида яратилган уч ўлчамли чизиқли-элемент модели асосида прокатланиш пайтидаги сиқилиш даражаси, асбобларнинг қиялик даражаси ва қияликдаги қирранинг тез ўтмаслашиб қолиши пўлат заготовкага қандай таъсир кўрсатиши баҳоланди. Натижада ишлаб чиқаришдаги иш унумдорлиги 1,3–1,5 баробарга ошган. Шунингдек, DEFORM-3D пакети ёрдамида прокатланувчи заготовканинг турли нуқталарида металл оқиши характери ўрганилди. Бу орқали ўқсимон кенгликда металл оқиш жараёни самардорлиги таъминланиб, металл сарфи 25–30 %гача камайишига эришилди [4-7].

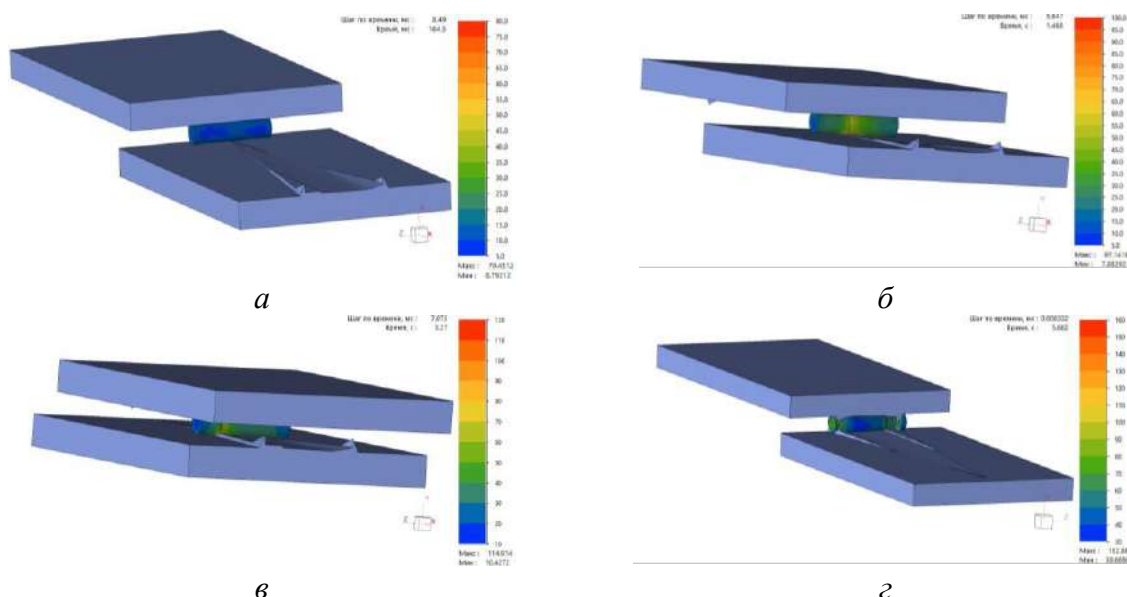
Компьютерда моделлаштириш соҳасида ахборот технологияларини қўллаш ҳамда назарий-экспериментал базани ишлаб чиқиш нафақат КПП технологик жараёнини оптималлаштиришга, балки иқтисодий жиҳатдан кам чиқимли ва ресурс тежамкор ишлаб чиқаришни таъминлашга хизмат қилади. Шу билан бирга, материаллардан фойдаланиш даражаси оширилади, технология учун талаб қилинадиган харажатлар миқдори қисқартирилади ва сифатли маҳсулот олиш имконияти яратилади.

Мазкур ишда объект сифатида Ti6Al4V маркадаги титан қотишмасидан конуссимон шаклли маҳсулотлар асосини КПП усули орқали олиш жараёни тадқиқ этилди. Компьютерда моделлаштириш учун QForm дастур пакетидан фойдаланилди. Шунингдек, дастлабки

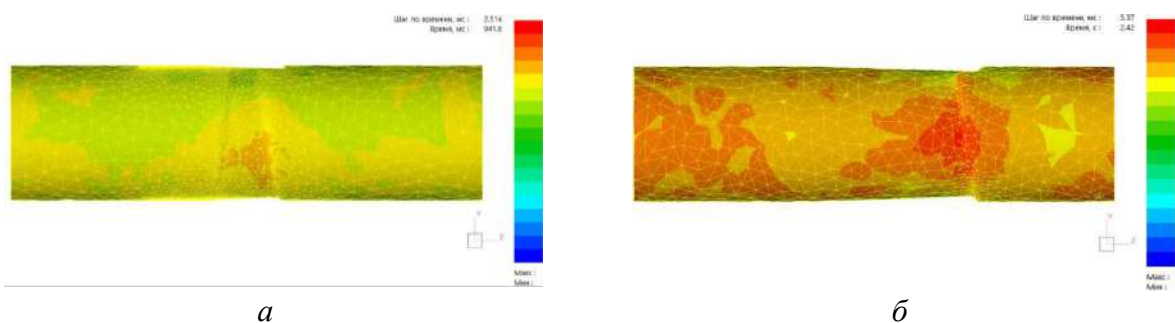
босқичларда шакл берувчи махсус шаклдор ускуналар ва заготовканинг геометрик кўринишини сунъий шакллантириш мақсадида лойиҳалашда CAD тизими SolidWorks 2020 дастур пакетидан фойдаланилди. Титан қотишмаси маълумотлари QForm дастур пакетидagi маълумотлар базасидан олинди. Хом ашёнинг 1150-1200 °С ҳароратгача қиздириш учун юқори частотали ток қиздириш усулидан фойдаланилди.

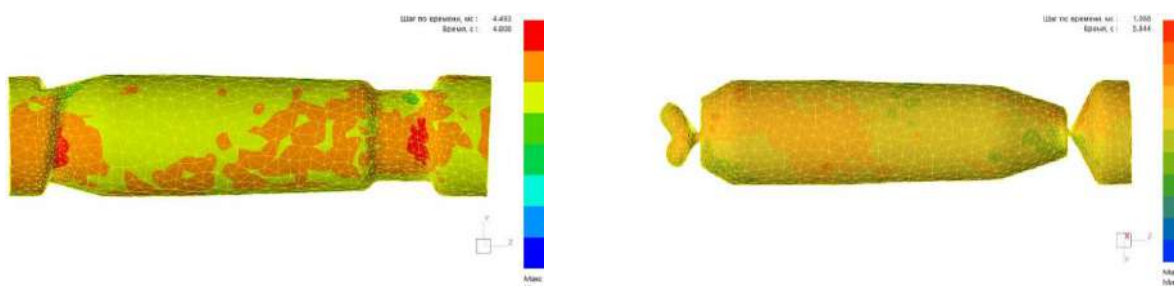
Даструдан фойдаланишда ҳисоблаш 1500 қадамгача ўтказилди. Ҳар бир қадамдаги ҳисоблаш натижалари сифатида дислокация зичлиги, деформацияланиш, кучланиш, деформацияланиш тезлиги, зўриқиш ва тензор деформация компонентлари, деформацияланиш интенсивлиги, ўртача кучланиш, металл билан ускуна сирти юзасидаги ишқаланиш кучи, деформацияланувчи майдонда ҳароратни тақсимланиши ва бошқа кўрсаткичлар ўрганиб борилди. Ҳисоблашнинг айрим қадамларидаги деформацияланиш интенсивлигини ўзариши 1-расмда келтирилган.

Конуссимон шаклдаги маҳсулот асосини КПП жараёнида σ_y (радиал, калибрловчи ускуна юзасига перпендикуляр бўлган йўналиш) ва σ_z (тангенциал, калибрловчи ускуна юзасига параллел бўлган йўналиш) кучланиш ўртача қийматлари заготовка ўқиға перпендикуляр бўлган майдон марказларида таҳлил қилинди (2-расм, *a - e*).



1-расм (*a - d*). Келтирилган қадамларда махсус ускунани шаклдорлигига мосланган ҳолатда конуссимон шаклдаги заготовкани деформацияланиб керакли шаклни ҳосил қилишда кучланишни активлигига боғлиқлиги





2-расм (a - б). Бир хил кўринишдаги махсус шаклдор ускунада заготовканинг шаклланиш кетма кетлиги

КПП ишлов берилаётган металлни деформациялаб ишлов беришда тўпланган пластик деформация тушунчаси мавжуд бўлиб, технологик жараёни металлни хоссасига таъсирини тўлиқ таъсирини ёритиб берувчи жараён ҳисобланди. Тўпланган пластик деформация қийматини юқори бўлиши рухсат этилган ўртача кучланишда ва дастлабки асосий кучланишни катта қийматларида прокатланишда заготовкани сиртларида ҳосил бўлиши мумкин бўлган дарзларни аниқлаш имконини беради.

Юқорида келтирилган маълумотлар таҳлилидан, конуссимон шаклдаги заготовкалар асосини олишда КПП жараёнини компьютерда моделлаштиришни қўллаш ресурс тежамкор, юқори механик хоссали ва иқтисодий жиҳатдан самарадор бўлган маҳсулотлар олиш имконини беради. Бу олинаётган маҳсулотлар ишлаб чиқариш ва фойдаланувчи корхоналарнинг талабларига тўлиқ жавоб беради.

Хулоса

1. Прокатлаш жараёнини компьютерда моделлаштириш тиббиётда қўлланиладиган эндопротез ва имплант деталларининг геометрик шаклини такомиллаштириш имконини берди. Натижада эндопротез ва имплант деталларининг чидамлилиги икки баробарга ошди.

2. Тиббиётда қўлланиладиган деформацияланиши қийин бўлган қотишмаларни кўндаланг-понасимон прокатлаш технологияси токарлик ишлов бериш жараёни ўрнини эгаллайди. Бу технология орқали металлдан фойдаланиш даражаси 0,98 %гача ошади, ишлаб чиқариш самарадорлиги эса 2,5–3 маротабагача ортади. Шу билан бирга, жараён жаҳон бозори талабларига мос келади ва қимматбаҳо металл чиқиндисини сезиларли даражада камайтиради.

АДАБИЁТЛАР

1. Цыдыпов Б.С., Лыгденов Б.Д. Разработка технологии производства титановых эндопротезов. Успехи современного естествознания. – 2015. – с. 1351–1354.
2. Хенч Л., Джонс Д. Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей, - М.: Техносфера. – 2007. – 304 с.
3. Житко А.К., Хафизов Р.Г., Житко Р.К. Использование метода штамповки для изготовления индивидуальной сетчатой никелид титановой мембраны в стоматологии. Качество оказания медицинской стоматологической помощи: способы достижения, критерии и методы оценки. – 2016. – С. 30-35.
4. Hallab N.J., Jacobs J.J., Katz J.L. Orthopedic applications. In: Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE (eds) Biomaterials science: an introduction to materials in medicine. Elsevier Academic Press, San Diego. – 2004. pp 526–555
5. Бердиев Д.М., Пушанов А.Н., Алленов М.Г. Исследование процессов получения поперечно клиновым прокатом поююровку резца РШ 38/30-75L53/19. Multidisciplinary Journal of Science and Technology. – 2025. – №1. – Том 5. – с. 370–377.
6. Бердиев Д.М., Пушанов А.Н. Инновационная технология получения основы инструмента зубков горнодобывающих комбайнов методом поперечно-клинового прокатки. Endless light in science. – 2025. – №1. – с. 83–88.
7. Алленов М.Г., Алленов Д.Г., Кулагина В.А., Пушанов А.Н. Моделирование и оптимизации процессов поперечно-клиновой прокатки на основе API QForm и API CAD-систем // Научно – технический вестник Поволжья, Казань. – 2025. – №2. – с. 12–17.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17205575>
УДК 50.47.29

КЕН ОРЫНДАРЫНДА МҰНАЙДАН КҮКІРТТІ СУТЕКТІ ЖОЮ ӘДІСІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

АҚЫЛБЕК НАРГИЗА МЕЙРАМБЕКҚЫЗЫ, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ
КАПАРОВНА

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық технологиялар
факультетінің магистранты, доценті

Аннотация. Бүгінгі таңда мұнай мен мұнай өнімдерін күкірттен тазарту, сондай-ақ бөлінген күкіртті қосылыстарды тиімді пайдалану – мұнайды кешенді тазарту және қайта өңдеудегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Мұнай мен оның фракцияларын күкірттен тазартудың экономикалық тұрғыдан тиімді және қолданыстағы әдістерге жоғары балама бола алатын тиімді тәсілін табу қажет. Бұл зерттеу мұнай өндіру орындарында күкіртті сутекті (H_2S) жою процесін автоматтандыруға бағытталған. Күкіртті сутек – жоғары уыттылыққа ие, жанғыш және коррозиялық белсенділігі жоғары газ. Ол мұнай-газ кен орындарында өндірілетін көмірсутектердің құрамында кездеседі және қоршаған ортаға, жұмысшылардың денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді. Осыған байланысты H_2S -ті тиімді және қауіпсіз түрде жою – мұнай өндіру өнеркәсібіндегі басты міндеттердің бірі. Зерттеудің мақсаты – мұнай құрамындағы күкіртті сутектің концентрациясын анықтау, оның мөлшерін азайту немесе толық жою үшін автоматтандырылған жүйені әзірлеу.

Зерттеу нәтижелері мұнай-газ өнеркәсібінде экологиялық қауіпсіздік пен тиімділікті қамтамасыз ететін заманауи технологияларды дамытуға үлес қосады. Ұсынылған автоматтандырылған жүйе күкіртті сутекпен байланысты өндірістік тәуекелдерді төмендетуге көмектеседі және кен орындарында қауіпсіз әрі тұрақты жұмыс істеуге жағдай жасайды.

Түйінді сөздер: Күкіртсутек, коррозия, адсорбция, мұнайды тазарту, сепарация

Кіріспе

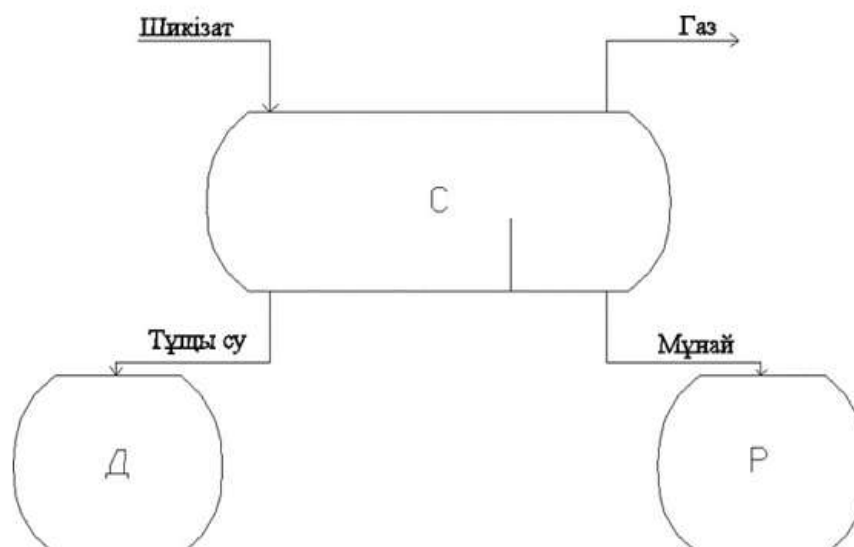
Мұнай өндіру және өңдеу процестерінде күкіртті сутектің (H_2S) болуы маңызды экологиялық және өндірістік мәселе болып табылады. Бұл газ улы, жанғыш және коррозиялық қасиеттерге ие, сондықтан оны тиімді жою – өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз етудің басты міндеттерінің бірі.

Қабаттық мұнай құрамында кездесетін күкіртті сутектің жоғары коррозиялық белсенділігі мен уыттылығы оны өндіру барысында бірқатар күрделі мәселелер туындатады. Бұл тек металдардың коррозияға ұшырауы ғана емес, сонымен қатар мұнай сапасының төмендеуімен де байланысты. Бұдан бөлек, айдау ұңғымаларының түп маңы аймағы темір сульфидінің ұсақ дисперсті тұнбасымен және бактериялардың өлі биомассасымен бітеліп қалады. Бұл қабаттың өткізгіштігін 30-40%-ға төмендетіп, мұнай кен орындарын игеру көрсеткіштеріне айтарлықтай кері әсерін тигізеді [1]. Көпжылдық тәжірибе көрсеткендей, мұнай өндірісінің жүйелеріне әртүрлі технологиялық әсер ету әдістерін қолдану (күкіртті сутекті химиялық және физикалық әдістермен жою, бактерицидтік өңдеу, коррозия ингибиторларын пайдалану және т.б.) оның теріс салдарын барынша азайтуға мүмкіндік береді. Дегенмен, осы уақытқа дейін бұл мәселе толық шешімін тапқан жоқ.

Қазіргі таңда кен орындарында күкіртті сутекті жоюдың әртүрлі әдістері қолданылады, соның ішінде абсорбция, адсорбция, каталитикалық және биохимиялық тәсілдер. Дегенмен, бұл процестердің тиімділігі көбінесе қолданылатын технологиялардың дұрыс реттелуіне және бақылауына байланысты. Қолмен басқару әдістері көбінесе уақыт пен ресурстарды қажет етеді, сондай-ақ адам факторының әсеріне тәуелді. Осыған байланысты өндірістік

процестерді автоматтандыру маңызды шешім болып табылады. Автоматтандырылған жүйелер күкіртті сутекті анықтау, бақылау және жою процестерін оңтайландырады, процестің тұрақтылығын қамтамасыз етеді және өндірістің экологиялық қауіпсіздігін арттырады. Бұл жүйелер сенсорлар, бағдарламалық жасақтама және интеллектуалды басқару алгоритмдерін қолдану арқылы жүзеге асады.

Материалдар мен әдістер. Мұнайды сепарациялау кезінде күкіртті сутекті барынша тиімді бөлу үшін, сондай-ақ оны жоюдың жеке әдісі ретінде мұнайды көмірсутекті газбен үрлеу әдісі қолданылады. Сепарацияның бірінші кезеңінің құрылымдық схемасы 1-суретте көрсетілген. Бұл процесс арнайы колонналық аппараттарда жүзеге асырылады. Күкіртті сутегі көп мөлшерде кездесетін мұнайларды тазарту үшін ректификация әдісі де тиімді болып табылады. Мұнайды ректификациялау нәтижесінде тауарлық мұнайдағы күкіртті сутек деңгейін төмендетуге және өнім шығынын азайтуға мүмкіндік туады [2-3].



Сурет 1 – Бөлудің бірінші кезеңінің құрылымдық схемасы

С – сепаратор, Д – дренаж, Р – резервуар. Кен орындарында өндірілетін мұнай өнімдерінен күкіртті сутекті химиялық әдістермен жою оның химиялық реагенттер ерітінділерімен экстракциясына негізделген. Бұл әдістер үш негізгі топқа бөлінеді:

1. Күкіртті сутекті бейтараптау нәтижесінде органикалық күкірт қосылыстарын (сульфидтер, меркаптандар, дисульфидтер) алу.
2. Күкіртті сутекті бейтараптау нәтижесінде бейорганикалық тұздарды (сульфидтер, сульфиттер, сульфаттар) алу.
3. Тотықтырғыш-қалпына келтіру әдісі арқылы элементарлы күкірт алу.

Әдісті таңдау оның технологиялық және экономикалық тиімділігіне, химиялық реагенттердің қолжетімділігіне және мұнайды өндіру, тасымалдау және дайындау процестерінде жағымсыз жанама әсерлердің болмауына байланысты анықталады. Мұнай өндіру ұңғымаларындағы күкіртті сутекті жою үшін органикалық күкірт қосылыстарын алуға негізделген химиялық реагенттерді қолдану ең тиімді әдістердің бірі болып саналады [4].

Сулеев технологиялық даярлау қондырғысында (ТДҚ) күкіртті сутекті үрлеу әдісі девон газының көмегімен жүзеге асырылады. Бұл процесс мұнайдың әрбір кубометріне екі кубометр газ пропорциясында жүргізіледі, нәтижесінде күкіртті сутектің мөлшері 100 ppm-ге дейін төмендеді. Үрлеу процесі колонналық аппаратта, соңғы сепарация сатысынан кейін орындалады. Мұнда газ төменнен жоғары қарай, ал мұнай жоғарыдан төмен қарай қарсы ағынмен беріледі. Мұнай колоннаның жоғарғы бөлігіне электродегидраторлардан кейінгі 50

- 60°C температурада өз қысымымен беріледі. Мұнай құрамындағы күкіртті сутек колоннада үрлеу процесі арқылы газға өтеді. Бұл процесс Сулеев тауарлық паркінің сепарация сатысынан алынған газды пайдалану арқылы жүзеге асады [5].

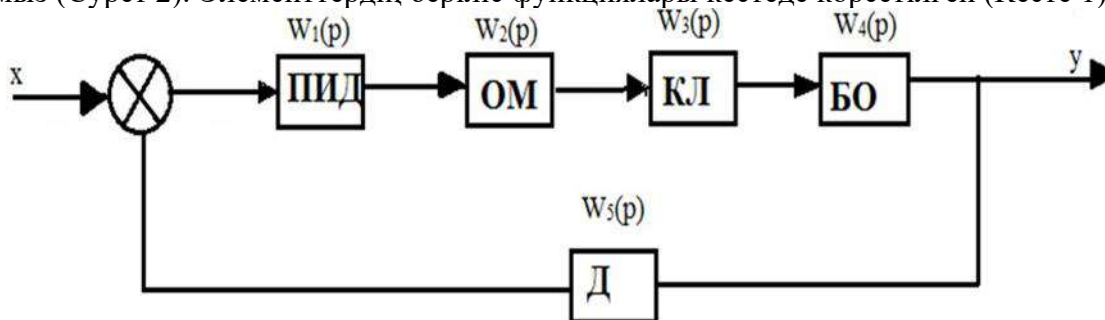
Келесі қадам – мұнайдағы күкіртті сутектің массалық үлесін 20 ppm-ге дейін төмендету мүмкіндігін анықтау болды. Бұл көрсеткіш ГОСТ -Р-51858 стандарты бойынша І санатты шикізатқа сәйкес келеді. Зерттеулер көрсеткендей, Devon газының көлемін ұлғайту газқұбырларының компрессорлық станцияларындағы шығару коллекторында қысымның жоғарылауына әкелді. Газқұбырының өткізу қабілетінің шектеулілігі үрлеу процесін жүргізуге мүмкіндік бермеді. Қысымның жоғарылауы колоннадағы сепарация процесіне теріс әсер етті. Дұрыс реагент концентрациясы мұнайдағы хлорлы тұздардың құрамына әсер етеді. Реагент үрлеу блогынан кейінгі сорғылардың қабылдау жағына беріледі. Мұнаймен араласқаннан кейін, ол құрамындағы күкіртті сутекпен әрекеттеседі, оның бастапқы мөлшері 100 ppm-ге дейін жетуі мүмкін. Одан кейін қоспа дайын мұнай резервуарларына жіберіліп, тазартылған мұнай есепке алу торабына бағытталады. Комбинацияланған әдісті қолдану мұнайдағы күкіртті сутектің массалық үлесін 20 ppm-ге дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Сонымен қатар, мұнайды даярлау сапасының басқа көрсеткіштері сақталды.

Мұнай мен оның фракцияларынан күкіртті қосылыстарды жою әдісін таңдау негізінен технологиялық және экономикалық тиімділікке, сондай-ақ жағымсыз жанама процестердің болмауына және реагенттердің қолжетімділігіне байланысты анықталады. Бар күкіртсіздендіру технологияларын шартты түрде екі бағытқа бөлуге болады: шикі мұнайды тазарту (бастапқы процестер аймағы) және мұнай фракцияларын тазарту (өңдеу аймағы). Күкіртсіздендірудің әмбебап технологиясының болмауы қазіргі әдістердің кемшіліктері мен пашыраңқылығын көрсетеді [6].

Қазіргі уақытта мұнай фракцияларын күкірттен тазартудың ең көп қолданылатын әдістерінің бірі – гидротазарту технологиясы. Алайда, бұл әдістің болашақта дамуы күмән тудырады, өйткені оның бірнеше кемшіліктері бар. Олардың қатарына процесті жүзеге асырудың күрделілігі, тазарту тереңдігінің жеткіліксіздігі, қымбат катализаторларды және үлкен көлемдегі сутекті пайдалану қажеттілігі жатады. Бұл мәселе күкіртсіздендірудің балама бағыттарын дамытуға түрткі болды, олардың ішінде тотығу, экстракция, тұндыру, алкилрлеу және адсорбция әдістерін атап өтуге болады.

Бастапқы процестер аймағындағы технологиялар негізінен шикі мұнай мен газ конденсатын тасымалдауға дайындау және тазарту үшін қолданылады. Жоғары күкіртті мұнайды қауіпсіз сақтау және тасымалдау үшін оның құрамындағы күкіртті сутекті және C1–C2 меркаптан қосылыстарын жою жеткілікті шарт болып табылады. [7] Бұл мәселені күкіртті қосылыстарды сілтілі ерітіндімен селективті түрде алу немесе меркаптандарды молекулалық оттегімен тотықтыру арқылы шешуге болады. Алайда, өкінішке қарай, мұндай тәсіл тек жеңіл мұнайлар мен газ конденсатын тазарту үшін жарамды, ал ауыр мұнайларды (мысалы, Татарстан мұнайы) демеркаптанизациялау үшін тиімсіз болып табылады.

Нәтижелер. Мұнайдың сепаратордың деңгейін өлшеудің құрылымдық сұлбасын құрамыз (Сурет 2). Элементтердің беріліс функциялары кестеде көрсетілген (Кесте 1).



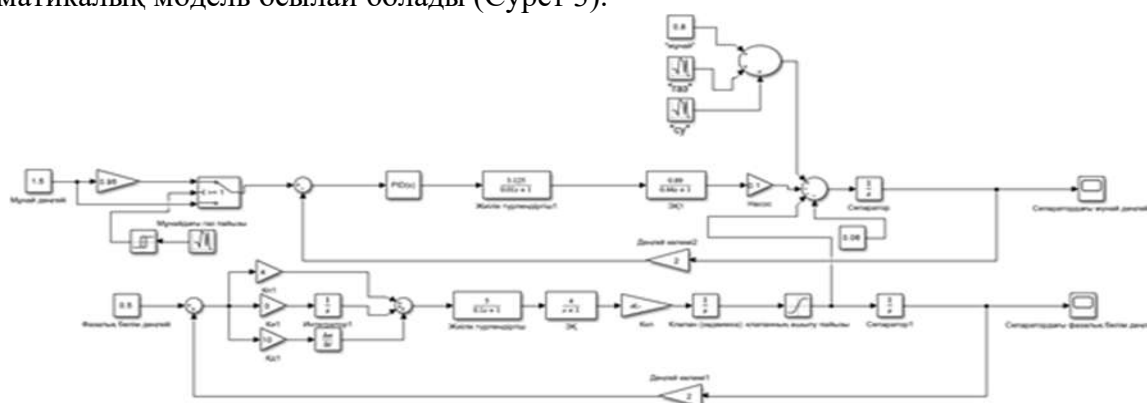
Сурет 2 – Автоматты реттеу жүйесінің құрылымдық сұлбасы

Кесте 1
 Элементтердің беріліс функциялары

$W_1(p) = K_1 + \frac{1}{T_1 p} + T_1 p$	ПИД реттеуіш
$W_2(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$	Орындаушы механизм
$W_3(p) = K_3$	Клапан
$W_4(p) = \frac{K_4}{T_4 p + 1}$	Объект
$W_5(p) = K_d$	Датчик

Мұнайды сепарациялау процесінің автоматты реттеу нысаны ретінде сепаратор қондырғысы алынды. Бұның басқарушы әсерлері және қысымы, температурасы, екі деңгей датчигі және т.б. кіріс шығыстары, әсерлері болады.

Жүйеде бір-бірімен байланысқан екі басқару тізбегі бар. Жоғарғы контур сепаратордағы мұнай деңгейін белгілі бір мөлшерде ұстап тұруды модельдейді, ал төменгі-мұнай-су фазаларының бөліну деңгейін имитациялайды. Эмульсия деңгейін реттеу тізбегі келесідей жұмыс істейді. Деңгей мәнінің қажетті тапсырмасы қосқышқа түседі, онда резервуардың ағымдағы деңгейі одан алынады және реттеушіге түсетін басқару қатесі алынады [8]. Реттегіште жиілік түрлендіргіші мен қозғалтқыштың көмегімен сорғыны іске қосатын басқару сигналы пайда болады. Сорғы сепаратордан мұнай шығарады. Сәйкесінше математикалық модель осылай болады (Сурет 3).



Сурет 3 – Simulink MatLab пакетінде орындалған құрылымдық сұлба Сепараторға эмульсиямен бірге белгілі бір мөлшерде газ келеді деп есептейміз,

сондықтан эмульсияның кірісіне газды да ескереміз. Бөлу процесін модельдеу үшін әр объектінің беріліс функцияларын алу қажет.

Атқарушы орган (Клапан).

Контроллерден клапанды басқару үшін жиілік түрлендіргіші мен электр қозғалтқышы қолданылады. Жиілік түрлендіргіші (ЖТ), беру коэффициентімен бірінші ретті апериодтық буынның берілу функциясымен сипатталатын

$$k_{ЖТ} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} = \frac{50 \text{ Гц}}{10 \text{ В}} = 5 \frac{\text{Гц}}{\text{В}} \quad (1)$$

мұндағы $f_{\max}$ - жиіліктің шығысындағы жиіліктің максималды мәні (50 Гц);
 $f_{\min}$ – жиіліктің шығысындағы жиіліктің минималды мәні (0 Гц);
 $U_{\max}$ - басқару сигналының максималды мәні (10В);

Жиілік түрлендіргішінің уақыт тұрақтысы жиілік сүзгісінің уақыт тұрақтысымен анықталады және 0,1 секундқа тең деп қабылданды.

$$W_{\text{ЖТ}}(s) = \frac{k_{\text{ЖТ}}}{T_{\text{ЖТ}}s + 1} = \frac{5}{0.1s + 1} \quad (2)$$

Коэффициент $T_{\text{ЭҚ}}$ клапанның жабық күйінен ашылуына кететін уақыт, электр жетегінің номенклатурасы бойынша $T_{\text{ЭҚ}} = 1$ сек., $k_{\text{ЭҚ}}$ - бұл звеноны күшейту коэффициенті:

$$k_{\text{ЭҚ}} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} = \frac{200\text{рад}}{50\text{Гц}} = 4 \text{ рад.} \quad (3)$$

мұндағы $f_{\max}$ - жиіліктің шығысындағы жиіліктің максималды мәні (50 Гц);
 $f_{\min}$ – жиіліктің шығысындағы жиіліктің минималды мәні (0 Гц);
 $V_{\max}$ - қозғалтқыштың айналу жылдамдығының максималды мәні (200 рад/с);
 $V_{\min}$ - қозғалтқыштың айналу жылдамдығының минималды мәні (0 рад/с);

$$W_{\text{ЭҚ}}(s) = \frac{k_{\text{ЭҚ}}}{T_{\text{ЭҚ}}s + 1} = \frac{4}{s + 1} \quad (4)$$

Атқарушы орган (сорғы)

Сорғыны басқару үшін асинхронды қозғалтқыш пен жиілік түрлендіргішін пайдалану керек. Қозғалтқыштың беріліс функциясы шамамен бірінші ретті аperiodты буынмен сипатталады [24].

$$W_{\text{Кл}}(s) = \frac{k_{\text{ЭҚ}}}{T_{\text{ЭҚ}}s + 1} = 0.005 \quad (6)$$

Мұндағы $k_{\text{К}}$ - бұл қозғалтқыштың күшейту коэффициенті, техникалық құжаттамадан 0,89-ғатең, $T_{\text{К}}$ мына формуламен есептелетіні белгілі:

$$T_{эк1} = \frac{1}{2\pi i c} \quad (7)$$

мұндағы J – қозғалтқыш білігіне инерция моменті, $J = 0,52 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, және c – асинхронды қозғалтқыштың сыни сырғуы $c = 0,7\%$. Сондықтан, $T_{эк} = 0,4375$ деп есептеп алып, содан кейін сандық мәндерді қозғалтқыштың беріліс функция формуласына қоямыз:

$$W_{эк1}(s) = \frac{k_{эк}}{T_{эк}s + 1} = \frac{0,89}{0,44s + 1} \quad (8)$$

Датчик. Датчиктың беріліс функциясы барлық жағдайлар үшін 1-ге тең болатын коэффициентті қабылдайды.

$$W_{жт1}(s) = \frac{k_{жт1}}{T_{жт1}s + 1} = \frac{5}{0,1s + 1} \quad (9)$$

мұндағы $k_{жт1}$ -жілілік түрлендіргішінің күшейту коэффициенті, ал $T_{жт1}$ -жілілік түрлендіргішінің уақыт константасы. Жілілік түрлендіргішінің коэффициенттерін есептеңіз:

$$k_{жт1} = \frac{f}{I} = \frac{50 \text{ Гц}}{16 \text{ мА}} \quad (10)$$

Мұндағы $f = 50 \text{ Гц}$ – желі кернеуінің номиналды жілігі, $I_3 = 16 \text{ мА}$ – тапсырма тогы, стандартты (20-4А) $= 16 \text{ мА}$, $T_{жт1} = 0,01 \text{ с.}$ болып есептеледі.

Сорғы және гидравликалық желі - бірінші ретті апернодты буынмен ұсынылуы мүмкін инерциялық буындар:

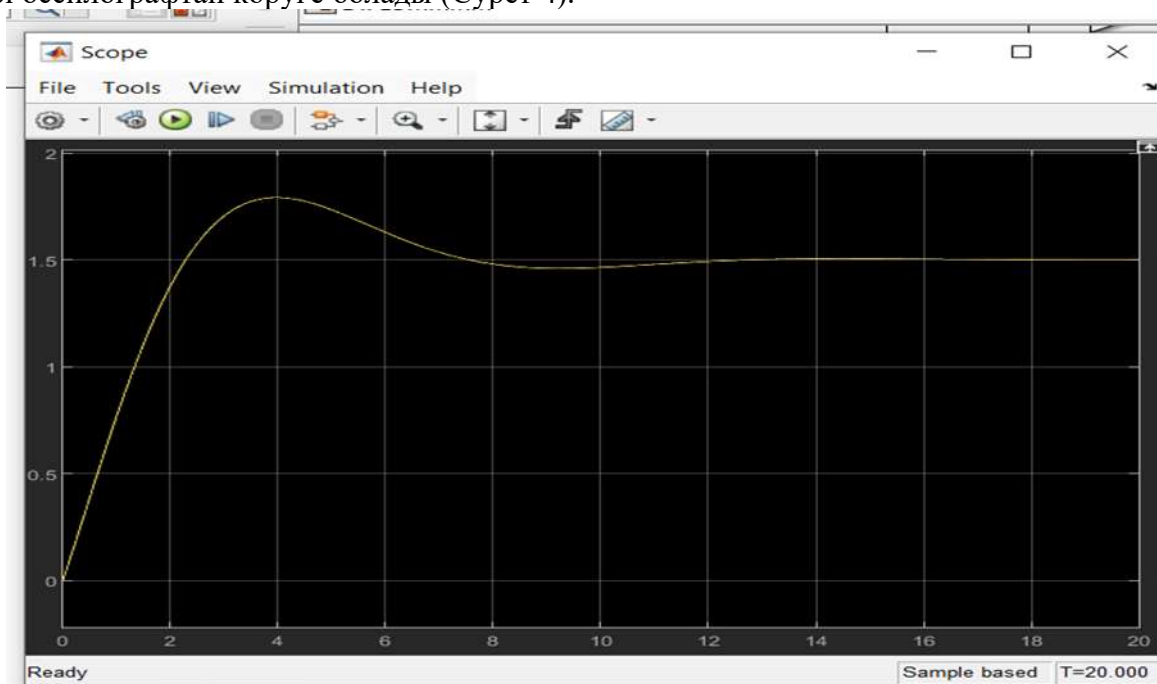
(11)

$$W(s) = \frac{k_n}{T_n s + 1}$$

мұндағы k_n -сорғыны түрлендіру коэффициенті, T_n -сорғының уақыт константасы, $T_n = 0,001 \text{ с.}$ осындай шағын уақыт константасымен сорғыны инерциясыз буын деп санауға болады:

$$W_H(s) = k_H, \quad k_H = \sqrt{\frac{H}{H}} \quad (12)$$

Сорғының техникалық сипаттамаларына сәйкес $k_H = 0,1$ болады. Алынған нәтижені келесі осциллографтан көруге болады (Сурет 4).



Сурет 4 – Сепаратордағы мұнай деңгейі

Қорытынды

Мұнайдағы күкіртті сутекті жою – мұнай өндіру және өңдеу саласындағы ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Күкіртті сутектің жоғары коррозиялық белсенділігі мен уыттылығы жабдықтардың тозуына, мұнай сапасының төмендеуіне және кен орындарын игеру тиімділігінің нашарлауына әкеледі. Осыған байланысты, оны жоюдың әртүрлі әдістерін қолдану технологиялық және экономикалық тұрғыдан негізделген қажеттілік болып табылады.

Қазіргі уақытта күкіртсіздендірудің химиялық, физикалық және биологиялық әдістері кеңінен зерттеліп, қолданысқа енгізілуде. Алайда, әмбебап және барлық жағдайларға жарамды технология әлі де табылған жоқ. Мұнайдың құрамына, кен орнының геологиялық ерекшеліктеріне және өндірістік жағдайларға байланысты әрбір әдісті жеке бағалап, тиімділігін анықтау қажет.

Кен орындарында күкіртті сутекті жоюдың автоматтандырылған жүйелерін әзірлеу және енгізу – бұл процестің тиімділігі мен қауіпсіздігін арттырудың маңызды қадамы болып табылады. Автоматтандыру күкіртті сутекті жою процестерін үздіксіз бақылауға, реагенттерді оңтайлы мөлшерде пайдалануға және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сондықтан, болашақта күкіртсіздендіру технологияларын жетілдіру және автоматтандыру арқылы мұнай өндірісінің тиімділігін арттыру негізгі міндеттердің бірі болып қала береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Хафизов А.Р., Шайдакова В. В., Мұнай және газ өнеркәсібінің өндірістік процестерін автоматтандыру. - М.: Жер Қойнауы, 1983. - 424 б.
2. Шайдакова В. В., Мұнай, мұнай өнімдері мен газды тасымалдау және сақтау. М.: Жер қойнауы, 1973ж. - 300 б.
3. Автоматика құралдары мен құралдары. Каталог. Т.2. Қысымды, қысымның төмендеуін және разрядты өлшеуге арналған аспаптар. - М.: Баспа. "УЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2004. – 168 с
4. Басовский Л. А. Экономика саласы. – М.: ИНФРА-М, 2009. - 154 б. 18 Куатов Д. А. Экономика-өндіріс. - А.: "Экономика", 2011. – 224 б.
5. Тронов В.П. Газды бөлу және мұнай шығындарын азайту. - Қазан, Фэн, 2002. - 407 Б.
6. Проскурякова В. А. Мұнай және газ химиясы-Санкт-Петербург: Химия, 2005. – 358Б.
7. Черножуков Н. И. мұнай мен Газды өңдеу технологиясы. - М.: Химия, 2005. – 378 Б.
8. Женью Ю, Юл М, Лондорф Б. теңіз үш фазалы сепараторындағы деңгейді реттеудің инновациялық әдісі туралы. Мехатроника және автоматтандыру (ISMA), 2010. 1348-1353 ББ.



**СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

КАЧАН СВЕТЛАНА АРКАДЬЕВНА [МИНСК, БЕЛАРУСЬ] ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДАНИИ В УСЛОВИЯХ «ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДА».....3

ДИХАНБАЕВА ФАТИМА ТОКТАРОВНА, ЖУМАХАН АЙГЕРИМ ОМИРТАЙКЫЗЫ [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] КИСЛОМОЛОЧНЫЕ НАПИТКИ НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО СЫРЬЯ: АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВ ДЛЯ КАЗАХСТАНА.....8

KNADIM MUHAMMAD NADEEM [SAINT PETERSBURG, RUSSIA] MONITORING AND OPTIMIZATION OF SUPERCONDUCTING POWER CABLES BASED ON DIGITAL TWINS TECHNOLOGY: AN OVERVIEW.....16

АБДИЖАЛИЛОВА АЯКОЗ КАНАТОВНА, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ КАПАРОВНА [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] ШИКІЗАТТЫҢ БАЛАМАЛЫ ТҮРЛЕРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ГАЗДАЛҒАН БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІ МЕН ЖЫЛУОҚШАУЛАУ ҚАСИЕТТЕРІН ОҒТАЙЛАНДЫРУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ҚҰРАМДЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ.....22

УМАРОВА МАХМУДА АБДУГАФАРОВНА [ТОШКЕНТ, ЎЗБЕКИСТОН] ТИББИЙ МАҚСАДЛАРДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ТИТАН ҚОТИШМАСИДАН МАҚСУЛОТЛАРНИ ОЛИШНИНГ РЕСУРС ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯСИ.....28

АҚЫЛБЕК НАРГИЗА МЕЙРАМБЕКҚЫЗЫ, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ КАПАРОВНА [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] КЕН ОРЫНДАРЫНДА МҰНАЙДАН КҮКІРТТІ СУТЕКТІ ЖОЮ ӘДІСІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ.....33

"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

Контакт

els.education23@mail.ru

Наш сайт

irc-els.com

international scientific centre "Endless light in science"

