

**ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ**

# **ХАБАРШЫСЫ**

# **HERALD**

**OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL  
UNIVERSITY**

# **ВЕСТНИК**

**КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Volume 18, Issue 1  
January-March 2021**

ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Алматы

№ 1 (56)

2021

Главный редактор – Ректор КБТУ,  
**Ибрашев К.Н.**

Заместитель главного редактора –  
**Габдуллин М.Т.**

**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

**Акжалова А.Ж., Атсуши Иное, Байгунчечков Ж.Ж., Бекмухаметова З.А.,  
Буркитбаев М.М., Gavin Kretzschmar, Джанг Ванг Ли, Джумадилдаев А.С.,  
Ергожин Е.Е., Еремин Н.А., Журинов М.Ж., Йозеф Монтаг,  
Коробкин В.В., Masakazu Yoshikawa, Мынбаев К.Т., Рамеш Кини,  
Сатубалдин С.С., Скакова А.А., Сулейменов Э.Н., Танекенов А.,  
Умаров Ф.Ф., Харин С.А., Шакуликова Г.Т., Шейх Али Д.М.**

Издание зарегистрировано Министерством культуры и информации Республики Казахстан.  
Свидетельство о постановке на учет СМИ № 9757 - Ж от 03.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий  
ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция)

Подписной индекс - 74206

Издается с 2004 года. Выходит 4 раза в год.

**УЧРЕДИТЕЛЬ**  
Казахстанско-Британский технический университет

ISSN 1998-6688

© Казахстанско-Британский  
технический университет, 2021.

# СОДЕРЖАНИЕ

## НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

<b>Билашев Б.А., Жанатауов Д.А., Бектурганова Г.К.</b> АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ .....	7
<b>Ивахненко А.П., Надилов К.С., Жантасов М.К., Бимбетова Г.Ж., Надилов Р.К., Кусынбек С.К.</b> ОЦЕНКА И ПОЛУЧЕНИЕ СОСТАВА РЕАГЕНТА ДЛЯ ДЕЭМУЛЬСАЦИИ ПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ .....	11
<b>Нуранбаева Б.М., Асанов Т.Н.</b> СКВАЖИННЫЕ МЕТОДЫ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....	20
<b>Саутпаева Э.С., Тургазинов И.К.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКАЧКИ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ВЫТЕСНЕНИЕ НЕФТИ ИЗ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА) .....	27
<b>Сулейменова Р.А., Апендина А.К.</b> ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН .....	31

## ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

<b>Асылханқызы А., Сейтмагзимова Г.М., Петропавловский И.А.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ КАЛИЙНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕЛКАР .....	39
<b>Жаңабай Н.Ж., Утелбаева А.Б., Ермаханов М.Н., Қырғызбаева А.А., Хасанходжаева Б.Ш.</b> ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ АФФИННОМ СООТВЕТСТВИИ МОДЕЛИ И НАТУРНОГО ОБЪЕКТА .....	48
<b>Нажипқызы М., Асылханова Д.Д.</b> ПРОИЗВОДСТВО ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СУПЕРГИДРОФОБНОЙ САЖИ И НЕФТЯНОГО ШЛАМА .....	52
<b>Нурлыбаева А.Н., Сейтбекова Г.А., Құдайбергенова Р.М., Амирова С.Ә., Омарова М.Н.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИНТЕЗИРОВАННЫХ АКРИЛОВЫХ КРАСОК .....	57
<b>Тимофеева О.И., Бузова О.В.</b> МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ .....	62
<b>Садиева Х.Р., Нурлыбаева А.Н., Мархабатов Н.</b> РАЗДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА ИЗ СОСТАВА ФОСФОРИТОВ КАРАТАУ И СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ УГЛЕРОДНОГО ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВОГО СОСТАВА .....	68
<b>Сақтапбергенова А.А., Сатаева А.А., Толстова А.Р.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СТАНДАРТУ ЕВРО-5 .....	76
<b>Сатаева С.С., Нариков К.А., Хамзина Б.Е.</b> ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДОБАВОК .....	84

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Ахаева Ж.Б., Закирова А.Б., Жукабаева Т.К.</b> ОБЗОР МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В УМНЫХ ГОРОДАХ .....	90
<b>Бектемысова Г.У., Уатбаев М.М.</b> МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЭКСТРЕННОЙ СЛУЖБЫ .....	97
<b>Джолдасов С.К., Янгиев А.А., Рүстем Е.І.</b> НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ БЫСТРОТОКОВ С ИСКУССТВЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ .....	103
<b>Ибрагим Н.А.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ «УМНОГО» НОВОСТНОГО АГРЕГАТОРА .....	109
<b>Исахов А.А., Абылкасымова А.Б., Мансурова М.Е.</b> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ НА ВЫСОКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ .....	117
<b>Мухаметжанова Б.О., Казанцев И.Г., Сейпишева Э.К.</b> ВЫДЕЛЕНИЯ ДОМИНАНТНЫХ СТРУКТУР НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ .....	125
<b>Петров П.А., Ивель В.П., Герасимова Ю.В., Аубакирова Г.Ф., Молдахметов С.С., Гаголина О.С.</b> АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДСИСТЕМОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СКОРОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	129
<b>Рустамов Н.Т., Абдрахманов Р.Б., Сапарходжаев Н.П., Жунисов Н.М., Аманов А.А.</b> ОЦЕНКА ПСИХИЧЕСКОЙ ЭНТРОПИИ .....	137
<b>Салимханова А.С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	143
<b>Самигулин Т.И., Ширяева О.И.</b> РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА БАЗЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ HONEYWELL .....	150
<b>Сералина Н.Т.</b> ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПО .....	158
<b>Усербаева Б.А., Тлеуова С.Т., Тлеуов А.С., Таубаева А.С., Улбекова М.М.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ .....	162
<b>Утепов Е.Б., Тулебекова А.С., Казкеев А.Б.</b> РАЗРАБОТКА IT-АРХИТЕКТУРЫ ДАТЧИКА БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	168
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....	176

# CONTENTS

---

## OIL AND GAS ENGINEERING

<b>Bilashev B., Zhanatauov D., Bekturganova G.</b> ANALYSIS OF THE STATE OF OIL TRUNK PIPELINES.....	7
<b>Ivakhnenko A., Nadirov R., Zhantasov M., Bimbetova G., Nadirov R., Kusynbek S.</b> ESTIMATION AND GENERATION OF THE REAGENT COMPOSITION FOR DEMULSIFICATION OF PARAFFIN OIL.....	11
<b>Nurabayeva B., Asanov T.</b> BOREHOLE MINING METHODS OF MINERALS .....	20
<b>Sautpayeva E., Turgazinov I.</b> INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SEAWATER INJECTION ON OIL DISPLACEMENT FROM CARBONATE ROCK (ON THE EXAMPLE OF A FIELD IN KAZAKHSTAN).....	26
<b>Suleimenova R., Apendina A.</b> JUSTIFICATION AND DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF CEMENT SLURRIES TO IMPROVE THE QUALITY OF CEMENTING OF OIL WELLS.....	31

## CHEMICAL, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

<b>Assylkhankyzy A., Seitmagzimova G., Petropavlovsky I.</b> OPTIMIZATION OF THE ENRICHMENT PROCESS OF CHELKHAR DEPOSIT POTASSIUM ORE .....	39
<b>Zhangabay N., Utelbayeva A., Yermakhanov M., Kirgizbayeva A., Khassankhodjayeva B.</b> THERMOMECHANICAL SIMILARITY OF CYLINDRICAL RESERVOIRS WITH AFFINE CORRESPONDENCE BETWEEN THE MODEL AND THE FULL-SCALE OBJECT .....	48
<b>Nazhipkyzy M., Assylkhanova D.</b> PRODUCTION OF POROUS CARBON MATERIALS BASED ON SUPERHYDROPHOBIC SOOT AND OIL SLUDGE .....	52
<b>Nurlybayeva A., Saitbekova G., Kudaibergenova R., Amirova S., Omarova M.</b> INVESTIGATION OF PROPERTIES OF SYNTHESIZED ACRYLIC PAINTS.....	57
<b>Timofeyeva O., Buzova O.</b> METHODS OF PROCESSING POLYMER WASTE.....	63
<b>Sadiyeva Kh., Nurlybayeva A., Markhabatov N.</b> SEPARATION OF IRON AND MANGANESE COMPOUNDS FROM KARATAU PHOSPHORITES AND SYNTHESIS OF CARBON IRON MANGANESE NANOPARTICLES .....	68
<b>Saktapbergenova A., Satayeva A., Tolstova A.</b> STUDY OF FACTORS AFFECTING ON AUTOMOTIVE GASOLINE PRODUCTION ACCORDING TO THE EURO-5.....	76
<b>Sataeva S., Narikov K., Khamzina B.</b> PREPARATION OF MODIFIED BITUMENS WITH THE HELP OF SPECIAL ADDITIVES ....	84

## PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES

<b>Akhayeva Zh., Zakirova A., Zhukabayeva T.</b> OVERVIEW OF MULTI-AGENT SYSTEMS IN SMART CITY .....	90
---	----

<b>Bektemyssova G., Uatbayev M.</b> MODELS OF CONSTRUCTION OF THE UNIFIED DUTY-DISPATCHING EMERGENCY SERVICE .....	97
<b>Dzholdasov S., Yangiev A., Rustem E.</b> NEW FAST CURRENT DESIGNS WITH ARTIFICIAL ROUGHNESS .....	104
<b>Ibragim N.</b> INTELLIGENT MODULE FOR «SMART» NEWS AGGREGATOR .....	110
<b>Issakhov A., Abylkassymova A., Mansurova M.</b> APPLICATION OF THE LOAD BALANCING METHOD ON HIGH PARALLEL COMPUTING CLUSTER SYSTEMS .....	117
<b>Mukhametzhanova B., Kazantsev I., Sapysheva E.</b> HIGHLIGHTING DOMINANT STRUCTURES IN IMAGES .....	125
<b>Petrov P., Ivel V., Gerasimova Y., Aubakirova G., Moldakhmetov S., Gagolina O.</b> ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR THE ROTATION MECHANISM OF LARGE-SIZED OBJECTS WITH A COMPUTER SUBSYSTEM FOR SYNCHRONIZING THE SPEEDS OF ASYNCHRONOUS MOTORS .....	129
<b>Rustamov N., Abdrakhmanov R., Saparkhojayev N., Zhunisov N., Amanov A.</b> ASSESSMENT OF MENTAL ENTROPY .....	137
<b>Salimkhanova A.</b> USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION .....	143
<b>Samigulin T., Shiryayeva O.</b> DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR A COMPLEX TECHNICAL PROCESS BASED ON METAHEURISTIC ALGORITHMS OF SWARM INTELLIGENCE AND INDUSTRIAL EQUIPMENT OF THE HONEYWELL COMPANY .....	151
<b>Seralina N.</b> INFORMATION SYSTEMS FOR MACHINE INTELLIGENCE TO AUTOMATED SOFTWARE TESTING .....	157
<b>Userbaeva B., Tleuova S., Tleuov A., Taubayeva A., Ulbekova M.</b> MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF SORPTION TREATMENT OF WASTE WATER OF CHEMICAL PRODUCTIONS .....	163
<b>Utepov Ye., Tulebekova A., Kazkeyev A.</b> DEVELOPMENT OF AN IT ARCHITECTURE FOR A WIRELESS SENSOR FOR MONITORING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES .....	169
INFORMATION ABOUT AUTHORS .....	176

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 614.84  
МРНТИ 73.39.31

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-1-7-10

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

БИЛАШЕВ Б.А., ЖАНАТАУОВ Д.А., БЕКТУРГАНОВА Г.К.

*Западно-Казахстанский технологический университет*

**Аннотация:** В данной статье представлен краткий анализ состояния магистральных нефтепроводов Казахстана, так как больше внимания уделяется вопросам повышения уровня безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов. Причины возникновения аварийных ситуаций и техническое диагностирование трубопроводов.

**Ключевые слова:** магистральный нефтепровод, причины аварий, дефекты, ремонт трубопроводов, техническое диагностирование

## МАГИСТРАЛЬДЫҚ МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада магистральдық мұнай құбырларын қауіпсіз пайдалану деңгейін арттыру мәселелеріне көп көңіл бөлінуіне байланысты Қазақстанның магистральдық мұнай құбырларының жағдайына қысқаша талдау ұсынылған. Апаттық жағдайлардың себептері және құбырларды техникалық диагностикалау бойынша мәліметтер берілген.

**Түйінді сөздер:** магистральдық мұнай құбыры, апат себептері, ақаулар, құбырларды жөндеу, техникалық диагностика

## ANALYSIS OF THE STATE OF OIL TRUNK PIPELINES

**Abstract:** This article presents a brief analysis of the state of Kazakhstan's main oil pipelines, as more attention is paid to improving the level of safe operation of main oil pipelines. Causes of accidents and technical diagnostics of pipelines.

**Key words:** oil trunk pipeline, causes of accidents, defects, pipeline repairs, technical diagnostics

Топливо-энергетический комплекс имеет важное значение для экономики Казахстана. Республика Казахстан относится к группе государств, обладающих стратегическими запасами углеводородов и постепенно увеличивающих свое влияние на формирование рынка энергоресурсов ЕАЭС и мирового рынка нефти. За годы независимости Казахстана нефтегазовая отрасль выросла, окрепла и заняла лидирующее положение

в экономике. По объему товарного производства нефтегазовый комплекс в республике является одним из приоритетных среди других отраслей.

С запуском Казахстанского Трубопроводного Консорциума был осуществлен первый выход казахстанской нефти на мировой рынок через территорию России [1]. Казахстан, обладая значительными запасами углеводородного сырья (около 3% ми-

ровых запасов), входит в число 15 ведущих стран мира, добывающих данное сырье наряду со странами Ближнего Востока, Россией, Венесуэлой, Китаем, Норвегией, Канадой, Великобританией, Индонезией и Бразилией. Кашаган (9-е место в мире) – крупное нефтегазовое месторождение в Казахстане. Общие нефтяные запасы составляют 38 млрд. баррелей [2]. Казахстан заработал 132 млрд. USD за годы освоения месторождения Тенгиз. Общие разведанные запасы Тенгизского месторождения оцениваются в объеме 3,1 млрд. тонн или 26 млрд. баррелей. Месторождение Карачаганак насчитывает 1,2 млрд. тонн нефти и конденсата и более чем 1,35 трлн. кубометров газа. Нефтегазовая отрасль Республики Казахстан является одной из основных отраслей экономики страны. Существующая тенденция активного роста данной отрасли наряду с ежегодным увеличением нефтедобычи способствует росту привлекательности Казахстана для иностранных инвестиций. Соответственно привлечение инвестиций в нефтегазовую отрасль страны будет во многом зависеть от роста мировых цен на нефть. Стоит отметить, что значительная доля (около 85%) казахстанской нефти поставляется на экспорт.

Для транспортировки нефти в республике используются тысячи километров трубопроводов.

Магистральный нефтепровод – это инженерное сооружение, состоящее из подземных, подводных, наземных и надземных трубопроводов и связанных с ними насосных станций (в связи с большой протяженностью перекачка ведется не одной, а несколькими станциями, расположенными по трассе), хранилищ нефти и других технологических объектов, обеспечивающих транспортировку, приемку, сдачу нефти потребителям или перевалку на другой вид транспорта. Характерной особенностью магистральных нефтепроводов являются их значительная протяженность, круглосуточная работа в течение года, высокое давление перекачиваемой среды [3]. Режим работы магистральных трубопроводов – непрерывный (кратковременные оста-

новки носят случайный характер или связаны с ремонтно-восстановительными работами).

В последнее время все больше внимания уделяется вопросам повышения уровня безопасной эксплуатации опасных производственных объектов, в том числе магистральных нефтепроводов.

В настоящее время некоторые магистральные нефтепроводы на территории Казахстана эксплуатируются со сроком службы более 30 лет. Большой срок службы трубопроводов является причиной аварий, приводящих к тяжелым экологическим последствиям.

Аварии на нефтепроводах возникают по причинам общего характера, которые можно объединить в следующие взаимосвязанные группы причин:

1. Технические причины.

2. Внешние воздействия на нефтепровод (несанкционированные врезки, возможные нагрузки при производстве различных работ вблизи нефтепровода, наезды тяжелого транспорта, оползни, землетрясения, взрывы и др.).

3. Коррозионные повреждения нефтепровода.

Типичные технические причины аварий:

– разрушение фланцевых соединений трубопроводов;

– разрушение сварных соединений;

– усталостные трещины, коррозия, эрозия металлов, повышенная хрупкость стали, прогар труб;

– неисправности (заклинивание) запорных и регулирующих устройств, предохранительных и аварийных клапанов;

– отсутствие или неисправность средств контроля, противоаварийной защиты, сигнализации и связи.

Организационные причины (приблизительно 40% от всех причин):

– нарушения норм технологического режима;

– недостаточный контроль за состоянием трубопроводов, нарушения регламента обслуживания и ремонта;

– несоблюдение требований промышленной безопасности, норм и правил пожарной

безопасности, ошибочные действия персонала и т.д.;

- проектные недоработки или ошибки при проектировании;
- нарушения технологии сварки, некачественный монтаж и сборка трубопроводов;
- нарушения установленного порядка проведения огневых работ;
- применение конструкционных материалов и уплотнительных устройств, не соответствующих установленным требованиям эксплуатации.

Замена отслуживших свой срок трубопроводов ограничена экономическими соображениями. Для той части трубопроводов, которые выработали свой нормативный ресурс, но продолжают эксплуатироваться, целесообразной является эксплуатация по техническому состоянию. Такой метод целесообразен в условиях резкого сокращения объемов капитального ремонта и реконструкции для обеспечения требуемого уровня безопасности трасс трубопроводов.

При долгой эксплуатации магистральных нефтепроводов необходимо периодическое проведение внутритрубной технической диагностики трубопроводов с целью в кратчайшие сроки выявить и устранить дефекты первоочередного ремонта (ПОР), которые могут привести к разрушению целостности трубопровода. На основе информации о выявленных при проведении внутритрубной диагностики дефектах, подлежащих ремонту (ДПР), их классификации, плотности распределения в сочетании с другими факторами формируются участки трубопроводов для проведения капитального ремонта с заменой трубы и изоляции.

В настоящее время методы диагностики магистральных трубопроводов направлены на выявление факта наличия дефектов. Методы, позволяющие предопределить дефекты как следствие постепенной деградации металла, находятся на стадии развития.

Закономерно, что вышеотмеченные процессы приводят к деградации механических свойств металла труб. Причем замечен факт [4], что при данном процессе, а также в об-

щем случае длительной эксплуатации магистральных нефтепроводов практически не происходит изменений механических характеристик материала таких как твердость, временное сопротивление, предел текучести, изменяется только показатель ударной вязкости в сторону снижения. При этом критическая температура хрупкости смещается в область более высоких температур [5].

Несмотря на большую эффективность внутритрубной диагностики для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов ее недостаточно. Дополнительно для магистральных трубопроводов необходимо оценивать:

- остаточный ресурс с разработкой рекомендаций по его повышению;
- соответствие проекту на строительство и ремонт;
- соответствие измененным с момента проектирования и строительства требованиями нормативных документов в части проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции и ремонта нефтепроводов;
- эффективность работы установленного оборудования (запорной арматуры, камер пуска приема средств очистки и диагностики, средств электрохимической защиты, электрооборудования, телемеханики, связи и т.п.).

Анализ результатов аварийных ситуаций магистральных нефтепроводов, произошедших за последние годы, показывает следующие основные причины их появления, процентное соотношение которых представлено на рисунке 1.

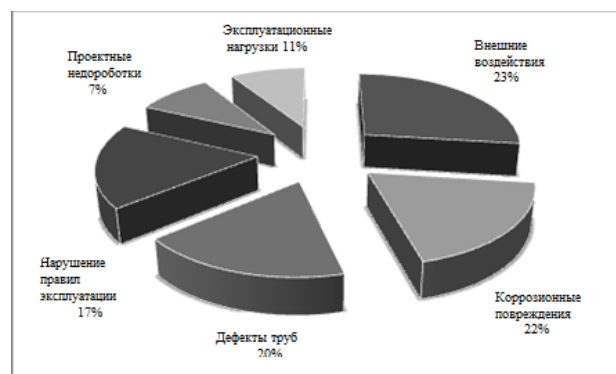


Рис. 1 – Анализ результатов аварийных ситуаций магистральных нефтепроводов

Казахстану как государству, не имеющему морских границ, необходима хорошо развитая нефтегазотрубопроводная система. Однако существующая трубопроводная инфраструктура не может в долгосрочном плане удовлетворить растущие потребности рес-

публики в транспортировке углеводородов как на внутренний, так и на международный рынки. Развитие трубопроводной инфраструктуры будет содействовать общему развитию экономики страны и, в конечном итоге, повышению благосостояния ее граждан.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бекбергенова Ж.Т. Развитие нефтегазовой отрасли Республики Казахстан // АктГУ им. Есенова [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rusnauka.com /14\\_APSN\\_2008/Economics/32274.doc.htm](http://www.rusnauka.com /14_APSN_2008/Economics/32274.doc.htm).
2. Карабалин У. Нефтегазовая отрасль Казахстана: реалии и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <http://federalbook.ru/files/ТЕК/Soderzhanie/Tom%2014/V/Karabalin.pdf> (дата обращения: 14.11.2018).
3. В.В. Шалай, М.М. Васильев, К.А. Шумаков. Анализ технического состояния объектов линейной части магистральных нефтепроводов, определение оптимальных способов поддержания объектов линейной части в нормативном состоянии. // Омский научный вестник, 1(26). – 2004. – С.196-198.
4. Горицкий В.М. Диагностика металлов. – М.: Metallurgizdat, 2004. – 408 с.
5. Курочкин В.В. Эксплуатационная долговечность нефтепроводов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». – 2001. – С.38-59.
6. Демченко В. Г., Демченко Г. В. Магистральные трубопроводы. Надежность. Условия работы и разрушений. – М.: Недра, 2007 г.

**ОЦЕНКА И ПОЛУЧЕНИЕ СОСТАВА РЕАГЕНТА ДЛЯ ДЕЭМУЛЬСАЦИИ  
ПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ****ИВАХНЕНКО А.П.<sup>1,2</sup>, НАДИРОВ К.С.<sup>3</sup>, ЖАНТАСОВ М.К.<sup>3</sup>,  
БИМБЕТОВА Г.Ж.<sup>3</sup>, НАДИРОВ Р.К.<sup>4</sup>, КУСЫНБЕК С.К.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет<sup>2</sup>IPES, Великобритания<sup>3</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова<sup>4</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования по получению нового состава реагента для удаления эмульсионной воды парафинистых нефтей, со свойствами ингибирования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), снижения вязкости водонефтяной эмульсии. Предлагается смещение некоторых поверхностно-активных веществ, которые имеют различное строение, при этом на основе определенного набора исходных составляющих подбирается соответствующий состав реагентов с деэмульгирующими свойствами. В состав поверхностно-активного вещества вводится несколько индивидуальных соединений в смеси, проявляющих синергетический эффект. Предлагаемые композиции обладают комплексом свойств, являющихся результатом их совместного действия. В результате проведенных исследований технический результат достигнут путем применения состава реагента, включающего неионогенный деэмульгатор, в качестве которого использовали оксиэтилированные жирные кислоты, хлопковый гудрон, Сульфанол, Синтанол АЛМ-10 и растворитель при определенных соотношениях. Лабораторные испытания новой композиции, выполненные на нефтях месторождения Ащысай и модельных эмульсиях, показали, что композиция относится к реагентам для разрушения водонефтяных эмульсий.

**Ключевые слова:** нефть, деэмульгатор, оксиэтилированные жирные кислоты, деэмульсация, синергетический эффект, асфальтеты, парафины, соапсток, гудрон, сульфанол, синтанол

**ESTIMATION AND GENERATION OF THE REAGENT COMPOSITION FOR  
DEMULSIFICATION OF PARAFFIN OIL**

**Abstract:** The purpose of this research was to create an effective composition of a reagent for dehydration and desalination of paraffinic oils, with the properties of inhibiting asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD), and reducing the complex viscosity of an oil-water emulsion. We proposed displacement of surfactants of various structures together with a certain set of initial components, and the selection of reagent compositions with different properties. In the composition of the surfactant, several individual compounds are introduced in a mixture providing a synergistic effect. The proposed compositions have a set of properties resulting from their combined interaction.

As a result of this study the technical result was achieved by using a reagent composition including a nonionic demulsifier, which was oxyethylated fatty acids, sulfanol, syntanol ALM-10 and a solvent at certain ratios. Laboratory tests of the new composition, carried out for crude oils from the Aschysai field and model emulsions, showed that the composition belongs to reagents for the destruction of water-in-oil emulsions.

**Key words:** oil, demulsifier, oxyethylated fatty acids, demulsification, synergistic effect, asphalt, paraffins, soap stock, tar, sulfanol, syntanol

## ПАРАФИНДІ МҰНАЙДЫ ДЕЭМУЛЬСАЦИЯЛАУҒА АРНАЛҒАН РЕАГЕНТ ҚҰРАМЫН АЛУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

*Аңдатпа:* Жүргізілген зерттеулердің мақсаты парафинді мұнайларды сусыздандыру және тұзсыздандыру үшін асфальтты-шайырлы парафинді шөгінділердің (АШПШ) түзілуін баяулатушы, сумұнайлы эмульсияның кешенді тұтқырлығын төмендетуші қасиеттері бар реагенттің тиімді құрамын құрастыру болып табылады. Бастапқы компоненттердің белгілі бір жиынтығы болған кезде әртүрлі құрылымдағы беттік-активті заттардың (БАЗ) ығысуы, әрқелкі қасиеттері бар реагенттердің құрамын таңдау ұсынылады. Беттік – активті заттың құрамына қоспада синергетикалық әсер көрсететін бірнеше жеке қосылыстар енгізіледі. Ұсынылған композициялар олардың бірлескен әрекетінің нәтижесі болып саналатын бірқатар қасиеттерге ие. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде құрамында оксиэтилденген май қышқылдары, мақта гудроны, Сульфанол, Синтанол АЛМ-10 және белгілі бір қатынаста еріткіш пайдаланған ионогенді емес деэмульгатордан тұратын реагент құрамын қолдану арқылы техникалық нәтижеге қол жеткізілді. Ащысай кен орнының мұнайларында және модельдік эмульсияларда орындалған жаңа композицияның зертханалық сынақтары композиция сумұнайлы эмульсияларды бұзуға арналған реагенттерге жататынын байқатты.

*Түйінді сөздер:* мұнай, деэмульгатор, оксиэтилденген май қышқылдары, деэмульсация, синергетикалық әсер, асфальтендер, парафиндер, соапсток, гудрон, сульфанол, синтанол

### Введение

В настоящее время на ряде месторождений Казахстана, таких как Кумколь Ащысай, Акшабулак и другие, обводненность добываемой нефти доходит до 90%. Содержащиеся в нефти стойкие водонефтяные эмульсии, стабилизированные природными асфальтенами и смолами осложняют ее переработку, в связи с этим задача обезвоживания этой нефти является актуальной. Из-за высокой устойчивости таких эмульсий их разрушения удается достичь только с помощью деэмульгаторов и температурной обработкой [1].

Сложность деэмульгирования добываемой жидкости становится все более заметной с увеличением добычи тяжелой нефти, поэтому исследование специальных деэмульгаторов для тяжелой нефти очень важно. На сегодня в нефтепромысловых условиях используется довольно широкий ассортимент реагентов – деэмульгаторов и в реальных условиях их использование на практике не всегда даёт ожидаемые результаты. Кроме того, эти реагенты отличаются высокой стоимостью и их применение при промышленной подготовке нефти, несомненно, сказывается на себестоимости скважинной продукции [2].

Было исследовано существование связи между эффективностью деэмульсификации и свойствами деэмульгатора, включая значение относительного количества растворимости (RSN) и молекулярного веса. Тем не менее, есть много работ, исследующих связь между свойством сырой нефти и молекулярной структурой деэмульгаторов [3].

Авторами работы [4] было исследовано влияние структуры деэмульгатора на эффективность обессоливания сырых масел. Показано, что число атомов углерода в карбоксиле алкила в фенольном ядре алкилфенольной формальдегидной смоле оказывает влияние на разрушение бронирующей оболочки эмульсии на границе «вода-масло».

Для повышения эффективности используют быстрые деэмульгаторы, называемые нанодеэмульгаторы. Были проведены обширные исследования по получению и использованию нанодеэмульгаторов, которые проявляют деэмульгирующие свойства сырой нефти. Наноэмульгатор получается путем модификации деэмульгаторов на поверхностях наноразмерных неорганических твердых частиц для улучшения его скорости диффузии и проникновения в структуру

эмульсии, таким образом, увеличивая скорость деэмульгирования.

В нынешних условиях одним из направлений при синтезе новых деэмульгаторов является использование поверхностно-активных соединений различного назначения. Это позволяет при эффективном подборе исходных компонентов добиться получения составов с желаемыми свойствами и расширить функциональное действие реагентов [5-8].

Для получения эффективных реагентов с относительно невысокой себестоимостью перспективным является использование вторичных ресурсов и отходов производств химической и пищевой промышленности. На сегодняшний день на территории Туркестанской области работает сеть мини-заводов по производству и переработке растительных масел, в частности, хлопчатника и сафлора. Основными побочными продуктами переработки являются так называемые соапстоки и гудроны, которые накапливаются при вакуумной дистилляции жирных кислот. В наших исследованиях использованы гудрон дистилляции жирных кислот, а также жирных кислот, полученных вакуумной дистилляцией, которые ранее использовались для получения композиционных деэмульгаторов [9-10].

В исследованиях, проведенных ранее, исходные жирные кислоты для синтеза нами получались путем омыления гудрона, который является кубовым остатком дистилляции жирных кислот хлопкового масла. Далее после проведения процесса омыления и доведения значения рН среды до 4-5 жирные кислоты получались экстракционным бензином. Однако практика показала, что приведенный метод для получения жирных кислот для получения их оксиэтилированных производных является довольно трудоемким и затратным. Данный метод практически мало обеспечивает селективного выхода требуемых смесей кислот. В этих условиях более целесообразным является брать в качестве источника получения исходных веществ кубовые остатки с дополнительной щелочной обработкой, которые были использованы нами в данной работе [11].

Основной целью проведенных в данной работе исследований было получение с эффективного состава деэмульгирующего реагента для удаления эмульсионной воды из сырой парафинистой нефти. Предполагалось, что реагент будет обладать свойствами ингибирования асфальтосмолопарафиновых отложений, улучшения реологических свойств скважинной продукции в процессах подготовки нефти.

### Материалы и методы

Объектами исследования являлись композиции разного состава, созданные на основе оксиэтилированных жирных кислот (ОЭЖК), полученные из гудрона вакуумной дистилляции жирных кислот хлопкового соапстока.

Использованный в работе для получения композиции хлопковый гудрон (далее гудрон) является однородной довольно вязкой массой, цвет которой меняется от темно-коричневого до черного цвета, в зависимости от условий дистилляции. В среднем в гудроне содержится от 50 до 62% свободных жирных кислот и их производных, которые являются балластными веществами и ухудшают качество масла. Остальная часть органических веществ, содержащихся в гудроне – это продукты конденсации и полимеризации госсипола и его превращений, которые также нами отделялись при щелочной обработке и извлечением в нейтральной среде [11].

Состав вакуумного дистиллята, установленный методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) следующий,%. Ненасыщенные кислоты: линолевая – 31,1, линоленовая – 25,2, олеиновая – 19,3. Насыщенные кислоты: пальмитиновая 18,0, стеариновая – 2,1, миристиновая – 1,4, арахидиновая – 0,5. Именно этот состав был использован для получения ОЭЖК. Оксиэтилированные производные жирных кислот получали действием этиленоксида или пропиленоксида в реакторе высокого давления **РВД-2-150** по ранее разработанной технологии [11].

Сульфанол и Синтанол АЛМ-10 для исследований готовили соответственно по

методикам ТУ 2481-004-48482528-99 и ТУ-2483-003-71150986-2006.

В качестве растворителя использовали Нефрас Ар 120/200 по ТУ 38.101809-90.

Для сравнительной оценки в качестве прототипа при создании нового реагента широкого спектра действия был выбран деэмульгатор, полученный ранее [7].

Композиционный состав готовили смешиванием компонентов в следующей последовательности: в мерную колбу емкостью 250 мл заливали растворитель в количестве 10-30 мл, добавляли сначала оксиэтилированные жирные кислоты, перемешивали, затем вво-

дили сульфанол в количестве 10-15 г, синтанол АЛМ-10 в количестве 5-10 г, гудрон 10-15 мг, после чего доводили объём смеси до 1000 мл растворителем «Нефрас Ар 120/200». Полученные составы представляют собой однородные жидкости желтого цвета с плотностью 0,920-0,940 г/см<sup>3</sup>, вязкостью не выше 80 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания не выше –50°С со специфическим запахом.

Лабораторные испытания композиций выполнялись на нефти месторождения Ащысай и модельных эмульсиях на их основе по следующей методике. Поступающая водонефтяная эмульсия отбиралась с пробоотборника непо-

**Таблица 1 – Данные по составам композиционных деэмульгаторов, полученные на основе ОЭЖК**

Номер примера	Соотношение компонентов, мас.%			
	Оксиэтилированные жирные кислоты	Сульфанол	Синтанол АЛМ-10	Гудрон
растворитель Нефрас Ар 120/200				
1	40	10	5	15
2	50	15	10	12
3	45	12	8	10
4	20	12	8	10
5	0	12	8	10
6	65	12	8	10
7	45	0	8	10
8	45	5	0	10
9	45	20	15	10
10	45	12	8	5
11	45	12	8	0
12	45	12	8	30
растворитель толуол по ГОСТ 5789-78				
13	45	12	8	12
растворитель этилбензольная фракция (ЭБФ) по ТУ 38.30225-81				
14	45	12	8	12
растворитель бутилбензольная фракция (ББФ) по ТУ 38.10297-76				
15	45	12	8	12
растворитель метиловый спирт по ГОСТ 2222-78				
16	45	12	8	12
растворитель изопропанол по ГОСТ 9805-84				
17	45	12	8	12

средственно с установки комплексной подготовки нефти, при этом дозатор был установлен на общем коллекторе до штуцера подачи реагента. В готовые образцы водонефтяной эмульсии добавляли испытываемые реагенты – деэмульгаторы с определенными расходами на испытываемую нефть. После этого пробы водонефтяной эмульсии встряхивали на качалке при скорости 150 раз в минуту в течение 2 минут. Далее готовые образцы эмульсий оставляли на гравитационное отстаивание в течение 1,5 часа при температуре 40-50°C. Количество отстоявшейся в пробирках воды через определенные промежутки времени измеряли. По истечении времени отстоя выделенную воду удаляли специальным шприцем, а нефть вместе с промежуточным слоем центрифугировали в течение 5-6 минут при частоте вращения ротора 2000 мин<sup>-1</sup>. Для отделения отстоявшейся в пробирках в промежуточном слое воды использовали центрифугу ОПн-12 с ротором РУ-180. Таким образом устанавливалось, что, чем больше остаточной воды в нефти остается в виде неразрушенной эмульсии, тем ниже эффективность действия деэмульгатора. Это делалось для уменьшения образования и накопления эмульсионной воды в промежуточном слое в отстойной емкости.

### Результаты и их обсуждение

Агрегативную устойчивость водонефтяной эмульсии определяли также центрифуги-

рованием в контрольной пробе (без реагента) до и после отстоя.

В результате проведенных экспериментов был подобран состав для обезвоживания и обессоливания нефти: оксиэтилированные жирные кислоты – 40-50%; хлопковый гудрон – 10-15%; поверхностно-активное вещество с моющим эффектом – сульфанол – 10-15%; поверхностно-активное вещество со смачивающим эффектом – синтанол АЛМ-105-12%; растворитель (Нефрас Ар 120/200) – остальное.

Проведенные исследования реагента деэмульгирующего действия в процессах промыслового обезвоживания смеси нефти с разными эмульсиями системы «вода в нефти», а также парафинистой нефти, показали, что полученный реагент является эффективным.

В таблице 1 приведены некоторые составы композиционных деэмульгаторов, которые обозначены как примеры 1-17. Результаты испытаний эффективности предлагаемых составов и прототипа представлены в таблицах 2-4.

Из данных таблицы 2 следует, что деэмульгирующая эффективность реагентов при дозировке 35 г/т высокая и не уменьшилась при усложнении состава, причем в данном случае уменьшение содержания Сульфанола, Синтанола АЛМ-10 и гудрона (и даже их отсутствие: примеры 7, 8 и 11), не вызывает снижения эффективности состава, что связано с тем, что по эффективности обезвожи-

**Таблица 2 – Данные, полученные по деэмульгирующей эффективности композиций при дозировке 35 г/т в зависимости от их состава**

Номер примера по табл. 1	Остаточное содержание воды в нефти, % мас.	Остаточное содержание солей в нефти, мг/л	Скорость деэмульсации до остаточного содержания воды 2%, мин
прототип	0,5	40	98
1	0,5	40	30
2	0,5	40	28
3	0,5	40	31
4	4,0	120	109
5	6,0	180	90
7	0,5	41	36
8	0,5	42	45
11	0,5	44	34

вания деэмульгатор прототипа, содержащий ОЭЖК является эффективным составом для деэмульгирования парафинистых нефтей. При снижении содержания ОЭЖК деэмульгирующая эффективность снижается (примеры 4 и 5), при их отсутствии реагент проявляет свойства слабого деэмульгатора за счет наличия в составе других, менее эффективных ПАВ – Сульфанола и Синтанола АЛМ-10. Скорость деэмульсации при оптимальном

составе композиции по сравнению с прототипом повышается более чем в 3 раза.

Иначе проявляется влияние изменения соотношения компонентов на реологические свойства эмульсий (таблица 3) и на эффект ингибирования АСПО (таблица 4). Комплексная вязкость при введении в состав деэмульгатора гудрона снижается в 2,5-4 раза, но только до содержания 15 масс.%. При повышении содержания гудрона выше 18 масс.% комплексная вязкость водонефтяной

**Таблица 3 – Эффективность снижения комплексной вязкости водонефтяной эмульсии**

Номер примера по табл. 1	Комплексная (вязкая и упругая) вязкость, МПа·с при температуре, °С		
	5	15	25
Исходная модельная эмульсия	20100	9200	4500
Прототип	20000	9300	4600
1	8000	4500	1800
2	7000	3500	1200
3	5000	2000	1000
11	19000	9000	4200
12	14000	8100	3500
5	20200	9400	4700
7	18900	8800	4400
8	19500	9100	4500

**Таблица 4 – Эффективность ингибирования АСПО**

Номер примера по табл. 1	Массовая доля остаточной воды в нефти	Эффективность ингибирования АСПО			Содержание нефти в сточной воде, мг/мл
		дисперсность, мм	замазывание, %	налипание, %	
Исходная модельная эмульсия	-	> 5	около 50	около 40	-
Прототип	Эффект ингибирования АСПО отсутствует				
1	0,5	3	2	7	27
2	0,5	2	1	6	25
3	0,5	1	0	4	22
5	0,5	> 5	20	15	27
7	0,5	> 5	21	17	29
8	0,5	> 5	40	35	60
11	0,5	> 5	36	30	63
5	0,5	> 5	38	34	69

**Таблица 5 – Изменение краевого угла смачивания углеводородных компонентов нефти некоторыми ПАВ**

Углеводородные компоненты нефти	Время, с	Изменение краевого угла смачивания (в град) во времени для ПАВ:			
		ОКЖК	Гудрон	Сульфанола	Синтанола
Парафин	10	40	58	37	24
	20	40	58	35	23
	30	39	57	32	22
	40	37	57	29	21
	60	36	56	27	20
Смола	10	38	50	40	28
	20	37	50	38	28
	30	36	49	36	28
	40	34	48	34	27
	60	32	47	32	26
Асфальтены	10	42	56	44	40
	20	41	56	42	40
	30	40	55	41	38
	40	38	54	40	36
	60	36	53	39	34

эмульсии вновь повышается (пример 12). В случае отсутствия гудрона в составе деэмульгатора (пример 11) или отсутствия других компонентов (примеры 7 и 8), снижения комплексной вязкости водонефтяной эмульсии практически не происходит, что подтверждает функциональное назначение гудрона в составе композиции (регулирование реологических свойств) и возникновение синергетического эффекта относительно реологических свойств модельных эмульсий за счет оптимального соотношения всех компонентов.

Эффективность ингибирования АСП (таблица 4) увеличивается по мере повышения содержания Синтанола и Сульфанола, а при их отсутствии (примеры 7 и 8) эффективность снижается. Если в составе композиции отсутствует гудрон (пример 11) или оксигенированные жирные кислоты (пример 5), то эффект ингибирования АСПО также практически отсутствует, что подтверждает возникновение синергетического эффекта относительно ингибирования АСПО за счет оптимального соотношения всех компонентов. Содержание нефти в сточной воде в оптимальных условиях не превышает 22-27 мг/мл.

В таблице 5 приведены сведения об эффективности изменения краевого угла смачивания используемых углеводородных компонентов, которые были выделены из неф-

ти месторождения Ащысай 1-2%-ными водно-спиртовыми растворами при исследовании парафинов, смол и асфальтенов.

Наименьший краевой угол смачивания наблюдается при использовании синтанола, что обуславливает широкое применение этого средства в качестве эмульгаторов, диспергаторов, добавок к моющим и очищающим композициям и делает его перспективным компонентом для разработки новых составов композиционных деэмульгаторов. На основании полученных данных установлено, что не все соединения обладают смачивающими свойствами. Например, нами установлено, что гудрон не обладает выраженными смачивающими свойствами, однако в составе деэмульгатора он играет важную роль в качестве синергетического компонента.

Для эффективного конструирования состава деэмульгатора также необходимы сведения о моющем действии отдельных компонентов композиции. В таблице 6 приведены сведения о моющем действии отдельных компонентов композиционных деэмульгаторов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что используемый нами гудрон смывает около половины адсорбированного углеводородного слоя с поверхности твердых частиц. Следовательно, сделан вывод о том, что при проведении разрушения водонефтяной

Таблица 6 – Относительное моющее действие различных ПАВ

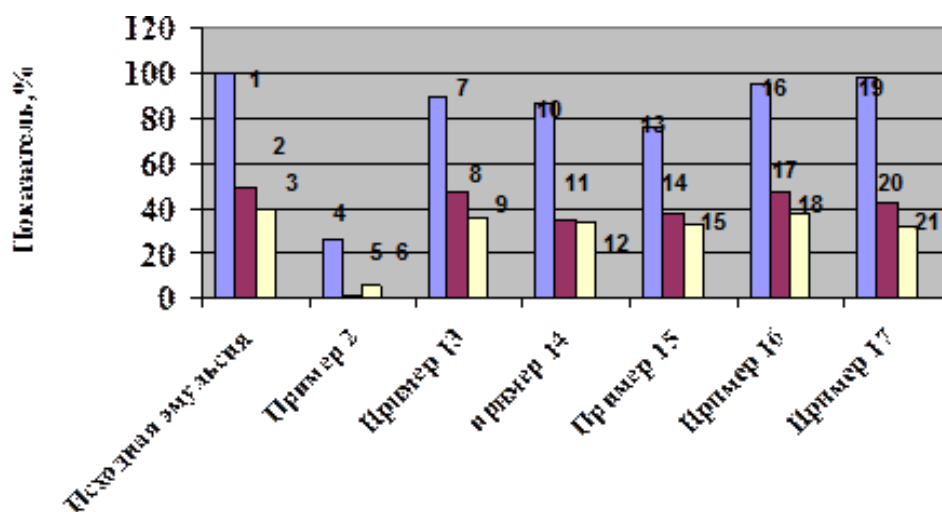
Концентрация ПАВ, мг/л	Относительная моющая способность, %			
	ОКЖК	гудрон	Синтанол	Сульфанол
100	30	10	33	35
200	32	12	44	44
400	34	14	50	59
600	48	12	54	75
800	52	13	56	80
1000	56	10	58	84

эмульсии с использованием только гудрона дистилляции твердые частицы лишь частично будут переходить с границы раздела в водную фазу. Это происходит по причине весьма невысокой их моющей способности. Предполагается, что это в свою очередь, как правило, способствует образованию стойких промежуточных слоев, насыщенных механическими частицами на стадии деэмульсации скважинной водонефтяной эмульсии. На основании полученных данных выявлено, что в исследуемых условиях сульфанол проявляет выраженные моющие свойства. Кроме того в ходе проведенных экспериментальных исследований было установлено, что проявляющийся синергетический эффект деэмульгирующего действия разработанного состава, то есть когда компоненты в полученном составе являются более активными, чем в отдельности, при обработке водонефтяных эмульсий в определенном диапазоне соотно-

шений некоторых компонентов, обусловлен экстремальным изменением поверхностного натяжения и смачивающего действия в области образования мицелл в системе.

Данные рисунка 1 свидетельствуют о большой роли природы растворителя при ингибировании АСПО и улучшение реологических свойств сырой нефти. Заявляемые показатели из числа исследованных растворителей обеспечивают только использование растворителя Нефрас Ар 120/200. Во всех остальных случаях две новые функции, а именно: эффект ингибирования АСПО и улучшение реологических свойств невысоки или практически отсутствуют.

Оптимальная дозировка деэмульгатора составляет 30-35 г/т, при уменьшении дозировки снижаются все показатели эффективности препарата, при её повышении вновь начинает возрастать комплексная вязкость.



Номера столбцов: 1,4,7,10,13,16,19 – комплексная вязкость модельной эмульсии (в % от исходной), 2,5,8,11,14,17,20 – замазывание, 3,6,9,12,15,18,21 – налипание

Рис. 1 – Влияние природы растворителя на комплексную вязкость модельной эмульсии и ингибирование АСПО

### Выводы

Таким образом показано, что полученный нами состав является эффективным деэмульгатором, обладающим свойствами разрушения водонефтяных эмульсии при дозировке 30-40 г/т скважинной продукции.

Полученный реагент в значительной степени ингибирует процесс образования асфальтосмолопарафиновых веществ из нефти и тем самым снижает вязкость нефти при сборе и подготовке нефти в промысловых условиях.

Данные исследования выполнены при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №AP08857586).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gulnaz Zh. Moldabaeva, Saltanat E. Baibotaeva, Kazim S. Nadirov, Yury V. Zeygman, Aynur S. Sadyrbaeva. Reagent preparation for oil treatment and its use in the process of dehydration // *Jr. of Industrial Pollution Control* 33(1)(2017). – P.1075-1084.
2. Бойко Г.И., Любченко Н.П., Маймаков Т.П., Шайхутдинов Е.М., Оразбекулы Е., Сабдалиева М.К., Игнатович А.В. (2010) Химические реагенты для подготовки нефтей к транспорту. Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса: доклады восьмых международных научных Надировских чтений. – Алматы. – 2010 г. – С. 150-155.
3. Wu Tong, Wang Xingwang, Zhang Yunan et al. Study on the Dehydration Process of Aging Oil by Demulsifier Modified With Nanometer-Silicion[J] // *Contemporary Chemical Industry* 42(11). 213. – P.1488-1490.
4. Sun Zhenggui. Application of Polyether Demulsifier TA1031 Modified by Nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[J] // *Journal of Petrochemical Universities* 21(3).2008. – P. 9-12.
5. Семихина Л.П., Перекупка А.Г., Плотникова Д.В., Журавский Д.В. Повышение эффективности деэмульгаторов путем получения их наномодификаций // *Вестник Тюменского государственного университета*. – № 6. – 2009. – С.88-93.
6. Башкирцева Н.Ю. Композиционные деэмульгаторы для подготовки нефти: автореферат... канд. техн. наук. – Казань, 1996.
7. Надиров К.С. и др. (2017) Композиционный деэмульгатор. Патент РК № 32196 от 01.06.2017, бюллетень №12.
8. Надиров Л.С., Капустин В.М., Приходько Н.А., Сатаев М.И. Отарбаев Н.Ш. и др. Состав для глубокого обезвоживания и обессоливания нефти. Патент на изобретение №3290. Опубликовано 14.11.2018.
9. Надиров К.С., Жантасов М.К., Бимбетова Г.Ж., Орынбасаров А.К., Ерменов С.М., Шегенова Г.К., Калменов М.У., Зият А.Ж. Выбор метода экстракции свободных жирных кислот из смеси компонентов госсиполовой смолы // *Materialy XI mezinarodni vedecko-konference «Aktualni vymozenosti vedy – 2015».-Dil 6. Lekarstvi. Biologicke vedy. Chemie a chemicka technijlgie. Ekologie. Zemedelstvi.: Praga. Publishing House «Education and Scitnce».* – С.51-56.
10. Надиров К.С., Жантасов М.К., Бимбетова Г.Ж., Ерменов С.М., Жусупалиев М.А., Отарбаев Н.Ш. Оксиэтилирование жирных кислот гудронов хлопкового масла для получения ПАВ деэмульгирующего действия. Материалы за X Международна научна практична конференция «Найновите научни постижения-2014», Т. 33. Технологии. – София.: «БялГРАД-БГ» ООД, 2014. – С. 69-74.
11. Надиров К.С., Жантасов М.К., Бимбетова Г.Ж., Орынбасаров А.К. Разработка аппаратно-технологического оформления процесса оксиэтилирования жирных кислот госсиполовой смолы. Национальная ассоциация ученых. Ежемесячный журнал, №3(8). – Екатеринбург. – 2015. – С.160-163.

## СКВАЖИННЫЕ МЕТОДЫ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

НУРАНБАЕВА Б.М., АСАНОВ Т.Н.

*Caspian University*

**Аннотация:** В научной статье предлагаются задачи поиска новых месторождений, полезных ископаемых и выявление их промышленного значения. Для выполнения упомянутых задач с высоким качеством и в сжатые сроки необходимо соответствующее техническое сопровождение геолого-разведочных работ. В зависимости от специфики решаемых геологических проблем в такое техническое сопровождение входят горные и буровые работы, геофизические и гидрогеологические исследования, каротаж и т.д. Наиболее широко применяются буровые работы, которые являются основным техническим средством получения геологической информации как по ее объему, так и по качеству. Бурение скважин в сравнении с проведением горноразведочных выработок обладает более высокой производительностью, значительно меньшей стоимостью и удовлетворительным качеством получаемой информации.

**Ключевые слова:** месторождение полезных ископаемых, поиски и разведка, геологический разрез, метод скважинного подземного выщелачивания (ПСВ), технологические скважины, закачные и откачные скважины, продуктивные (рудные) горизонты

## ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫ ӨНДІРУДІҢ ҰҢҒЫМАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

**Аңдатпа:** Ғылыми мақалада жаңа кен орындарын, пайдалы қазбаларды іздеу және олардың өнеркәсіптік маңызын анықтау міндеттері ұсынылған. Аталған міндеттерді жоғары сапалы және қысқа мерзімде орындау үшін геологиялық-барлау жұмыстарына тиісті техникалық қолдау қажет. Шешілетін геологиялық проблемалардың ерекшелігіне байланысты мұндай техникалық сүйемелдеуге тау-кен және бұрғылау жұмыстары, геофизикалық және гидрогеологиялық зерттеулер, каротаж және т.б. кіреді. Бұрғылау жұмыстары кеңінен қолданылады, олар геологиялық ақпаратты оның көлемі мен сапасы бойынша алудың негізгі техникалық құралы болып табылады. Ұңғымаларды бұрғылау тау-кен барлау жұмыстарын жүргізумен салыстырғанда, өнімділігінің бірнеше есе жоғары және едәуір құны төмен, ал алынатын ақпараттың сапасының қанағаттанарлығын байқаймыз.

**Түйінді сөздер:** пайдалы қазбалар кен орны, іздеу және барлау, геологиялық қима, ұңғымалық жерасты шаймалау әдісі (ҰЖШ), технологиялық ұңғымалар, айдау және айдау ұңғымалары, өнімді (кенді) қабаттар

## BOREHOLE MINING METHODS OF MINERALS

**Abstract:** The scientific article offers problems of searching for new deposits, minerals and identifying their industrial significance. To perform these tasks with high quality and in a short time, appropriate technical support for geological exploration is required. Depending on the specifics of the geological problems to be solved, such technical support includes mining and drilling operations, geophysical and hydrogeological studies, logging, etc. The most widely used drilling operations are the main technical means of obtaining geological information both in terms of its volume and quality. Drilling wells in comparison with conducting

*mining operations has a much higher productivity, significantly lower cost and satisfactory quality of the information received.*

**Key words:** *mineral deposits, prospecting and exploration, geological section, underground leaching method, technological wells, injection and pumping wells, productive (ore) horizons*

В результате проведения комплекса поисковых и разведочных работ производится разведка месторождения того или иного вида полезного ископаемого.

Месторождение (полезного ископаемого) – это природное скопление (место скопления, местонахождение) минерального вещества (полезного ископаемого) на поверхности или в недрах Земли. В результате тех или иных геологических процессов по количеству, качеству и горнотехническим условиям разработки пригодны для промышленной разработки с положительным экономическим эффектом.

Месторождения могут заключать:

- газовые (горючие газы углеводородного состава и негорючие газы – гелий, неон, аргон, криптон);
- жидкие (нефть и подземные воды);
- твёрдые (ценные элементы, кристаллы, минералы, горные породы) полезные ископаемые.

По промышленному использованию месторождения разделяются на:

- рудные или металлические (месторождения черных, цветных, легких, редких, благородных и радиоактивных металлов);
- нерудные (неметаллические) (месторождения химического, агрономического, металлургического, технического и строительного сырья);
- горючие (месторождения нефти, горючих газов, углей, горючих сланцев и торфа);
- гидроминеральные (подземные и поверхностные бытовые, технические, бальнеологические и минеральные воды).

Все минеральные ресурсы, как твердые, так и жидкие, и газообразные на нашей планете располагаются неравномерно и находятся либо на поверхности, либо глубоко под землей, и в зависимости от их мест размеще-

ния и залегания для их добычи используют тот или иной способ.

Наиболее распространенными способами добычи природных ресурсов являются:

- открытый либо карьерный способ;
- закрытый либо подземный или шахтный способ;
- комбинированный либо открыто-подземный способ;
- геотехнологический либо скважинный способ;
- дражный способ.

Скважинная гидродобыча (СГД) – метод подземной добычи твердых полезных ископаемых, основанный на приведении полезного ископаемого на месте залегания в подвижное состояние путем гидромеханического воздействия и выдачи его в виде гидросмеси на поверхность.

Скважинный способ добычи получил наибольшее распространение, т.к. является малозатратным, менее трудоёмким и вследствие этого наиболее рентабельным. Скважинным способом добычи производится добыча газовых, жидких и твердых полезных ископаемых. Наибольший объем добычи скважинным методом через пробуренные скважины производится добыча и разработка месторождений углеводородного сырья – нефти, газа, газоконденсата и т.п., а также подземных вод.

На сегодняшний день способ подземного скважинного выщелачивания является самым современным, экологически безопасным и экономически выгодным методом добычи природного урана.

В отличие от традиционного шахтного способа добычи путем извлечения руды из недр, ее дробления и обработки, в технологии подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), также известной как добыча растворением, руда остается на месте залегания,

и через нее прокачиваются жидкости для выщелачивания минералов из руды. Благодаря применению данной технологии почвенный покров почти не нарушается, не образуется хвостов и пустой породы, и полностью отсутствует рудная пыль.

Существующие источники энергии – уголь, газ, нефть – постепенно истощаются. Альтернативным источником энергии становится энергия атома. Основным сырьем энергии атома является уран, извлекаемый из руд. Природные ресурсы урана также не безграничны и поэтому более полное их использование весьма актуально. Важной особенностью ядерной энергетики является сравнительно малая величина себестоимости топливной составляющей в цене производимой энергии, что обуславливает её конкурентоспособность по сравнению с энергетикой, использующей другие полезные ископаемые, применяемые в качестве энергоносителей. Топливная составляющая в себестоимости 1 кВт/часа электроэнергии, производимой, например, АЭС России, в 8 раз меньше по сравнению с лучшими показателями ТЭЦ. При условии безаварийной работы атомные электростанции являются экологически более предпочтительными, так как не выделяют углекислоту в атмосферу.

Методы добычи урана через горношахтные выработки ограничены, так как современная техника не позволяет технически, технологически и экономически рентабельно вовлекать в эксплуатацию: бедные руды, руды, залегающие на значительных глубинах, руды, залегающие в сложных горно-геологических условиях.

На сегодняшний день Казахстан по добыче, а также по разведанным запасам урана, пригодным для отработки способом подземного выщелачивания является мировым лидером.

Способ добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) был впервые использован в 1960-х годах на месторождениях Узбекистана, и составляет 50% мирового производства урана в 2020 году. Метод ПСВ, в сравнении с традиционными

способами, обеспечивает более низкую стоимость добычи, оказывает меньшее негативное влияние на окружающую среду и обеспечивает высокие показатели в сфере безопасности производства и охраны труда.

Благоприятные геологические условия Республики Казахстан, подходящие для добычи методом ПСВ, обеспечивают АО «НАК «Казатомпром» уникальное конкурентное преимущество. 100% добычи урана АО «НАК «Казатомпром» осуществляется методом ПСВ.

АО «НАК «Казатомпром» является лидером в добыче урана методом ПСВ с производительностью 12,1 тыс. тонн (~ 20% мировой добычи урана в 2017 году), значительно превосходя своих основных конкурентов.

Подземное выщелачивание – прогрессивный метод, широко применяемый в Республике Казахстан, при добыче урана. Этот метод прошел все стадии исследований, разработки и промышленного внедрения на гидрогенных месторождениях Шу-Сарысуской и Сыр-Дарьинской урановых провинциях, залегающих в проницаемых осадочных породах депрессионных зон земной коры, где вскрытие и подготовка рудных тел и добыча урана осуществляются через буровые скважины.

Скважины подземного выщелачивания – скважины, предназначенные для вскрытия рудных тел и извлечения продуктивных растворов из недр. По своему назначению они подразделяются на технологические (закачные и откачные), наблюдательные, контрольные и специальные.

Скважины закачные – скважины, через которые в рудные тела подается рабочий раствор. Скважины откачные – скважины, через которые из продуктивного горизонта выдвигается на поверхность продуктивный раствор. В практике подземного выщелачивания закачные и откачные скважины могут меняться назначением.

Скважины наблюдательные – предназначены для постоянного или периодического наблюдения за процессом подземного выще-

лачивания или режимом подземных вод (растворов) в выщелачиваемой горной массе.

Скважины контрольные – используются для вскрытия в заданном месте обрабатываемого рудного тела с целью определения.

При разработке этого типа месторождений урана весь цикл работ по добыче состоит из следующих процессов:

1. Бурение и оборудование технологических скважин.
2. Выщелачивание урана из рудных тел, т.е. перевод металла в раствор.
3. Откачка из недр и транспортировка технологических растворов.
4. Сорбция урана из продуктивных растворов и десорбция.
5. Экстракция и реэкстракция.

Преимущество метода ПВ заключается не только в значительном сокращении переделов, но и в том, что процессы добычи приобрели совершенно иную качественную характеристику в части затрат человеческого труда, орудий труда и средств производства.

При использовании этого метода отпадает необходимость строительства дорогостоящих рудников или карьеров, а также гидromеталлургических заводов, расхода многих материалов; сокращается численность работающих на строительстве и при эксплуатации месторождений; увеличиваются природные сырьевые ресурсы в результате разработки месторождений с бедным и убогим содержанием урана в руде, залегающих в сложных гидрогеологических условиях (их разработка традиционными способами экономически невыгодна).

Подземное выщелачивание (ПСВ) через пробуренные скважины химическими реагентами открывает широкие возможности для комплексного использования урановых руд, что позволяет рентабельнее использовать более бедные руды. Основным видом работ при подготовке месторождений урана для добычи урана методом ПСВ, определяющим объемы и качество добываемого урана, являются горно-подготовительные работы (ГПР) – бурение технологических скважин. Для добычи уранового сырья уранодобывающие ком-

пании применяют наиболее рентабельный и экологически безопасный метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Добыча уранового сырья производится через пробуренные технологические (закачные и откачные) скважины.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – это сложный физико-химический процесс, протекающий в геологической среде. Динамика этого процесса, его особенности определяются фациально-литологическими свойствами рудовмещающих горизонтов, руд и всего разреза в целом. При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел месторождение вскрывается системой технологических скважин, располагаемых (в плане) рядами, многоугольниками, кольцами. В закачные скважины подают растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие (откачные) скважины.

Для добычи уранового сырья методом ПСВ по всей площади месторождения проводятся горно-подготовительные работы, включающие бурение скважин, различающихся своим назначением.

Технологические скважины, предназначенные для подачи в недра рабочих растворов – закачные (нагнетательные) и для подъема технологических растворов на поверхность – откачные (разгрузочные), обеспечивают выполнение ещё одной важнейшей функции – через них осуществляется регулирование гидродинамического режима в продуктивном пласте, определяющего пути и скорости фильтрации рабочих растворов.

Кроме этого, на всех месторождениях урана также бурят гидрогеологические, барражные, контрольные, эколого-мониторинговые и наблюдательные скважины.

В процессе ПСВ буровые скважины выполняют широкий комплекс различного рода функций:

- геологическая разведка;
- вскрытие и подготовка запасов;
- отработка запасов;

– управление движением технологических растворов в продуктивной толще путем создания в эксплуатационном блоке гидродинамической обстановки, обеспечивающей формирование такой структуры фильтрационного потока растворов, которая в максимальной степени благоприятствовала бы течению физико-химических процессов ПСВ;

– контроль количества и качества откачиваемых и закачиваемых растворов, создание противофильтрационных завес; контроль гидродинамических и физико-химических параметров ведения процесса ПСВ;

– контроль полноты извлечения урана из руд; охрана окружающей среды от возможного физико-химического загрязнения.

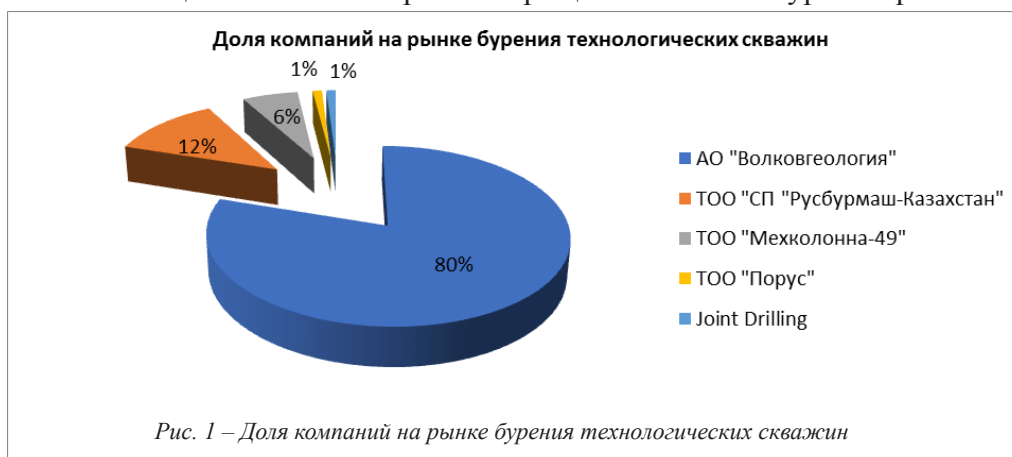
Геологический разрез поисковых площадей и месторождений урана представлен горными породами осадочного комплекса – от четвертичных, неогеновых, палеогеновых до меловых отложений. В литологическом плане разрез представлен «наносами» – горизонтально или пологозалегающими перемежающимися осадочными толщами – песками разной зернистости, глинами, с прослоями алевритов, алевролитов, песчаников, гипсов, известняков и других прослоев осадочных горных пород. Горные породы месторождений относятся к II-VII категории по буримости, средняя категория пород по буримости IV.

Месторождения урана Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской уранорудных провинций относятся к гидрогенному пластово-инфильтрационному типу. Продуктивные (рудные) горизонты чаще всего слагаются неоднородными песчаными толщами от тонкозерни-

стых, среднезернистых до крупнозернистых песков, с включением глинистых частиц и карбонатных обломков коренных горных пород (известняки, алевролиты, алевриты, гипсы и т.п.). Все продуктивные горизонты повсеместно обводнены. Продуктивные горизонты имеют горизонтальное или полого наклонное залегание. С учетом пространственного расположения продуктивных горизонтов все скважины бурятся вертикально. Разведочные скважины бурятся вертикально с целью определения истинной мощности рудных горизонтов, что очень важно для точного подсчета запасов руды в продуктивном горизонте и в целом на месторождении. Соответственно, технологические скважины бурятся также вертикально, с целью вскрытия, подготовки и отработки запасов.

При отработке месторождений урана в Казахстане методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) при проведении горно-подготовительных работ бурение технологических, эксплуатационно-разведочных, гидрогеологических, эколого-мониторинговых и других скважин в 2020 году производят 11 буровых компаний. Наибольший объем буровых работ до 80% производит АО «Волковгеология». ТОО СП «РусБурмаш» проводит буровые работы для 5 уранодобывающих предприятий (рис. 1).

Таким образом, ТОО СП «РусБурмаш» на сегодняшний день производит буровые работы 28 буровыми агрегатами, ежегодно компания бурит порядка 1 000 000 погонных метров буровых скважин, а также планирует наращивать объемы буровых работ.



ЛИТЕРАТУРА

1. Сушко С.М. Технология и техника при строительстве геотехнологических скважин для подземного выщелачивания урана. – Алматы: Волковгеология, 2007. – 259 с.
2. Сушко С.М., Асанов Н.С., Карманов Т.Д., Калиев Б.З., Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В. Метод гидроизоляции затрубного пространства при сооружении геотехнологических скважин для подземного выщелачивания продуктивного горизонта//Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – №11-2. – С.118-122.
3. Мамилев В.А., Петров Р.П., Шушания Г.Р., Баташов Б.Г., Веселова Л.Н. Добыча урана методом подземного выщелачивания. – Москва, 1980 г. – 248 с.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SEAWATER INJECTION ON OIL  
DISPLACEMENT FROM CARBONATE ROCK  
(ON THE EXAMPLE OF A FIELD IN KAZAKHSTAN)

SAUTPAYEVA E., TURGAZINOV I.

JSC “Kazakh-British Technical University”

**Abstract:** Increasing oil recovery is one of the most pressing issues today. Since the last century, scientists have been actively researching to enhance oil recovery. A huge number of scientists have turned their attention to this issue by using low-mineralized water (LMW). Thus, since the 90s, both theoretical and experimental research has been actively studied. Increased oil recovery depends on rock wettability and surface tension. This approach was key to a significant amount of experimental work. But, despite a lot of research, scientists still have not come to a consensus on the mechanisms that contribute to increased oil recovery. One of the main mechanisms is considered to be the movement of fine particles (i.e., clay particles) during flooding with low-mineralized water (LMW). As shown by the study of the topic of LMW, experimental work was often carried out on light oil. Experimental work with light oil has been positive. However, the interaction of the LMW with high-viscosity oil has not been deeply studied, which is relevant to the fields of Kazakhstan.

**Key words:** hydrophilic rock, hydrophobic rock, wettability, mineralized water, oil recovery, high-viscosity oil

ТЕҢІЗ СУЫН АЙДАУ АРҚЫЛЫ КАРБОНАТТЫ ЖЫНЫСТАРДАН  
МҰНАЙДЫҢ ЫҒЫСУЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ  
(ҚАЗАҚСТАН КЕН ОРНЫ МЫСАЛЫНДА)

**Аңдатпа:** Мұнай өндіруді неғұрлым қолайлы шарттарда арттыру – қазіргі кездегі өзекті мәселелердің бірі. Өткен ғасырдан бастап ғалымдар мұнай өндіруді күшейту үшін белсенді зерттеулер жүргізіп келеді. Көптеген ғалымдар бұл мәселеге теңіз суды (ТС) пайдалану арқылы назар аударды. Сонымен мұнай өндірудің жоғарылауы тау жыныстарының сулануы мен беткі керілуіне байланысты, 90-жылдардан бастап теориялық және эксперименттік зерттеулер белсенді түрде зерттелді. Осы тәсіл эксперименттік жұмыстың едәуір көлемінің кілті болды. Бірақ көптеген зерттеулерге қарамастан, ғалымдар мұнай өндірудің артуына ықпал ететін тетіктер туралы әлі де бір шешімге келе алмады. Негізгі тетіктердің бірі – тұздылығы төмен сумен толтырылған кезде ұсақ бөлшектердің (яғни саз бөлшектерінің) қозғалысы деп саналады. ТС тақырыбын зерттеу көрсеткендей, эксперименттік жұмыстар көбінесе ашық мұнайға жүргізілді, өйткені жеңіл маймен эксперименттік жұмыс оң нәтиже берді. Алайда ТС-нің тұтқырлығы жоғары мұнаймен өзара әрекеттесуі терең зерттелмеген бұл Қазақстанның кен орындары үшін өте маңызды.

**Түйінді сөздер:** гидрофильді тау жынысы, гидрофобты тау жынысы, сулану, минералданған су, мұнай өндіру, тұтқырлығы жоғары мұнай

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКАЧКИ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ВЫТЕСНЕНИЕ НЕФТИ ИЗ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА)

**Аннотация:** Увеличение нефтеотдачи на более выгодных условиях – один из острых вопросов на сегодняшний день. Начиная с прошлого века ученые активно ведут исследовательские работы по увеличению нефтеотдачи. Огромное количество ученых обратили свое внимание на данный вопрос путем применения низкоминерализованной воды (НМВ). Таким образом, с 90-х годов была активно изучена, как теоретическая, так и экспериментальная часть исследований. Увеличение нефтеотдачи зависит от смачиваемости породы и поверхностного натяжения. Данный подход был ключевым для значительного количества экспериментальных работ. Но, несмотря на множество исследований ученые до сих пор не пришли к единому мнению по механизмам, способствующим увеличению нефтеотдачи. Одним из главных механизмов считается движение мелкодисперсных частиц (т.е. частиц глины) при заводнении низкоминерализованной водой. Как показало исследование темы о НМВ, зачастую экспериментальные работы проводились на легкой нефти. Экспериментальные работы с легкой нефтью оказались положительными. Однако не было глубоко изучено взаимодействие НМВ с высоковязкой нефтью, что является актуальной для месторождений Казахстана.

**Ключевые слова:** гидрофильная порода, гидрофобная порода, смачиваемость, минерализованная вода, добыча нефти, высоковязкая нефть

High-viscosity oil represents a large share of the world's undeveloped hydrocarbon reserves. Today, the world's reserves of high-viscosity and heavy oil are estimated at 3,396 billion tons. barrels [1]. The main limiting factor in the development of such fields is the high density (more than 900 kg/m<sup>3</sup>) and viscosity (more than 100 MPa•s) of reservoir oil, which requires high economic and technological costs for production, compared to light oils. The recovery rate of high-viscosity oils from the reservoir generally does not exceed 20%. According to the classification of the American Petroleum Institute (API), high-viscosity (heavy) oils have a density, in API degrees from 10° to 20° at a temperature of 60° F (15.6° C) and have a viscosity of more than 100 SP (100 MPa•s). Anything below 10° API is natural bitumen.

In Kazakhstan, the main reserves of heavy and high-viscosity oil are concentrated mainly in the Western part of the country and are equivalent to 726 million tons [2, 3, 4]. The main fields of heavy and high-viscosity oil are Karazhanbas, Kalamkas, Buzachi, and Kenkiyak [3, 5].

At the initial stages, oil fields are developed in a natural mode, then after reaching an economically unprofitable level of oil production,

they switch to secondary or tertiary methods of impact on the reservoir (mainly chemical methods). Compared to light oil fields, high-viscosity oil fields use enhanced oil recovery methods from the beginning of field development. Various types of thermal methods of impact on the reservoir will be used.

Flooding is currently the main method of increasing oil recovery and maintaining reservoir pressure since the technology is available and cheap compared to other methods. Today, the physicochemical properties of the water injected into the reservoirs are of great interest. Over the past twenty years, many laboratory studies have been performed on samples of carbonate and terrigenous rocks to identify the influence of mineralization and ionic composition of the injected water on the increase in oil displacement from the core [6-14].

Pilot work was carried out to pump low-mineralized water into oil reservoirs. For example, in [1] it is reported that starting from the '80s, water injection of low mineralization began in the Bystrok and Zychesh deposits. The test results showed that the residual oil saturation in these areas decreased during the injection of LMW. According to the results of

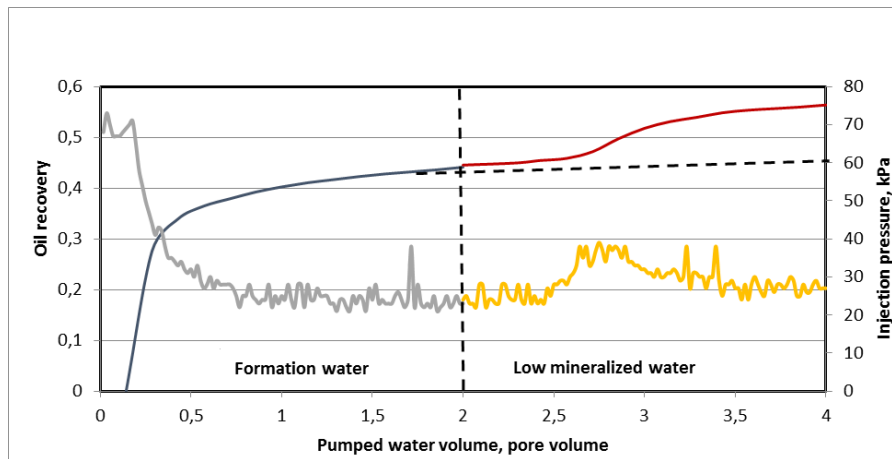


Figure 1 – Pressure and oil recovery graph of experiment № 2

tracer studies that were conducted in the fields of Alaska after the injection of LMW, oil recovery increased from 8% to 19%. The authors point out that a significant effect was obtained when water mineralization was below 5 g/l. [10] It was also shown in [7] that oil production increased at the North Slope field in Alaska after the injection of LMW and the water-oil factor decreased. Moreover, in [15] it is reported that, in the fields of Oman and Syria, after injection of LMW into the terrigenous reservoir, the reservoir wettability changed from hydrophobic to hydrophilic.

Many researchers have concluded that the injection of low-mineralized water makes the wettability of the rock hydrophilic. Although various mechanisms for increasing oil recovery have been proposed, such as the movement of fine particles, clay swelling, an increase in the pH of the medium and an increase in the double equipotential field, etc. [8-15].

In [6], the author proposed a mechanism for multi-ion exchange between the rock surface and the injected water. This is due to the interaction between the clay mineral ions, such as  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , and the acidic components of the oil. As a result of this ionic interaction, the compounds between the oil and the rock weaken, and the oil is removed from the rock surface.

In another work [10], the influence of water mineralization on the wettability of the rock surface was revealed. Water salinity varied from 0 to 174 g/l at various temperatures and pressures. Zeta potentials were measured. When pumping

low-mineralized water, a decrease in the wetting angle of oil compared to high-mineralized water, and an increase in the double electric layer were observed. This indicates the ability of low-mineralized water to change the wettability of the rock, making it more hydrophilic.

The injection of low-mineralized water demonstrates an increase in oil recovery in many experimental studies and field tests. According to the results of scientists' research, it can be concluded that the effect of pumping low-mineralized water in terrigenous reservoirs is manifested when the clay is present in them, and reservoir water contains divalent cations of calcium and magnesium. In this case, the salinity of the injected water should be less than 3-5g/l. But the main mechanisms for increasing oil recovery are still not fully understood.

### Experimental part

To determine the efficiency of displacement of high-viscosity oil by low-mineralized water from terrigenous cores, a series of filtration experiments were carried out on an installation for studying cores UIK (S) - 2. During laboratory research, the following materials were used:

- hydrophobic rock;
- formation water and oil;
- low-mineralized water.

Experiment №1 was conducted on hydrophobic rocks.

The main data on the reservoir properties of the physical model are presented in Table 1. The

total volume of the pumped formation and low-salinity water was equal to four pore volumes. The results of the second experiment are shown in Figure 1. When the model was flooded with low-salinity water, after the injection of 7 cm<sup>3</sup> of water, the injection pressure began to increase and remained at the level of 35 kPa, while the volume of displaced oil began to increase.

**Table 1 – Reservoir properties of the physical model**

Parameters	Values
Porosity	0,28
Gas permeability	12,5
Pore volume	15,075
Initial water saturation.	0,3
Initial oil saturation	0,7

In experiment №2 on a hydrophobic rock, the initial injection of formation water displaced 42% of the initial oil reserves, and the injection of low-salinity water gave an oil increase of 13%.

It can also be seen from the graphs that the injection pressure increases with the injection of low-salinity water. This indicates that, when injecting low-salinity water, there was swelling of clays, movement of fine particles and redistribution of the filtration flow.

### Conclusion

Filtration experiments were conducted on the flooding of hydrophobic rocks with the formation and low-mineralized water. Based on the laboratory studies performed, the following conclusions were drawn:

- filtration experiments have shown that a decrease in the mineralization of injected water improves the displacement of high-viscosity oil in the hydrophobic rock
- injection of low-salinity water into a hydrophobic rock gave the best result in oil displacement
- an increase in oil recovery in a hydrophobic rock is associated with swelling of clays and migration of fine particles

### REFERENCES

1. Morrow, N.R., Buckley, J.S., 2011. Improved Oil Recovery by Low-Salinity Waterflooding, JPT, Distinguished Author Series, pp.106–112.
2. Buzova O.V., Zhubanova K. A. Promising methods in high-viscosity oil production//Bulletin of Kaznitu named after K. I. Satpayev-2010-No. 5 (81)
3. Nadirov K. N. high-Viscosity oils and natural bitumen. In 5-and T. T. 1. History. Pools. Properties. – Almaty: Fyly. m, 2001. - 360 p.
4. Nadirov K. N. high-Viscosity oil and natural bitumen. Vol. 5. Characteristics of deposits. Principles of resource assessment. - Almaty: Fylym, 2001. – 369 p.
5. The Eurasian energy forum. Technology of production of "heavy" oil. ConocoPhillips. 05.09.2008 g
6. Austad, T., Rezaei Doust, A., Puntervold, T., 2010. Chemical Mechanism of Low Salinity Water Flooding in Sandstone Reservoirs. Paper SPE 129767 presented at the SPE Improved Oil Recovery Symposium. Tulsa, OK, 24-28 April.
7. Mohammed B. Alotaibi, Ramez A. Nasralla, Hisham A. Nasr-El-Din. Wettability Studies Using Low-Salinity Water in Sandstone Reservoirs/ SPE-149942-PA/http://dx.doi.org/10.2118/149942-PA
8. Lager, A., Webb, K.J., Black, C.J.J., Singleton, M., Sorbic, K.S., 2008a. Low salinity oil recover) – an experimental investigation. Petrophysics 49 (1). 28-35.
9. Lager, A., Webb, K.J., Collins, I.R., Richmond, D.M., 2008b. LoSal™ enhanced oil recovery-evidence of enhanced oil recovery at the reservoir scale. Paper SPE 113976 Presented at the 2008 Improved Oil Recovery Symposium, 19-23 April.

10. P. McGuire, J. Chatham, F. Paskvan, D. Sommer, and F. Carini, "Low salinity oil recovery: an exciting new EOR opportunity for Alaska's North slope," in Proceedings of the SPE Western Regional Meeting, SPE-93903-MS, Irvine, California, USA, April 2005.
11. Morrow, N.R., Tang, G., Valat, M., Xie, X., 1998. Prospects of improved oil recovery related to wettability and brine composition. JPSE 20, 267-276.
12. Nasralla, R.A., Bataweel, M.A., Nasr-El-Din, H.A., 2011. Investigation of Wettability Alteration by Low Salinity Water. Paper SPE 146322 presented at the Offshore Europe. Aberdeen, UK, 6-8 September.
13. Tang, G., Morrow, N.R., 1997. Salinity, temperature, oil composition and oil recovery by water flooding. SPE RE November, 269-276.
14. Tang, G.Q. Morrow, N.R., 1999. Influence of brine composition and fines migration on crude / oil/ rock interactions and oil recovery. J. Pet. Sci. Eng. 24, 99-111 p.
15. Vledder, P., Fonseca, J.C., Wells, T., Gonzalez, I., and Ligthelm, D., 2010. Low Salinity Water Flooding: Proof Of Wettability Alteration On A Field Wide Scale. Paper SPE 129564, SPE Improved Oil Recovery Symposium, Oklahoma, USA.

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН****СУЛЕЙМЕНОВА Р.А., АПЕНДИНА А.К.***Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрено повышение качества цементирования скважин на основе всестороннего обзора научных основ, технических соображений и рабочих процедур, связанных с процессами, известными как цементирование. Было выяснено, что химические добавки и различные техники цементирования могут увеличить качество цементного раствора на необходимую глубину при различных показателях температуры и давления. Высокая прочность на сжатие и обеспечение полной зональной изоляции оказывает благоприятное воздействие на создание гидравлического уплотнения между обсадной колонной и цементом и дальнейшую работу скважины, а наличие широкого выбора техник цементирования значительно улучшает диапазон необходимых качеств цементного камня. Добавки, входящие в состав цементного раствора, также играют большую роль в оптимизации процесса цементирования и подбираются индивидуально.

**Ключевые слова:** цементирование скважин, химические добавки, температура, давление, обсадная колонна, прочность на сжатие, зональная изоляция, время отвердевания, качество цементирования

**JUSTIFICATION AND DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF CEMENT SLURRIES TO IMPROVE THE QUALITY OF CEMENTING OF OIL WELLS**

**Abstract:** This article discusses improving the quality of well cementing based on a comprehensive review of the scientific fundamentals, engineering considerations, and operational procedures associated with the processes collectively known as cementing. It was found that chemical additives and various cementing techniques can increase the quality of the cement slurry to the required depth at various temperature and pressure indicators. High compressive strength and full zonal isolation have a beneficial effect on the creation of a hydraulic seal between the casing and cement and the further operation of the well, and the wide selection of cementing techniques significantly improves the range of required qualities of cement stone. The additives included in the cement slurry also play a large role in optimizing the cementing process and are selected individually.

**Key words:** well cementing, chemical additives, temperature, pressure, casing, compressive strength, zonal isolation, thickening time, free fluid cement quality

**МҮНАЙ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ЦЕМЕНТТЕУ САПАСЫН ЖАҚСARTУ ҮШІН ЦЕМЕНТ ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ ҚҰРАМЫН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ ДАМУ**

**Аңдатпа:** Бұл мақалада ғылыми негіздерді, техникалық ой-пікірлерді және цементтеу деп аталатын процестерге қатысты жұмыс процедураларын жан-жақты қарастыру барысында ұңғымаларды цементтеу сапасын жақсарту туралы айтылады. Химиялық қоспалар мен цементтеудің әртүрлі әдістері әрқелкі температура мен қысым индикаторларында цемент шламының сапасын қажетті тереңдікке дейін арттыра алатындығы анықталды. Жоғары қысу беріктігі және толық аймақтық

оқшаулау корпус пен цемент арасындағы гидравликалық тығыздаудың пайда болуына және ұңғыманың одан әрі жұмыс істеуіне оң әсер етеді, цементтеу техникасының кең таңдауы цемент тасының қажетті сапаларының ауқымын едәуір жақсартады. Цемент ерітіндісіне қосылған қоспалар цементтеу процесін оңтайландыруда үлкен рөл атқарады және жеке таңдалады.

**Түйінді сөздер:** ұңғыманы цементтеу, химиялық қоспалар, температура, қысым, корпус, қысу беріктігі, аймақтық оқшаулау, қатаю уақыты, цемент сапасы

### Введение

Нефтедобывающая промышленность переместилась из легкодоступной в область, представляющую сложность в плане глубины, давления, толщины слоя воды и свойств пород. Одним из наиболее ответственных этапов является разобщение пластов скважины, от качества выполнения которого в значительной степени зависит успешное строительство скважины. Под разобщением пластов понимается комплекс процессов и операций, проводимых для закачки тампонажного раствора в затрубное пространство с целью создания там надежной изоляции в виде плотного материала, образующегося со временем в результате отверждения тампонажного раствора. Поскольку в качестве тампонажного наиболее широко применяется цементный раствор, то и для обозначения работ по разобщению используется термин «цементирование».

Анализ литературных источников и промыслового материала показывает, что до настоящего времени, несмотря на совершенствование технологических процессов и технических средств, все еще высок процент скважин с заколонными проявлениями и межпластовыми перетоками. Основными причинами этих осложнений являются флюидопроводящие каналы, возникающие в твердеющем тампонажном растворе в период формирования цементного камня, и микрозазоры между цементным камнем и поверхностью обсадных труб (рис.1).

Проектирование рецептуры цемента осуществляется на основании параметров скважины, включающих динамическую и статическую температуры на забое скважины, поровое давление, градиент гидроразрыва. Также необходимо знать о наличии осложнений в скважине, таких как обвалы ствола



Рис.1 – Микрозазоры цементного камня

скважины и интервалы с потенциальным поглощением, активные водоносные пласты и пласты с потенциальными нефте- и газопроявлениями. Немаловажно понимать, как конкретная скважина будет в дальнейшем использоваться, имея в виду различные технологии заканчивания на этапе ее эксплуатации. Все вышеизложенные факторы в совокупности с опытом цементирования на конкретном месторождении или участке позволяют оптимально подобрать необходимые свойства цементного раствора и цементного камня. Для измерения и подбора свойств цемента используется современное лабораторное оборудование, которое сертифицировано по стандартам ISO 10426 и ANSI/API10. Производятся лабораторные испытания для определения реологических свойств растворов, времени загустевания, фильтрационных характеристик, прочности цементного камня, а также пластических, расширяющих, самозаживляющих и газоблокирующих свойств цемента.

Цементирование – сложный процесс, требующий применения специализированной техники. Однако это не говорит о том что провести его самостоятельно невозможно. Выбрав и правильно приготовив тампонаж-

ный раствор можно достигнуть наилучших результатов повышения качества цементного камня.

Целью исследования является именно повышение качества цементирования скважин на основе всестороннего обзора научных основ, технических соображений и рабочих процедур, связанных с процессами, известными как цементирование.

Актуальность статьи заключается в непрерывном увеличении добычи нефти и газа, что возможно только при условии выполнения значительных объемов буровых работ. Из общей суммы капитальных вложений в нефтяную промышленность большая часть средств расходуется именно на буровые работы. В этих условиях особое значение приобретает эффективность проведения заключительных этапов строительства скважин. В частности, некачественное цементирование может не только существенно снизить эффективность работ по бурению скважины в целом, но и вообще сделать бессмысленным сам факт ее сооружения.

### Теоретическая часть

Цементирование скважин – это процесс размещения цементного раствора в скважину для достижения нескольких целей, включая цементирование обсадных труб и хвостовиков, размещение цементировочных пробок и выполнение исправительного цементирования.



Рис.2 – Образец портландцемента

Центральной объединяющей темой данной отрасли выделяется портландцементу

(рис.2). Физические и химические свойства и характеристики этого замечательного материала имеют решающее значение для каждого аспекта технологии цементирования скважин. Скважинное цементирование подвергает портландцемент условиям, значительно отличающимся от ожидаемых его изобретателем. Цементные системы должны быть спроектированы для размещения в условиях, варьирующихся от ниже нуля в зонах вечной мерзлоты до более 1000°F [538°C] в некоторых скважинах с термическим восстановлением. После размещения цементные системы должны сохранять свою целостность и обеспечивать зональную изоляцию в течение срока службы скважины. Стало возможным приспособить такой широкий спектр условий благодаря разработке добавок, которые модифицируют поведение портландцементов для индивидуальных требований к скважинам.

Цементные добавки позволяют приспособиться к широкому диапазону условий. Добавки изменяют поведение цементной системы, идеально допуская успешное размещение раствора между обсадной колонной и пластом, быстрое развитие прочности на сжатие и адекватную зональную изоляцию в течение срока службы скважины. Сегодня доступно более 100 добавок для скважинных цементов, многие из которых могут поставляться в твердой или жидкой форме. Существует восемь основных категорий добавок.

Ниже рассмотрены классы добавок, влияющих на стабильность и качество цементного раствора.

#### *Пеногасители*

Многие цементные добавки могут вызвать вспенивание раствора во время смешивания (рис.3). Чрезмерное вспенивание раствора может иметь несколько нежелательных последствий. Это может привести к гелеобразованию взвеси и потере гидравлического давления во время перекачки из-за кавитации в смесительной системе. Кроме того, захват воздуха может вызвать более высокую, чем хотелось бы, плотность суспензии. Пеногасители вызывают сдвиг в поверхностном натяжении, изменяют диспергируемость

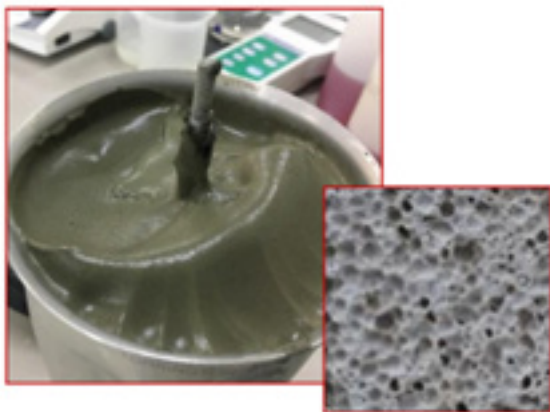


Рис.3 – Образец цементного камня без использования пеногасителей

твердых веществ или то и другое, так что условия, необходимые для получения пены, больше не присутствуют.

#### *Дисперсанты*

Цементные растворы представляют собой высококонцентрированные суспензии твердых частиц в воде.

Цементные дисперсанты, также известные в строительной промышленности как пластификаторы и суперпластификаторы, используются для получения желаемых реологических свойств.

Цементные диспергаторы снижают как предел текучести, так и пластическую вязкость. При высоких концентрациях значение текучести приближается к нулю, и цементный раствор становится практически ньютоновским. К сожалению, очень низкие значения выхода часто приводят к нестабильности суспензии, что приводит к осаждению твердых веществ или образованию свободной воды.

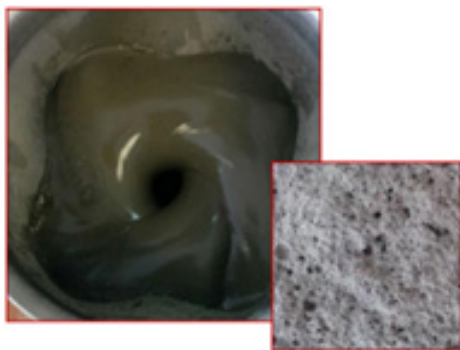


Рис.4 – Образец цементного камня без добавления дисперсантов

#### *Утяжелители*

Высокое поровое давление, нестабильные стволы скважин, а также деформируемые пласты контролируются высокими гидростатическими давлениями. В таких условиях плотность бурового раствора превышает нормы. Для поддержания контроля над такими скважинами также необходимы цементные растворы одинаковой или большей плотности. Одним из способов увеличения плотности цементного раствора является просто уменьшение количества воды в смеси. Максимальная плотность раствора, достижимая при восстановлении воды в смеси, составляет  $2,16 \text{ г/см}^3$ . Когда требуются более высокие плотности раствора добавляют материалы с высокой удельной массой, называемые утяжелителями.

#### *Ускорители*

В практике часто возникают случаи когда необходимо сократить время застывания цементного раствора чтобы продолжить бурение и здесь нам нужны добавки, которые сокращают время застывания цементной системы и увеличивают скорость развития прочности на сжатие. Для решения этой проблемы применяют ускорители.

#### *Замедлители*

Во время цементации главная цель работы не поймать козла и успешно довести цементный раствор до необходимой глубины. Главным препятствием здесь может быть сгущение и непрокачиваемость раствора.

Для этого существуют химические вещества, такие как замедлители, которые задерживают время схватывания цементной системы и позволяют увеличить время прокачиваемости раствора.

#### *Расширители*

Цементные расширители обычно используются для выполнения одного или обоих из следующих действий.

- Уменьшить плотность раствора. Снижение плотности раствора снижает гидростатическое давление во время цементирования. Это помогает предотвратить вызванную потерю циркуляции из-за разрушения слабых образований.

- Увеличение выхода раствора: расширители снижают количество цемента, необходимое для производства заданного объема отвержденного продукта. Это приводит к большей экономии.

*Агенты контроля потери жидкости*

Когда цементные растворы закачиваются в пласт, перепад давления между цементным раствором и пластом приводит к фильтрации (рис.5). Водная фаза цементного раствора уходит в пласт, оставляя твердые частицы позади. В зависимости от относительной важности эрозионных сил во время потока жидкости и сил прилипания, вызванных фильтрацией, твердые вещества могут образовывать наружную фильтрационную корку вдоль стенки пласта или оставаться взвешенными в цементном растворе.

Если потеря жидкости не контролируется, это может привести к нескольким серьезным последствиям, которые могут привести к провалу работы. По мере уменьшения объема водной фазы, плотность суспензии увеличивается; в результате производительность цементного раствора отличается от первоначального дизайна. Для достижения снижения скорости потери жидкости в дизайн раствора включены материалы, известные как агенты контроля потери жидкости. Как только начинается потеря жидкости через пласт, фильтрационная пленка цементного раствора осаждаются на поверхности пласта, предотвращая потерю воды из раствора.

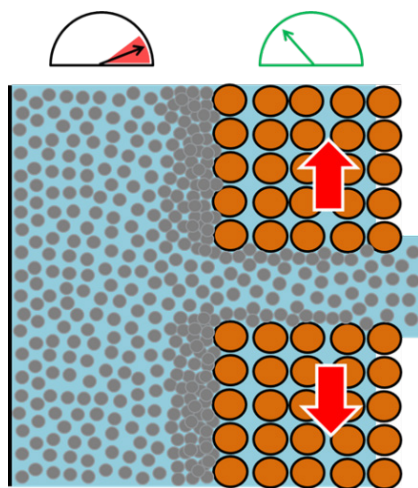


Рис.5 – Фильтрация раствора

**Практическая часть**

Лабораторные испытания цемента и цементирующих материалов являются неотъемлемой частью процесса цементирования. Испытания начинаются на предприятиях по производству цемента и добавок для контроля качества продукции и продолжаются на этапах проектирования раствора в лабораториях эксплуатирующей компании.

В ходе исследовательских работ мы проводили лабораторные тесты для получения оптимального рецепта цементного раствора. Ниже будет рассмотрено всё необходимое оборудование для испытаний и методика испытаний.

Для проведения серий экспериментов был выбран цементный раствор для месторождения Тенгиз в Атырауской области. Ниже представлены ряды лабораторных тестов, при помощи которых выбирается подходящий дизайн цементного раствора:

*Определение реологических свойств*



Рис.6 – Вискозиметр Кузнетта

В лабораторных условиях цементный раствор был приготовлен из пропорции воды, цемента, сухих и жидких добавок в объемах, равных 600 мл (API (RP) 10B) .

Основной критерий для цементного раствора заключается в том, чтобы реология соответствовала удалению бурового раствора. Реология может быть увеличена за счет использования загустителей, таких как бентонит, понизителя седиментации.

Типичный ротационный вискозиметр без давления, также известный как вискозиметр Куэтта (рис.6), должен использоваться для измерения реологических свойств жидкостей, используемых при цементировании скважин.

Раствор выливают в кружку вискозиметра до линии внутри кружки. После записываются показания шкалы с различными скоростями вращения. Порядок чтения имеет решающее значение. Чтения должны быть сделаны сначала по возрастанию, а затем в порядке убывания. Реологические измерения высчитываются как среднее значение показаний возрастания и убывания.

В дополнение к расчетам вязкости и напряжению сдвига, лабораторные измерения реологических параметров могут предоставить информацию о других характеристиках раствора. Уменьшение значений сдвиговых напряжений, измеренных при снижении скорости сдвига, по сравнению с измеренными при увеличении скорости сдвига, могут указывать на то, что раствор является тиксотропным.

#### *Определение времени сгущения*



Рис.7 – Консистометр

Испытания на время сгущения предназначены для определения продолжительности времени, в течение которого цементный раствор остается в перекачиваемом жидком состоянии в условиях температуры и давления в моделируемой скважине.

Испытательный раствор оценивается в герметичном консистометре (рис.7), который измеряет консистенцию испытательного раствора, содержащуюся во вращающейся чаше, в смоделированных условиях ствола скважины. Большинство устройств способны выдерживать цементные растворы с максимальной температурой и давлением 204°C и 175 МПа.

Профили консистенции времени сгущения часто начинаются с низкой консистенцией, которые длятся несколько часов. Затем, когда раствор начинает сгущаться, консистенция увеличивается с постоянно увеличивающимся наклоном пока не будет достигнута 100 Вс.

#### *Определение потери жидкости*



Рис.9 – Оборудование по определению водоотдачи

Испытания на потерю жидкости измеряют обезвоживание раствора во время и сразу после цементной работы. После кондиционирования в смоделированных условиях в стволе скважины испытательную суспензию помещают в нагретую камеру и подвергают воздействию разности давлений 6,9 МПа. Потери фильтрата измеряют на стандартной фильтрующей среде (экран 45 мкм [325 меш], поддерживаемый на экране 250 мкм [60 меш]). Через 30 мин собранный объем фильтрата отмечают. Если весь фильтрат проходит через сито менее чем за 30 минут, для расчета потери жидкости по API используется следующее уравнение.

$$V_{\text{водоотдача}} = 2 * V_t * (5.477 / \sqrt{t})$$

где  $Vt$  = объем фильтрата (мл), собранный в момент времени  $t$  (мин);  
 $t$  – время истечения фильтрата, мин.

Испытание проводится в статической нагретой фильтрующей камере, показанной на рисунке 9.

*Определение свободной жидкости*

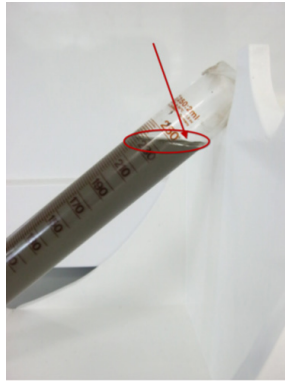


Рис.10 – Водоотстой

Когда цементному раствору дают постоять в течение некоторого времени до схватывания, вода может отделиться от раствора, мигрировать вверх и накапливаться в карманах или в верхней части колонны. Такое разделение может ухудшить зональную изоляцию, особенно в сильно отклоненном стволе скважины. Тест свободной жидкости измеряет эту тенденцию разделения в лаборатории, используя градуированный цилиндр в качестве моделируемого ствола скважины.

Процедура допускает кондиционирование суспензии при повышенных температурах и давлениях. Резерв по потере жидкости не предусмотрен. Продолжительность испытания составляет 2 часа, измеряется с момента залива суспензии в мерный цилиндр.

*Определение прочности на сжатие*



Рис.11 – Ультразвуковой анализатор цемента

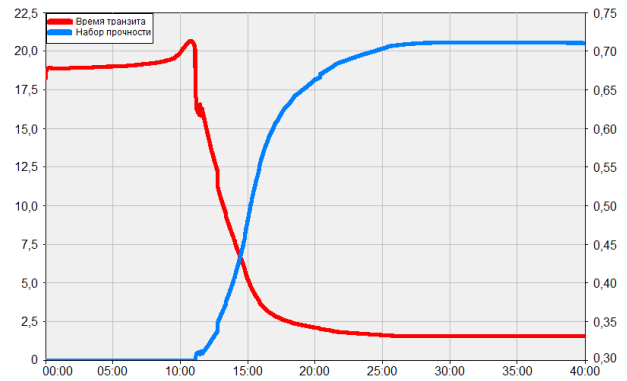


Рис.12 – График оценки прочности

Сила может быть оценена ультразвуком. Ультразвуковой анализатор цемента (рис.11) измеряет время прохождения ультразвуковой энергии через образец цемента, который затвердевает в условиях моделируемой температуры и давления. Ультразвуковое измерение является неразрушающим и может проводиться непрерывно, так как образец цемента твердеет при высоком давлении и повышенной температуре. Звуковая сила коррелируется с временем прохождения (обратной величиной скорости ультразвука) с использованием эмпирической зависимости, первоначально установленной из данных о механической прочности на сжатие и времени прохождения для различных систем. Оценка прочности наблюдается через график. Пример графика изображен на рисунке 12.

**Заключение**

В результате исследования разработана оптимальная рецептура цементного раствора, которая показала наилучшие результаты, включающие в себя: адекватное время застывания и прочность на сжатие, отсутствие седиментации и водоотстоя, оптимальная реология для замещения бурового раствора и приемлемая водоотдача.

При проектировании цементных растворов для глубоких, высокотемпературных скважин очень важно использовать точные статическую и циркуляционную температуру. Такие данные могут быть получены от испытаний, логов, специальной записи температуры скважинными приборами или пробы раствора при циркуляции. Компьютерные симу-

ляторы также были разработаны для лучшего прогнозирования температуры скважины. Если раствор циркулирует в скважине в течение нескольких часов до цементирования, температура в скважине может значительно снижаться. В таких случаях необходимо осторожно, чтобы не допустить переоценки температуры циркуляции и увеличить время застывания цементного раствора.

Почему так важно учитывать все свойства цементного раствора и для чего существуют определенные требования к дизайну? Все это происходит из-за того, что скважины с глубинами более 4,500 м, с забойной температурой выше 110°C, являются распространенными во всем мире. С 1970-х годов были пробурены тысячи скважин с глубинами более 7500 м. Такие скважины представляют собой большие инвестиции времени и денег; следовательно, получение успешного завершения скважины имеет первостепенное значение.

Процедуры цементирования глубоких скважин в основном такие же, как и для более мелких скважин. Однако из-за ряда скважинных условий и более сложной архитектуры скважины обычно считаются быть кри-

стическим. На таких глубинах обычно встречаются более высокие температуры и узкие кольца затрубного пространства, зоны повышенного давления и коррозионные жидкости. Следовательно, дизайн цементной системы также может быть сложным с использованием сложного набора замедлителей, понизителей водоотдачи, пластификаторов, кремнезема. Нужно быть уверенным, что цементная система может быть надлежащим образом размещена и будет поддерживать изолирование по зонам на протяжении всего срока службы скважины. В настоящее время цементный раствор используется практически во всех глубоких нефтяных и газовых скважинах.

Полная и долговечная зональная изоляция является основной целью цементной работы. В течение срока эксплуатации добывающей нефтегазовой скважины качество цементных работ напрямую влияет на экономическую долговечность скважины. С момента первой добычи скважины до ее закрытия соответствующие методы проектирования и размещения цементного раствора будут влиять на производительность скважины как физически, так и экономически.

## ЛИТЕРАТУРА

1. API RP 10B, Recommended Practice for Testing Well Cements, 22nd edition. 1997. Washington, DC: API.
2. Economides, M. (1990). Well Cementing. (E. B. Nelson, Ed.) Sugar Land, Texas: Schlumberger Educational Services.
3. Lyons, W. C. (Ed.). (1993). Handbook for Petroleum and Natural Gas Engineers (Vol. 1). Houston: Gulf Publishing Company.
4. Nelson, E. B., Baret, J. F., & Michaux, M. (1993). Additives and Mechanisms of Action. Sugar Land, Texas: Schlumberger Educational Services.
5. Nelson, E. B. (1990). Well Cementing. (E. B. Nelson, Ed.) Sugar Land Texas 77478: Schlumberger Educational Services.
6. Rae, P. (1990). Cement Job Design. Sugar Land, Texas: Schlumberger Educational Services.

# ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 622.363.2

МРНТИ 61.31.33, 61.33.33

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-1-39-47

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ КАЛИЙНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕЛКАР

АСЫЛХАНҚЫЗЫ А.<sup>1</sup>, СЕЙТМАГЗИМОВА Г.М.<sup>1</sup>, ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-казахстанский университет им. М. Ауэзова

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, РФ

**Аннотация:** В статье рассмотрены результаты исследования процесса переработки отмытой калийной руды месторождения Челкар с целью получения безбалластного калийного удобрения. Изучена эффективность двух- и трехкратной отмывки руды от солей натрия для определения оптимального режима обогащения руды по калию. Установлено, что целесообразно проводить двукратную отмывку руды промывной водой, при которой обеспечивается максимальное содержание в руде калия и минимальное содержание солей натрия. Эффективность отмывки подтверждается результатами рентгенографического анализа руды после второй отмывки. Прокалка руды приводит к дегидратации кристаллогидратов минералов и возрастанию содержания в ее составе основных компонентов. Растворение прокаленной руды при температурах 50 и 90°C приводит лишь к частичному переходу в раствор солей калия и магния при полном растворении остаточного количества солей натрия. Для достижения полного растворения сульфатов калия и магния, являющихся целевыми компонентами для получения минерального удобрения, требуется изучить химические методы превращения.

**Ключевые слова:** калийная руда, минеральное удобрение, сульфат калия, соли натрия, месторождение Челкар, двукратная отмывка, степень перехода в раствор, прокалка руды

## OPTIMIZATION OF THE ENRICHMENT PROCESS OF CHELKAR DEPOSIT POTASSIUM ORE

**Abstract:** The article discusses the results of studying the processing of washed potash ore from the Chelkar deposit to obtain ballastless potash fertilizer. The efficiency of ore double and triple washing from sodium salts has been studied to determine the optimal mode of ore enrichment on potassium. It has been established that it is expedient to carry out ore double washing with washing water, which ensures the maximum potassium content in the ore and the minimum content of sodium salts. The washing effectiveness is confirmed by the results of the X-ray analysis of the ore after double washing. Ore calcination leads to dehydration of crystalline hydrates of minerals and to increasing content of main components in its composition. Dissolution of the calcined ore at temperatures of 50 and 90°C results in only a partial transition of potassium and magnesium salts into the solution with the complete dissolution of residual amounts of sodium salts. To reach complete dissolution of potassium and magnesium sulfates, which are the target components for obtaining mineral fertilizers, it is necessary to study methods of chemical conversion.

**Key words:** potash ore, mineral fertilizer, potassium sulfate, sodium salts, Chelkar deposit, double washing, degree of transition into solution, ore calcination

**ШАЛҚАР КЕН ОРНЫНЫҢ КАЛИЙ КЕНІН БАЙЫТУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

***Аңдатпа:** Мақалада балластсыз калий тыңайтқышын алу үшін Шалқар кен орнының жуылған калий кенін өңдеу процесін зерттеу нәтижелері қарастырылған. Кенді калиймен байытудың оңтайлы режимін анықтау үшін натрий тұздарынан екі және үш рет жуудың тиімділігі зерттелді. Кендегі калийдің ең көп мөлшері және натрий тұздарының ең аз мөлшері қамтамасыз етілетін кенді жуу суымен екі рет жуған жөн екендігі анықталды. Жуудың тиімділігі екінші жуудан кейін кенді рентгенографиялық талдау нәтижелерімен расталады. Кенді күйдіру минералдардың кристалл гидраттарының дегидратациясына және оның құрамындағы негізгі компоненттердің көбеюіне әкеледі. Күйдірілген кенді 50°C және 90°C температурада еріту натрий тұздарының қалдық мөлшері толығымен еріген кезде калий мен магний тұздарының ерітіндісіне ішінара ауысуы байқалады. Минералды тыңайтқыш алу үшін мақсатты компоненттер болып табылатын калий мен магний сульфаттарының толық еруіне қол жеткізу үшін химиялық түрлендіру әдістерін зерттеу қажет.*

***Түйінді сөздер:** калий кені, минералды тыңайтқыш, калий сульфаты, натрий тұздары, Шалқар кен орны, екі рет жуу, ерітіндіге өту дәрежесі, кенді күйдіру*

**Введение**

В настоящее время промышленность минеральных удобрений в Казахстане находится на этапе ускоренного развития и расширения ассортимента выпускаемой продукции. Для этого в Казахстане имеются все необходимые предпосылки: богатые природные ресурсы, опыт производства традиционных видов химической продукции и наличие отечественных научных школ в области химической технологии. Для развития рынка потребления и производства удобрений в Казахстане необходимо постоянное повышение и улучшение культуры земледелия казахстанских фермеров, внедрение новых технологий сложных удобрений, способствующих повышению качества самих продуктов, обогащению земли и повышению урожайности [1].

На крупнейших предприятиях по производству минеральных солей и удобрений – лидера фосфорной отрасли ТОО «Казфосфат» и ТОО «КазАзот» производятся фосфорные, азотные и азотно-фосфорные удобрения. До сегодняшнего дня в Казахстане отсутствует производство калийных или сложных НРК удобрений, хотя в недрах страны сосредоточены огромные запасы калийных руд, основными из которых являются месторождения Жилианское, Сатимола и Челкар. Помимо увеличения урожайности, калийные удобрения повышают качественные характеристики вы-

ращиваемой продукции: это проявляется в повышении сопротивляемости растений к заболеваниям, повышении стойкости плодов при хранении и транспортировке, а также улучшении их вкусовых и эстетических качеств. Многие калийные удобрения представляют собой природные калийные соли, используемые в сельском хозяйстве в размолотом виде. Значительное количество хлора во многих калийных удобрениях отрицательно влияет на рост и развитие растений, а содержание натрия (в калийной соли и сильвините) ухудшает физико-химические свойства многих почв, особенно черноземных, каштановых и солонцовых [2]. Сульфат калия имеет наибольшее значение как бесхлорное удобрение, применяемое на почвах любого типа.

Одно из самых мощных – месторождение Челкар расположено на западе Казахстана и охватывает площадь около 779 квадратных километров. Здесь проведены геологоразведочные работы и оценка запасов калийной руды. Но до сих пор компания АО «Батыс Калий» еще не перешла на этап добычи. Основным компонентом руды является карналлит, и в целом руда имеет сложный неоднородный состав [3].

Эффективная переработка природных калийных руд возможна лишь при тщательном изучении их вещественного состава и раз-

работке на этой основе рациональных методов использования сырья. Поэтому поиск путей переработки руды месторождения Челкар в калийные удобрения является актуальной проблемой развития промышленности минеральных удобрений в Казахстане, что и явилось предметом настоящего исследования.

Ранее нами была исследована возможность обогащения руды месторождения Челкар по калийному компоненту. Результаты эксперимента по отмывке руды путем неполного растворения показало, что данный метод является эффективным методом вывода из состава сырья хорошо растворимых солей натрия, которые являются примесным компонентом в калийных удобрениях. Полученные данные о степени отмывки руды от солей натрия позволили предложить режим отмывки в течение 20 минут при массовом соотношении вода:соль, равном 1:2, что обеспечивает минимальные потери ценного калия с промывной водой [4]. В статье приведены результаты исследования процесса переработки отмывкой калийной руды с целью получения безбалластного калийного удобрения.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлась карналитовая руда Челкарского месторождения. Руда содержит, % масс.:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 8,47;  $\text{K}_2\text{O}$  – 14,04;  $\text{CaO}$  – 7,72;  $\text{MgO}$  – 5,55;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 26,58;  $\text{Cl}^-$  -18,77 [4]. Отмывку руды от солей натрия осуществляли методом неполного растворения [5]. Определение оптимальных условий отмывки руды изучали путем двух- и трехкратной промывки маточным раствором. Прокалку отмывкой руды проводили в муфельной печи при температуре 550°C.

Рентгенографический анализ проб жидкой и твердой фаз выполняли с помощью стационарной установки ДРОН-3 с  $\text{Cu-K}_\alpha$  излучением. Содержание кальция, магния и хлорид-ионов определяли химическим методом по стандартным методикам, а содержание калия и натрия в твердой и жидкой фазах после отмывки руды определяли с помощью пламенно-фотометрического анализатора ПФА-378. Для микроскопического спектрального анализа сырья использовали **растровый электронный микроскоп JSM-6490I V (Jeol, Япония)**. Дифференциально-термический анализ руды проводили с помощью дериватографа Q-1500D.

### Результаты и обсуждение

В промышленных условиях производство водорастворимых солей калия, натрия и магния галургическим способом организуется по схеме с минимальным вводом воды в процесс путем использования для растворения оборотного маточного раствора вместо воды. Поэтому мы изучили эффективность отмывки калийной руды от солей натрия в режиме двух- и трехкратной отмывки. Для этого на второй стадии отмывки использовали промывную воду после отмывки водой, а на третьей стадии – промывную воду со второй отмывки. Для этого пришлось отмывать большое количество руды, чтобы получить достаточное количество фильтрата для следующей отмывки. Процесс изучали в установленных оптимальных условиях обогащения руды по калийному компоненту – при соотношении вода:соль=1:2 при температуре 20°C в течение 20 минут [4]. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Состав отмывкой руды и фильтратов после отмывки**

Содержание компонента, %	Исходная руда	Фаза	Первая отмывка	Вторая отмывка	Третья отмывка
$\text{K}_2\text{O}$	14,04	твердая	14,03	14,30	14,00
		жидкая	3,02	2,08	1,79
$\text{Na}_2\text{O}$	8,47	твердая	0,53	1,25	1,61
		жидкая	7,84	7,39	10,79
$\text{CaO}$	7,72	твердая	17,41	17,42	17,57
		жидкая	0,13	0,11	0,11
$\text{MgO}$	5,55	твердая	7,4	7,4	7,1
		жидкая	0,66	0,74	0,79
$\text{SO}_4^{2-}$	26,58	твердая	58,23	59,13	58,44
		жидкая	3,24	3,19	3,25
$\text{Cl}^-$	18,77	твердая	2,08	1,68	2,22
		жидкая	9,17	11,33	12,54

Как видно из таблицы, при отмывке руды первым фильтратом происходит увеличение содержания оксида калия в твердой фазе с 14 до 14,3% за счет дополнительного растворения из нее натриевых солей фильтратом, который уже содержит 3,02%  $K_2O$  и 7,84%  $Na_2O$ . При этом происходит высаливание калийных солей (содержание  $K_2O$  в жидкой фазе снижается до 2,08%), а также солей натрия. Снижение содержания в осадке ионов хлора с 2,08 до 1,68% и возрастание их в жидкой фазе с 9,17 до 11,33% позволяет судить о том, что при отмывке растворяется преимущественно хлорид натрия, а сульфат натрия высаливается в твердую фазу. Проведение третьей отмывки вызывает снижение содержания в осадке калия и увеличение содержания натрия до 1,61%, что приводит к снижению эффективности отмывки. Поэтому для обеспечения высокой эффективности обогащения руды по калию целесообразно проводить двукратную отмывку руды первым фильтратом (промывной водой).

Содержание оксида кальция в твердой и жидкой фазах практически одинаково во всех режимах отмывки, что объясняется очень низкой растворимостью солей кальция в воде и водно-солевых растворах, и присутствующий в исходной руде гипс весь остается в ней, а в растворе остается  $CaO$  в пределах растворимости сульфата кальция, т.е. не более 0,13%.

Это подтверждает и аналогичное неизменное содержание сульфат-ионов в твердой и жидкой фазах.

Содержание ионов магния также сохраняет практически постоянное значение независимо от режима отмывки как в осадке, так и в фильтрате, причем большая часть магния остается в руде. Небольшое изменение содержания этого иона в третьей промывке также говорит о необходимости выбрать оптимальным режимом двукратную отмывку руды первым фильтратом.

Об эффективности отмывки говорят также результаты рентгенографического анализа руды после второй отмывки. На рентгенограмме (рисунок 1) отсутствует интенсивный пик ( $d=2,81; 1,99; 1,26$ ), идентифицирующий галит, который присутствует на рентгенограмме природной соли. Вместе с тем в составе отмытой руды отчетливо идентифицируются карналлит, глазерит и гипс, так же, как и в исходной руде [3].

Спектрограмма руды после второй отмывки, полученная на РЭМ (рисунок 2), также свидетельствует об отсутствии в составе отмытой руды натрия и хлора. Содержание кальция 17,6-19,4%, практически соответствующее результатам химического анализа, и серы 18,5-18,7% позволяет определить ориентировочное содержание сульфата кальция в отмытой руде  $\approx 60\%$ .

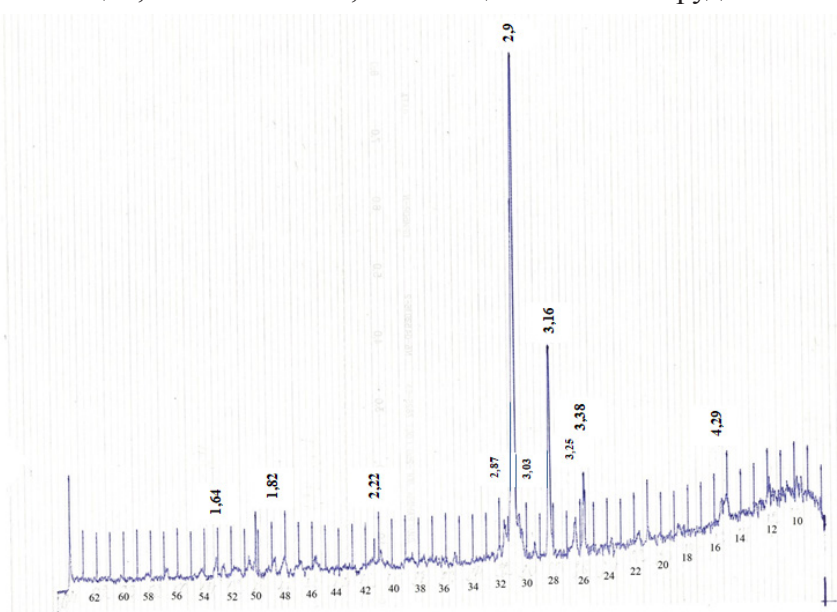
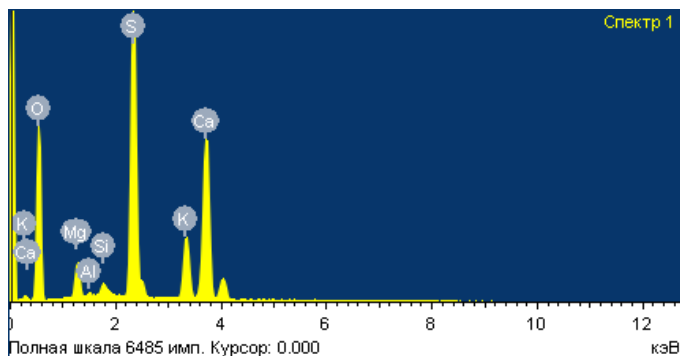


Рис. 1 – Рентгенограмма отмытой калийной руды

Элемент	Весовой %	Атомный %
O	54.26	72.06
Mg	2.77	2.42
Al	0.19	0.15
Si	0.53	0.40
S	18.75	12.43
K	5.90	3.21
Ca	17.60	9.33
<b>Итого</b>	<b>100.00</b>	



Элемент	Весовой %	Атомный %
O	55.35	73.03
Mg	2.26	1.97
Al	0.23	0.18
Si	0.62	0.46
S	18.52	12.19
K	3.59	1.94
Ca	19.42	10.23
<b>Итого</b>	<b>100.00</b>	

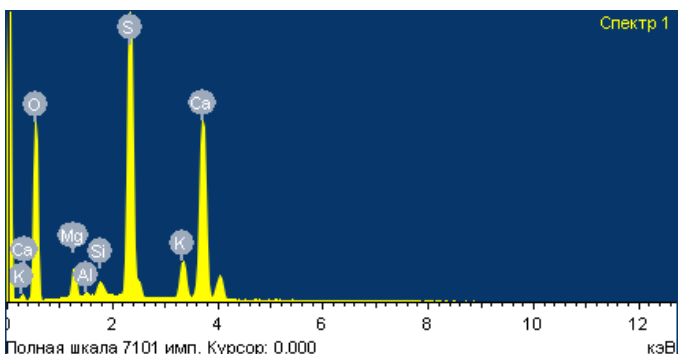


Рис. 2 – Спектрограммы отмытой руды

Результаты дифференциально-термического анализа руды приведены на рисунке 3. Слабый эндотермический эффект в области 100-200°C связан с удалением адсорбированной воды из межкристаллического пространства и с дегидратацией гипса. Значительный эндотермический эффект зафиксирован в интервале температур 350-420°C с существенным увеличением потери массы образца, что

вызвано удалением кристаллизационной воды при разрушении структуры кристаллов карналлита и кизерита, а эндоэффект в интервале 470-530°C соответствует дегидратации полигалита. Таким образом, разрушение структуры кристаллов руды в результате прокалики может способствовать высвобождению индивидуальных солей, хорошо растворимых в воде.

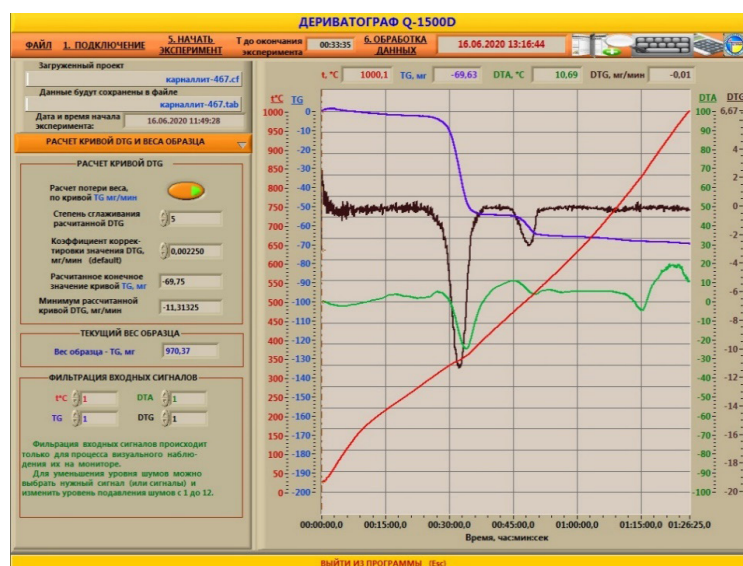


Рис. 2 – Дериватограмма отмытой руды

Для дальнейшей переработки отмытой руды в удобрения полученный образец подвергали растворению в воде при температуре 50°C в течение 15 минут. Как показали результаты, однако, растворилось только 25% соли, а в раствор перешло остаточное количество неотмытого натрия и часть калия. Промывная вода содержит 0,37% Na<sub>2</sub>O и 0,98% K<sub>2</sub>O, что говорит о низкой эффективности перевода солей калия и магния в раствор. Это связано, вероятно, с присутствием в составе руды кристаллогидратов двойных солей, которые являются труднорастворимыми в воде. Поэтому отмытую руду подвергали прокалке при 550°C для разрушения кристаллической решетки этих соединений и тем самым повышения растворимости солей в составе отмытой руды.

Результаты рентгенофазового анализа прокаленной руды свидетельствуют о формировании безводных солей в результате прокалики. На рентгенограмме (рисунок 4) не обнаруживается наличие карналлита и гипса в составе образца, при этом отчетливо идентифицируются индивидуальные соли – сильвин (d= 3,16; 2,22; 1,82), сульфат магния (кизерит) (d= 3,38; 2,55; 4,82), ангидрит (d= 3,49; 2,85; 1,64), а также полугидрат сульфата кальция (d= 2,99; 2,8). Неизменным остается в составе глазерит (d= 2,9; 2,06; 4,07).

Прокаленную руду растворяли в воде при температуре 50°C в течение 15 минут при соотношении вода:соль=2:1. Жидкую и твердую фазу анализировали на содержание K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO, MgO, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>. Результаты представлены в таблице 2.

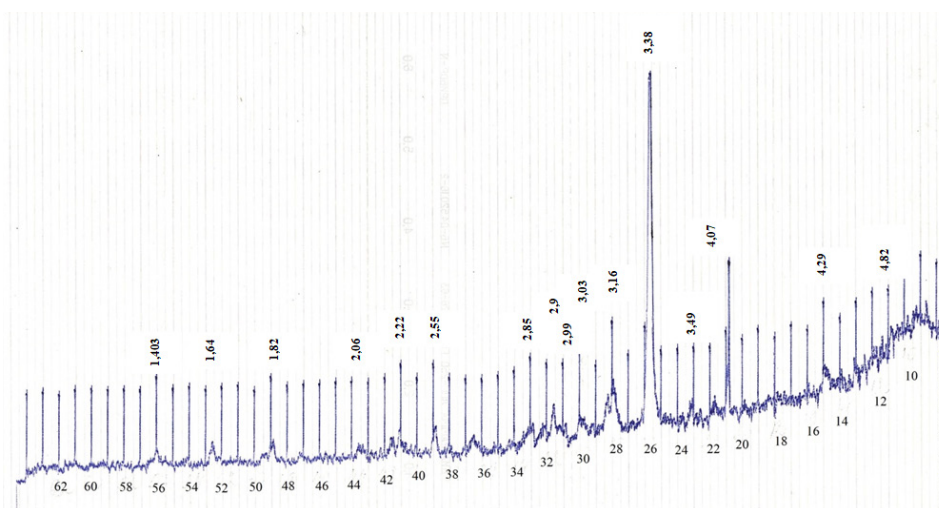


Рис.4 – Рентгенограмма прокаленной отмытой руды

Таблица 2 – Состав жидкой и твердой фаз после растворения прокаленной руды при температуре 50°C

Содержание компонента, %	Исходная руда	Отмытая руда	Прокаленная руда	Фазы после растворения прокаленной руды		Степень перехода в жидкую фазу, %
				Твердая	Жидкая	
K <sub>2</sub> O	14,04	14,30	15,96	9,69	2,19	42,09
Na <sub>2</sub> O	8,47	1,25	2,52	0,05	0,64	97,97
CaO	7,72	17,42	19,30	27,4	0,01	0,12
MgO	5,55	7,40	8,95	5,65	1,91	48,02
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	26,58	59,13	62,12	52,3	11,7	41,81
Cl <sup>-</sup>	18,77	1,68	1,51	0,28	0,55	86,11

Сравнительный анализ состава отмытой и прокаленной руды после ее растворения показывает, что содержание оксидов калия, натрия, магния и кальция возрастает ввиду концентрирования руды после ее прокалики с удалением кристаллизационной воды. Вместе с тем после растворения в воде при 50°C лишь около половины солей калия и магния переходит в раствор. Так, степень перехода  $K_2O$  в раствор составляет 42,09%,  $MgO$  – 48,02%. Состав жидкой фазы свидетельствует о том, что растворяются в основном сульфаты калия и магния, причем растворяется практически всё остаточное количество хлорида натрия. На это указывают степени перехода в жидкую фазу ионов натрия 97,97% и хлорид-

ионов 86,11%. Нерастворимый сульфат кальция неизменно остается в твердой фазе, о чем свидетельствует элементный состав и спектрограмма, полученные на РЭМ (рисунок 5).

Рентгенограмма твердой фазы (рисунок 6), полученной после растворения прокаленной руды, показывает преимущественное содержание безводных солей кальция, калия и магния. Так, на рентгенограмме идентифицируются сильвин ( $d= 3,16; 2,22; 1,82$ ), сульфат магния (кизерит) ( $d= 2,05; 3,38; 4,82$ ), ангидрит ( $d= 3,49; 2,85; 1,64$ ), глазерит ( $d=4,07; 2,9; 2,06$ ) и карналлит ( $d= 3,86; 3,25; 3,03$ ).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что перевод солей калия и магния в раствор при температуре 50°C являет-

Элемент	Весовой %	Атомный %
O	55.38	73.24
Mg	1.65	1.43
Al	0.25	0.20
Si	0.71	0.54
S	18.00	11.88
K	3.06	1.65
Ca	20.94	11.06
Итого	100.00	

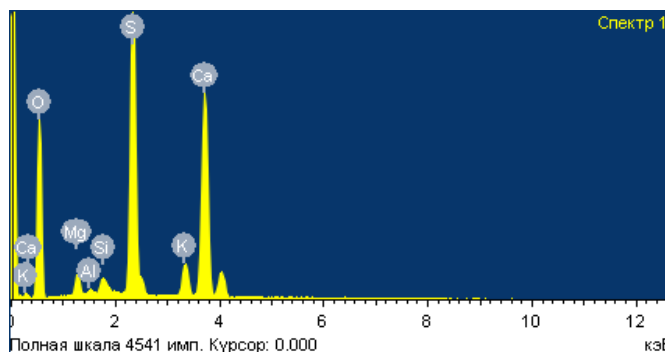


Рис. 5 – Спектрограмма прокаленной руды после растворения

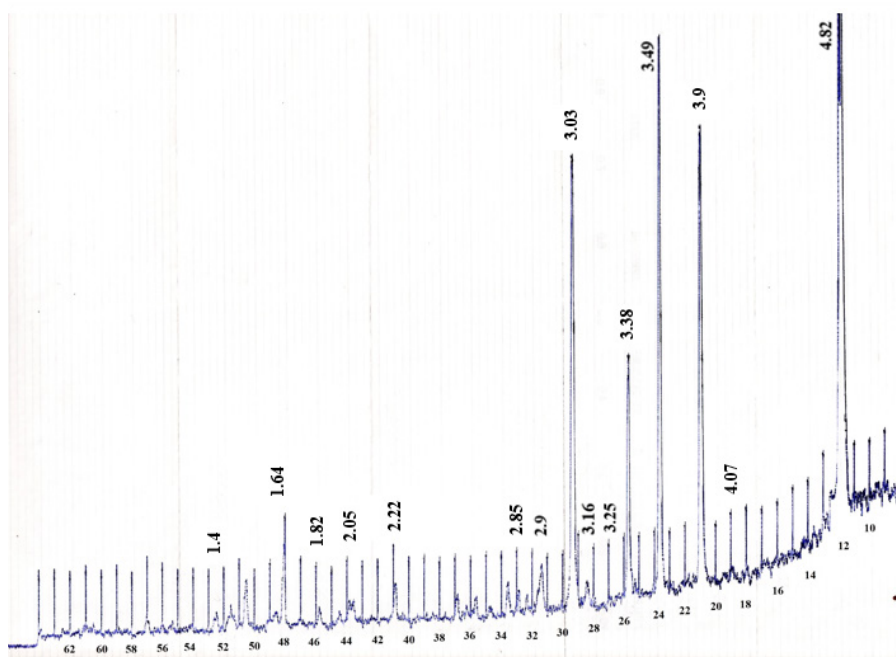


Рис.6 – Рентгенограмма прокаленной руды после растворения

ся неэффективным, поскольку более 50% ионов калия и магния остается в твердой фазе, и полученный разбавленный раствор нецелесообразно перерабатывать в минеральное удобрение. С учетом высокого температурного коэффициента растворимости сульфатов калия и магния, характеризующего увеличение растворимости с повышением температуры, следует изучить растворение данной руды при более высокой температуре. Поэтому был исследован процесс растворения прокаленной руды водой при температуре 90°C, и изучена кинетика этого процесса по составу жидкой и твердой фаз. Растворение проводили так же, как в предыдущем опыте, при соотношении вода:соль=2:1 в интервале времени 30-60 минут при постоянной температуре, поддерживаемой циркуляционным термостатом LOIP-200, в реакторе с мешалкой. По окончании процесса разделенные жидкую и твердую фазы также анализировали на содержание  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SO_4^{2-}$ . Результаты исследования представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Состав фаз после растворения прокаленной руды при температуре 90°C**

Содержание компонента, %	Фаза после растворения руды	Время растворения, мин.		
		30	45	60
$K_2O$	твердая	8,63	8,49	6,21
	жидкая	2,64	1,93	1,98
$Na_2O$	твердая	0	0	0
	жидкая	0,60	0,61	0,50
$CaO$	твердая	20,4	21,0	21,8
	жидкая	0	0	0
$MgO$	твердая	2,41	5,10	5,40
	жидкая	2,30	1,35	0,70
$SO_4^{2-}$	твердая	55,1	58,8	60,1
	жидкая	9,20	8,71	5,90

Как следует из таблицы 3, после растворения при температуре 90°C в течение 30 минут в жидкую фазу переходит больше ионов калия и магния, чем при температуре 50°C, но всего на 20%. С увеличением времени процесса от 30 до 60 минут содержание оксида калия в твердой фазе снижается

от 8,63 до 6,21%, что вызвано высаливанием ионами магния, содержание которых возрастает от 2,41 до 5,4%. При этом замедляется переход в жидкую фазу этих ионов. Вместе с тем при температуре 90°C ионы натрия полностью переходят в раствор независимо от времени растворения. Также весь кальций остается в руде независимо от времени процесса. Таким образом, повышение температуры растворения руды водой не привело к существенному увеличению степени перехода в раствор солей калия и магния, в частности, сульфатов, которые являются целевыми компонентами для получения минерального удобрения. Поэтому для достижения полного растворения данных солей требуется применять другие способы, связанные с химическими превращениями.

### Заключение

Для определения оптимального режима обогащения калийной руды месторождения Челкар по калию изучена эффективность двух- и трехкратной отмывки руды от солей натрия. Установлено, что целесообразно проводить двукратную отмывку руды промывной водой, при которой обеспечивается максимальное содержание в руде калия и минимальное содержание солей натрия. Эффективность отмывки подтверждается результатами рентгенографического анализа руды после второй отмывки. Дифференциально-термическим анализом показано, что при нагревании руды до температуры 550°C происходит дегидратация кристаллогидратов минералов, входящих в состав руды. Прокалка руды приводит к возрастанию в ее составе основных компонентов. Растворение прокаленной руды при температурах 50 и 90°C, приводит лишь к частичному переходу в раствор солей калия и магния при полном растворении остаточных количеств солей натрия. Для достижения полного растворения сульфатов калия и магния, являющихся целевыми компонентами для получения минерального удобрения, требуется изучить химические методы превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atameken.kz. Производство минеральных удобрений в Республике Казахстан. Национальная палата предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен». Доступно с <<https://atameken.kz/uploads/content/files>>.
2. Newchemistry.ru. Обзор технологий производства калийных удобрений. Аналитический портал химической промышленности «Новые химические технологии». Доступно с <[https://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4959](https://newchemistry.ru/letter.php?n_id=4959)>.
3. Сейтмагзимова Г.М., Усенова А.Н., Асылханқызы А., Сейтмагзимов А.А. Переработка карналлитовых руд месторождения Челкар // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2018. – №4(48), – С. 178-182.
4. Асылханқызы А., Сейтмагзимова Г.М., Петров М., Джанмулдаева Ж.К. Исследование способов переработки калийных руд месторождения Челкар // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – №2(53). – Алматы, 2020. – С. 44-52.
5. Петропавловский И.А., Дмитриевский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Технология минеральных удобрений. – СПб.: Проспект науки, 2018. – 312 с.

## ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ АФФИННОМ СООТВЕТСТВИИ МОДЕЛИ И НАТУРНОГО ОБЪЕКТА

ЖАҢАБАЙ Н.Ж.<sup>1</sup>, УТЕЛБАЕВА А.Б.<sup>1</sup>, ЕРМАХАНОВ М.Н.<sup>1</sup>,  
ҚЫРҒЫЗБАЕВА А.А.<sup>2</sup>, ХАСАНХОДЖАЕВА Б.Ш.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова

<sup>2</sup>Казахский Национальный медицинский университет имени С. Асфендиярова

<sup>3</sup>Silkway International University

**Аннотация:** В работе рассматриваются вопросы моделирования термомеханического подобия оболочки при аффинном соответствии модели и натурального объекта. Сформулированы условия моделирования термомеханических явлений в виде правил пересчета параметров модели и природы. Установлены критерии подобия для определения тепловых напряжений и смещения, выполненных в определенном масштабе к натурному объекту.

**Ключевые слова:** моделирование, трубопровод, давление, тепловое напряжение, термомеханика

## МОДЕЛЬ МЕН ТАБИҒИ ОБЪЕКТ АРАСЫНДАҒЫ ЖАҒЫНДЫҚ СӘЙКЕСТІГІ БАР ЦИЛИНДРЛІК РЕЗЕРВУАРЛАРДЫҢ ТЕРМОМЕХАНИКАЛЫҚ ҰҚСАСТЫҒЫ

**Аңдатпа:** Жұмыста модель мен табиғи объектінің аффиндік сәйкестігі кезінде қабықтың термомеханикалық ұқсастығын модельдеу мәселелері қарастырылады. Термомеханикалық құбылыстарды модельдеу шарттары модель мен табиғат параметрлерін қайта есептеу ережелері түрінде тұжырымдалған. Жылу кернеулерін және белгілі бір масштабта табиғи объектіге орын ауыстыруды анықтау үшін ұқсастық критерийлері белгіленді.

**Түйінді сөздер:** модельдеу, құбыр, қысым, жылу кернеуі, термомеханика

## THERMOMECHANICAL SIMILARITY OF CYLINDRICAL RESERVOIRS WITH AFFINE CORRESPONDENCE BETWEEN THE MODEL AND THE FULL-SCALE OBJECT

**Abstract:** The paper deals with modeling the thermomechanical similarity of the shell with affine correspondence between the model and the full-scale object. The conditions for modeling thermomechanical phenomena are formulated in the form of rules for recalculating model and nature parameters. Similarity criteria are established for determining thermal stresses and displacements performed at a certain scale to a full-scale object.

**Key words:** modeling, pipeline, pressure, thermal stress, thermomechanics

Метод моделирования является эффективным средством экспериментального исследования прочности, устойчивости и колебаний элементов технических устройств, машин, оборудования, конструкции и является основой всякого научно поставленного эксперимента [1,2].

В действительности при реализации условий моделирования на основе масштабных преобразований зачастую приходится отказываться от выполнения некоторых требований классического подобия.

Например, практическое применение моделирования на основе классического метода при экспериментальном исследовании прочности тонкостенных трубопроводов из-за технологических ограничений в масштабах толщин приходится отступать от полного геометрического подобия и вводить несколько линейных масштабов. При этом геометрическое подобие моделей заменяется аффинным (от латинского affinus-родственный) подобием модели и натуры. Указанный метод позволяет в ряде случаев отказаться от полного геометрического подобия и путем сокращения количества необходимых критерии подобия ослабить ограничения на условия моделирования, отвечающие классической теории подобия [2,3,4].

Рассмотрим возможность аффинного моделирования термомеханического подобия цилиндрической оболочки с использованием аффинно-подобных моделей. Такие модели допускают введение различных параметров для геометрических величин, определяющих габаритные размеры трубопровода и для толщин листового материала.

Температурное поле в упругом теле вызывает локальное изменение его объема и при неравномерном нагреве приводит к возникновению тепловых напряжений. Объемное расширение материала и термоупругие напряжения зависят от коэффициента линейного расширения и пропорциональны температуре.

Рассматривая статическую задачу термоупругости, включая в него все независи-

мые основные линейные размеры, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала перечень основных величин запишем в следующем виде:

$$\sigma, \varepsilon, u, \delta, \alpha, E, l, \delta, T, \mu \quad (1)$$

Исключая из списка (1) безразмерные параметры относительную деформацию и коэффициент составим матрицу размерностей основных параметров, имеющих ненулевую размерность:

$$\begin{array}{cccccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_7 & x_8 \\ & \sigma & u & p & \alpha & E & l & \delta & T \\ F & \left\| \begin{array}{cccccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ L_l & 0 & 0 & -2 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ L_\delta & -2 & 1 & 0 & 0 & -4 & 0 & 1 & 0 \\ K & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\| & \\ & & & & & & & & \end{array} \quad (2)$$

где  $F, L_\ell, L_\delta, K$  – основные единицы измерения силы, длин и абсолютной температуры;  $\sigma, u$  – характерные величины напряжений и перемещений, под которыми следует понимать любые из компонентов напряжений  $\sigma_j$ , и перемещений  $u_i$ ;  $\delta$  – погонная нагрузка.

Ранг матрицы размерностей (2) равен  $r = 4$ , количество основных параметров  $n = 8$ . Согласно  $\Pi$  – теореме анализа размерностей, количество независимых безразмерных комплексов  $\Pi_k$ , составленных из основных параметров, должно быть равно  $\kappa = n - r = 8 - 4 = 4$  (помимо безразмерных физических величин  $\Pi_5 = \varepsilon; \Pi_6 = \mu$ ).

Согласно  $\Pi$  – теореме анализа размерностей, общее выражение для неизвестного безразмерного отношения представим в форме:

$$\Pi = \sigma^{x_1} \cdot u^{x_2} \cdot P^{x_3} \cdot \alpha^{x_4} \cdot E^{x_5} \cdot l^{x_6} \cdot \delta^{x_7} \cdot T^{x_8} \quad (3)$$

Пользуясь матрицей размерностей (2) и формулой размерностей  $dim F = L_1^{a_1} \cdot L_2^{a_2} \cdot \dots \cdot L_n^{a_n}$ , где  $L_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) основные единицы измерения,  $a_i$  – некоторые показатели степени, подсчитаем размерность произведения:

$$dim \Pi = (F \cdot L_\delta^{-2})^{x_1} \cdot (L_\delta)^{x_3} \cdot (F \cdot L_\ell^{-2})^{x_3} \cdot (K^{-1})^{x_4} \cdot (F \cdot L_\ell^2 \cdot L_\delta^{-4})^{x_5} \cdot (L_\ell)^{x_6} \cdot (L_\delta)^{x_7} \cdot (K)^{x_8} \quad (4)$$

Используя свойства показательных функций из (4) найдем

$$\dim \Pi = F^{(x_1+x_3+x_5)} \cdot L_1^{(-2x_3+2x_5+x_6)} \cdot L_\delta^{(x_2-2x_1-4x_5+x_7)} \cdot K^{(-x_4+x_8)} \quad (5)$$

Условие безразмерности произведения  $\Pi$  приводит к системе алгебраических уравнений для неизвестных показателей  $x_j$

$$\begin{aligned} x_1 + x_3 + x_5 &= 0 \\ -2x_3 + 2x_5 + x_6 &= 0 \\ x_2 - 2x_1 - 4x_5 + x_7 &= 0 \\ -x_4 + x_8 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Линейная однородная система (6) является неопределенной, так как число неизвестных ( $j=8$ ) превышает количество уравнений ( $j=4$ ). Считая значения  $x_1, x_2, x_3, x_4$  произвольными и выражая через них показатели степени  $x_5, x_6, x_7$  и  $x_8$ , найдем:

$$\begin{aligned} x_6 &= 2x_1 + 4x_3 \\ x_7 &= 2x_1 + 4x_3 \\ x_8 &= x_4 \end{aligned} \quad (7)$$

Для величин  $x_1, \dots, x_4$  могут быть назначены любые значения. Пользуясь этим произволом, выберем для первого решения  $\Pi_1$ :

$$x_1 = 1, x_2 = \dots x_4 = 0; x_5 = -1; x_6 = 2; x_7 = -2; x_8 = 0.$$

Остальные показатели вычисляем с помощью уравнений (7)

$$x_2 = 1, x_1 = x_3 = x_4 = 0; x_5 = 0; x_6 = 0; x_7 = -1; x_8 = 0;$$

$$x_3 = 1, x_1 = x_2 = x_4 = 0; x_5 = -1; x_7 = 4; x_8 = -4; x_6 = 0;$$

$$x_4 = 1, x_1 = x_2 = x_3 = 0; x_5 = 0; x_6 = 0; x_8 = 0; x_7 = 1$$

Подставляя найденные значения  $x_j$  в выражение (3), получим безразмерное отношение в виде:

$$\Pi_1 = \sigma \cdot A^{-1} \cdot \ell^2 \cdot \delta^{-2}$$

Остальные безразмерные отношения  $\Pi_k$  ( $k=2 \dots 4$ ) получим, полагая в уравнениях (7) последовательно для каждого значения  $k=2 \dots 4$

$$\delta_j = \begin{cases} 1, & j = k \\ 0, & j \neq k \end{cases}$$

и вычисляя показатели  $x_j$  при  $j = 6, 7, 8$ .

Результаты вычисления представим в виде следующей матрицы решений:

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
	$\sigma$	$u$	$p$	$\alpha$	$E$	$l$	$\delta$	$T$
$\Pi_1$	1	0	0	0	-1	2	-2	0
$\Pi_2$	0	1	0	0	0	0	-1	0
$\Pi_3$	0	0	1	0	0	4	-4	0
$\Pi_4$	0	0	0	1	0	0	0	1

$$(8)$$

Используя матрицу решений (8), представим безразмерные отношения в следующей удобной форме:

$$\Pi_1 = \frac{\sigma \cdot l^2}{E \cdot \delta^2}, \quad \Pi_2 = \frac{u}{\delta}, \quad \Pi_3 = \frac{p \cdot l^4}{E \cdot \delta^4}, \quad \Pi_4 = \alpha T. \quad (9)$$

Таким образом матрице решений соответствуют четыре независимых безразмерных комплекса основных параметров.

Количество безразмерных отношений (9) удовлетворяет  $\Pi$ -теореме, так как число основных параметров в матрице размерностей (2)  $n = 8$ , ранг матрицы размерностей  $r = 4$  и  $k = n - r = 4$ .

Дополняя список (9) безразмерными параметрами  $\Pi_5 = \varepsilon$ ,  $\Pi_6 = \mu$ , примем в качестве искомым критериев подобия модифицированную фундаментальную систему безразмерных комбинаций:

$$\begin{aligned}
 \Pi_1 &= \frac{\sigma \cdot l^2}{E \cdot \delta^2} = idem; \\
 \Pi_2 &= \frac{u}{\delta} = idem; \\
 \Pi_3 &= \frac{P \cdot l^4}{E \cdot \delta^4} = idem; \\
 \Pi_4 &= \frac{l}{\delta} = idem; \\
 \Pi_5 &= \alpha \cdot T = idem; \\
 \Pi_6 &= \varepsilon = idem; \\
 \Pi_7 &= \mu = idem,
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

где символ *idem* означает, что соответствующее безразмерное отношение для класса подобных явлений должно оставаться неизменным.

На основе критериев подобия могут сформулированы условия моделирования термомеханических явлений в виде правил пересчета параметров модели и натуры:

$$\begin{aligned}
 \frac{\sigma_H \cdot l_H^2}{E_H \cdot \delta_H^2} = \frac{\sigma_M \cdot l_M^2}{E_M \cdot \delta_M^2}, \quad \frac{p_M \cdot l_M^4}{E_M \cdot \delta_M^4} = \frac{p_H \cdot l_H^4}{E_H \cdot \delta_H^4}, \\
 \frac{p_M \cdot l_M^4}{E_M \cdot \delta_M^4} = \frac{p_H \cdot l_H^4}{E_H \cdot \delta_H^4}, \quad \mu_i = \mu_i, \quad \frac{l_M}{\delta_M} = \frac{l_H}{\delta_H},
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

где индекс "i" – для натурального объекта, "M" – для модели.

Если характеристики модели выбраны, исходя из равенств, определяющих критерии подобия (12), то для определения тепловых напряжений и смещений натурной конструкции будут иметь место формулы:

$$\sigma_H = \sigma_M \frac{E_H \cdot \delta_H^2 \cdot l_M^2}{E_M \cdot \delta_M^2 \cdot l_H^2}, \quad u_i = u_i \frac{\delta_i}{\delta_i}, \quad u_i = u_i \frac{\delta_i}{\delta_i}
 \tag{12}$$

Если принять материал модели и натурального объекта одинаковым, т.е.  $\frac{E_H}{E_M} = 1$ , и установить масштабы моделирования линейных

размеров, то  $m_l \frac{l_M}{L_M}, m_\delta = \frac{\delta_M}{\delta_H}$ , окончательно имеем:  $\sigma_H = \sigma_M \frac{m_l^2}{m_\delta^2}; u_H = \frac{u_M}{m_\delta};$

Равенства (12) регламентируют выбор материала модели и температур проведения эксперимента, потребных для существования термомеханического подобия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. – М. Наука, 1981. – 447 с.
2. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкции. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 ст.
3. Клечко С.Д. Аффинное подобие в теории неоднородных анизотропных упругих, упругопластических и упруговязких пластин и оболочек. // Труды Новосибирского института инж. ж-д. транспорта. Механика деформируемого тела и расчет сооружений. – Вып. 96. – Новосибирск, 1970. – 63-76 с.
4. Zhangabay N., Utelbayeva A., Salimov F.R. The calculation of strength of preliminary-stressed gas-oil pipelines of great diameter, working under the pressure with the regard to the influence of external temperature environment// Вестник «Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева». – №3. – Усть-Каменогорск, 2019г. – С.94-98.

UDC 661.66.  
IRSTI 61.67.09

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-1-52-56

## PRODUCTION OF POROUS CARBON MATERIALS BASED ON SUPERHYDROPHOBIC SOOT AND OIL SLUDGE

NAZHIPKYZY M.<sup>1,2</sup>, ASSYLKHANOVA D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*al-Farabi Kazakh National University*

<sup>2</sup>*Institute of Combustion Problems*

**Abstract:** *In this work, a porous carbon material (PCM) was obtained on the basis of superhydrophobic soot synthesized during combustion of a propane-butane mixture and an oil sludge from the Zhanaozen field. The resulting PCM was used as a carrier catalyst for the synthesis of carbon nanotubes. Synthesized samples of multi-wall carbon nanotubes (MWCNT) were confirmed by Raman spectra and a scanning electron microscope (SEM).*

**Key words:** *synthesis, porous carbon materials, superhydrophobic soot, oil sludge, multiwalled carbon nanotubes*

## АСА ГИДРОФОБТЫ КҮЙЕ ЖӘНЕ МҰНАЙ ШЛАМЫ НЕГІЗІНДЕ КЕУЕКТІ КӨМІРТЕКТІ МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДІРУ

**Аңдатпа:** *Бұл жұмыста кеуекті көміртекті материал (ККМ) пропан-бутан қоспасы жанғанда синтезделген аса гидрофобты күйе мен мұнай қалдығы негізінде алынған. Мұнай қалдығы ретінде Жаңаөзен кен орнының шламы таңдалды. Алынған ККМ тасымалдаушы катализатор ретінде нанотүтікшелер синтезі үшін қолданылды. Енді осы көпқабатты көміртекті нанотүтікшелердің (КҚКНТ) үлгілері спектрлерді комбинациялық шашырату әдісі және сканерлеуші электронды микроскоп арқылы зерттелді.*

**Түйінді сөздер:** *синтез, кеуекті көміртекті материал, аса гидрофобты күйе, мұнай шламы, көпқабатты көміртекті нанотүтікшелер*

## ПРОИЗВОДСТВО ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СУПЕРГИДРОФОБНОЙ САЖИ И НЕФТЯНОГО ШЛАМА

**Аннотация:** *В данной работе пористый углеродный материал (ПКМ) был получен на основе супергидрофобной сажи, синтезированной при сжигании пропан-бутановой смеси и нефтешлама с месторождения Жанаозен. Полученный ПКМ использовали в качестве катализатора-носителя для синтеза углеродных нанотрубок. Синтезированные образцы многостенных углеродных нанотрубок (MWCNT) были подтверждены рамановскими спектрами и сканирующим электронным микроскопом (SEM).*

**Ключевые слова:** *синтез, пористые углеродные материалы, супергидрофобная сажа, нефтешламы, многостенные углеродные нанотрубки*

### Introduction

Nowadays, the amount of global production of porous carbon materials is about one million tons per year and continues to grow. The main areas of PCM use are systems for adsorption cleaning and separation of gas and liquid media. The use of pumas as hemosorbents, carriers for catalysts, adsorbents for chromatography, energy and gas storage systems, etc. is expanding [1, 2]. Their application areas are constantly expanding due to the development of methods for producing PCM with fundamentally new properties: carbon composite materials, molecular sieves, fibers, fullerenes, hollow nanotubes, etc. [3]. In this paper, it was considered methods for synthesizing the structure of the core shell from a porous carbon material, methods for the functionalization of a porous carbon material by direct inclusion of a heteroatom in carbon synthesis, halogenation, sulfonation, surface oxidation, and grafting [4, 5]. Over the past decade, the rapid development of nanotechnology has strengthened the carbon field and a number of new carbons with unique morphologies (such as carbon nanospheres, graphene or leaf-like carbon and ordered mesoporous carbon) and compositions (such as nitrogen-doped carbon) and carbon nitride, which are at the same time very useful for heterogeneous catalysis. Metal nanoparticles or metal oxides deposited on these carbon carriers provide interesting and exceptional characteristics in various catalytic processes, such as selective oxidation, hydrogenation, and oxygen reduction reactions [6].

Carbon in dense form use its remarkable characteristics, as mechanical, thermal and electrical in various applications from common

lead pencil to advanced management systems for spacecraft's. Simultaneously, its affinity for oxygen at high temperature can be beneficially used in making porous carbons. Porous carbons are prepared through controlled pyrolysis of carbonaceous materials, naturally occurring woods or synthetic polymeric materials [7-8].

However, the scale of consumption of porous carbon materials is largely limited by their relatively high cost. Therefore, an urgent task is to develop new methods for obtaining porous carbon materials with the required set of properties from cheap natural raw materials. As the last can be used the oil sludge and superhydrophobic soot [9] obtained during combustion of a propane-butane mixture.

### Experimental part

Preliminary mixed oil sludge and superhydrophobic soot were used to as a matrix to produce a carbon-based porous material. Then the mixed mixture in a special container was placed in a furnace to produce a porous material during carbonation at a temperature of 700°C for 40 minutes with argon purging.

The resulting porous material was impregnated with nickel nitrate crystallohydrate, dissolved in various concentrations in alcohol (ethanol 95%), and heated in a drying cabinet at a temperature of 100°C within 30 minutes. The obtained sample was heated in an argon atmosphere in a furnace at a temperature of 400°C during 1 hour. Then resulting sample was processed in furnace during combustion propane-butane mixture at different temperatures 650, 700, 750, 800°C.

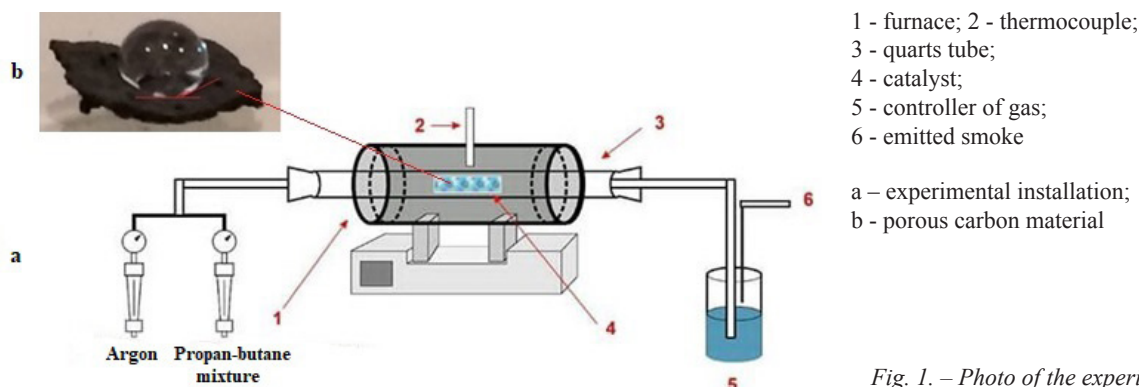


Fig. 1. – Photo of the experimental setup

**Results and discussion**

In this work samples of a porous carbon material containing nanotubes were studied at the Raman spectrometer NTegra Spectra (NT-MDT, Russia), whose excitatory radiation wavelength is 473 nm. The laser power is 20 mW. The signal accumulation time for all the spectra presented in this paper is 30 seconds.

Figure 2 shows scanning electron microscopic image of a porous material impregnated with nickel nitrate crystallohydrate, which was obtained at a temperature of 400°C.

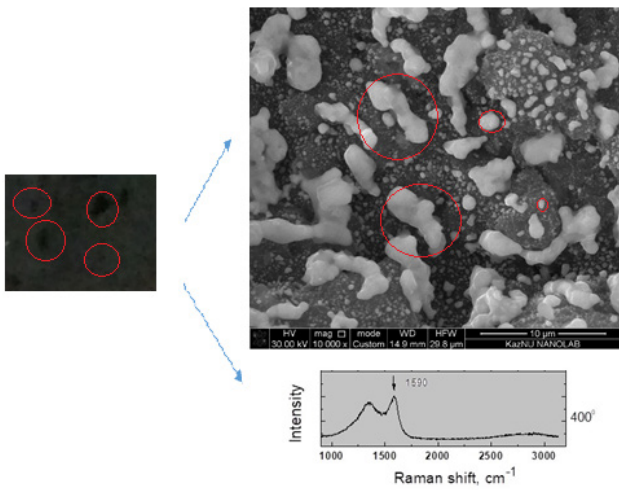


Fig. 2. – Electron microscopic image and Raman spectra of PCM obtained at a temperature of 400°C

Raman spectra of a porous carbon material have shown that represented by two characteristic carbon (graphite) peaks G (1570-1600  $\text{cm}^{-1}$ ) and D (1360  $\text{cm}^{-1}$ ). SEM images of samples show presence of nickel particles (white particles of various configurations) on the surface of the sample, which will act as a catalyst, and these particles will contribute for the grow carbon nanotubes. Figure 3 shows that the Raman spectra of samples obtained at temperatures of 650, 700, 750, 800°C.

In samples carbonized at lower temperatures (650-700°C), a wide band (G-peak) is observed in the region of 1590  $\text{cm}^{-1}$ , which indicates a large contribution of the amorphous phase in the graphite structure. Peak D with an offset of 1360  $\text{cm}^{-1}$  represents a wide band, the intensity for some carbonation temperatures exceeds the intensity of the G peak. Figure 4 depicts SEM images of samples obtained at temperatures 650, 700, 750, 800°C.

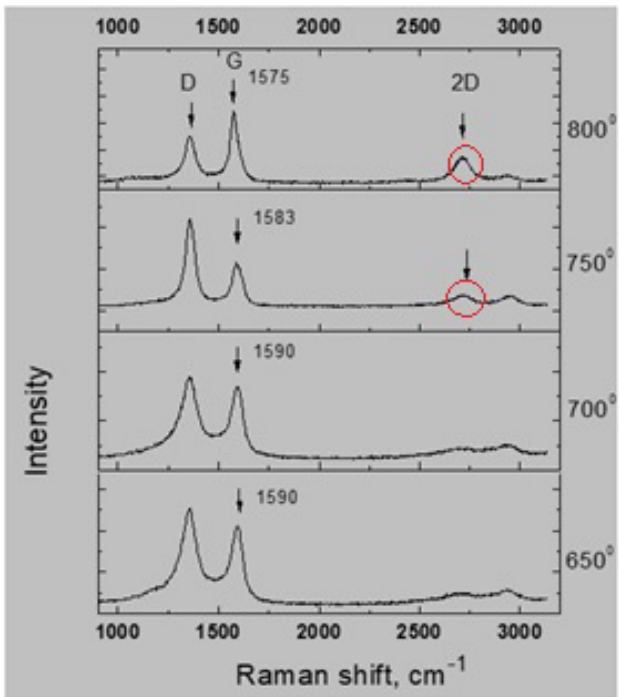
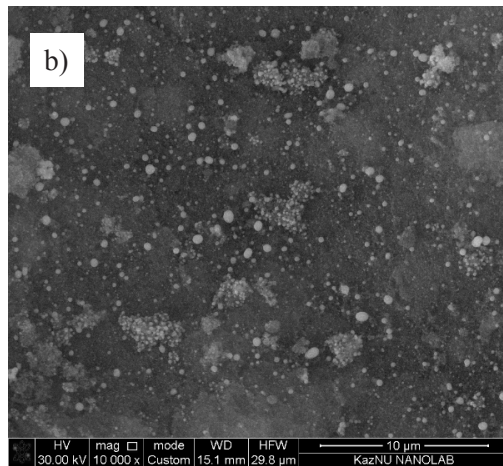
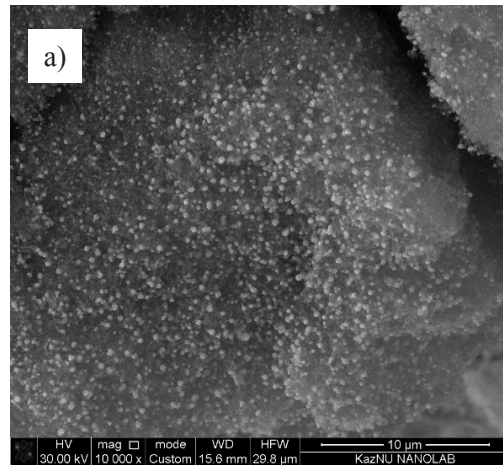


Fig.3. – The Raman spectra of samples in different temperatures



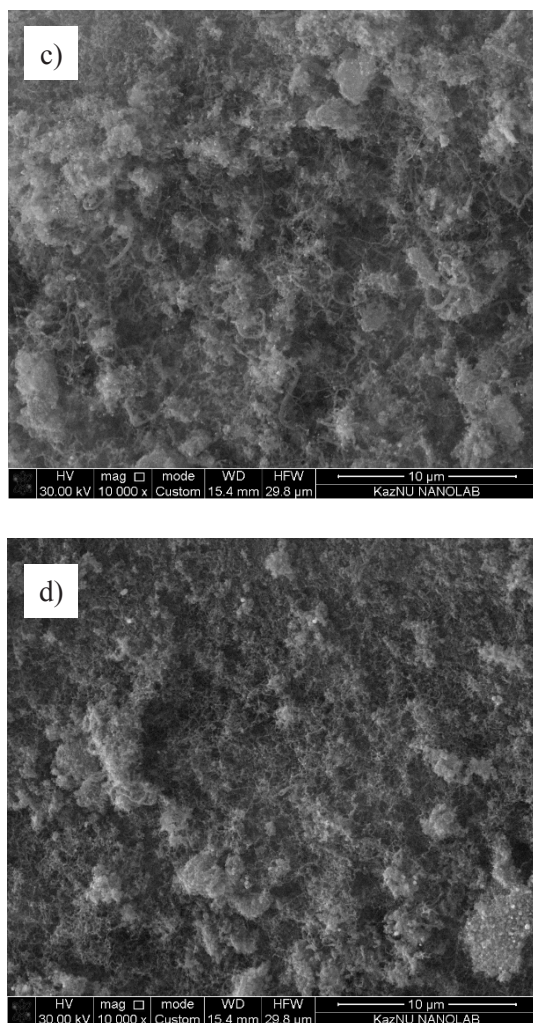


Fig.4. – SEM images of samples obtained at different temperatures

SEM images of samples obtained at temperatures 650, 700, 750, 800°C are fully consistent with the results of Raman spectroscopy.

It is important to note that with increasing temperature, the shift of the peak G to the low-frequency region is observed. The values of 1575-1580  $\text{cm}^{-1}$  are typical for vibrations of C-C carbon atoms in the plane, and a narrow and intense peak in this region can indicate the presence of extended graphite carbon structures. In addition, in the spectra of samples obtained at 750 and 800°C, the appearance of a peak of 2D 2710  $\text{cm}^{-1}$  is noticeable.

### Conclusion

To sum up, a porous carbon material was obtained based on superhydrophobic soot synthesized during combustion of a propane-butane mixture and an oil sludge. The resulting PCM was used as a carrier catalyst for the synthesis of carbon nanotubes. Synthesized samples of multi-wall carbon nanotubes (MWCNT) were confirmed by Raman spectra and a scanning electron microscope (SEM). Thus, it can be argued that the observed Raman spectra for high temperatures correspond to samples containing multi-walled carbon nanotubes with a small number of structural defects in the case of a carbonation temperature of 800°C.

### Acknowledgments

This study was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan in the framework of the scientific and technical program AR 08856321 of the Republic of Kazakhstan

### REFERENCE

1. Takashi Kyotani. Carbon Alloys. Novel Concepts to Develop Carbon Science and Technology. Chapter 7. Porous Carbon. – 2003. – P. 109-127.
2. Ana S. Mestre, Ana P. Carvalho. Nanoporous Carbon Synthesis: An Old Story with Exciting New Chapters. – P.37-68. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72476>
3. H. Ma, J. Tarr, M. A. DeCoster, J. McNamara, D. Caruntu, J. F. Chen, C. J. O'Connor, W. L. Zhou. Synthesis of magnetic porous hollow silica nanotubes for drug delivery. Journal of Applied Physics 105. – 2017.
4. <https://doi.org/10.1063/1.3072048> Shivam Gupta, Nyan-Hwa Tai. Carbon materials as oil sorbent: A review on synthesis and performance. Journal of Materials Chemistry A. – 2016, 4. – P. 1550-1565. DOI: 10.1039/C5TA08321D
5. Dipali Prvine Upare, Songhun Yoon, Chul Wee Lee, Korean J. Nano-structured porous carbon materials for catalysis and energy storage. Journal review. Chem. Eng., 28(3). – 2011. – P. 731-743.

6. Pengfei Zhang, Huiyuan Zhu, Sheng Dai. Porous Carbon Supports: Recent Advances with Various Morphologies and Compositions. Wiley-VCH. 2015.
7. Satish M. Manocha. Porous carbons. – V. 28., Parts 1 & 2. – 2003. – P. 335-348. DOI: 10.1007/BF02717142
8. Elena Pérez-Mayoral, Inês Matos, Maria Bernardo, Isabel M. Fonseca. New and Advanced Porous Carbon Materials in Fine Chemical Synthesis. Emerging Precursors of Porous Carbons. Catalysts. – 2019. – V. 9, 133. – P.2-35; doi:10.3390/catal9020133
9. Нажипкызы М., Мансуров З.А., Пури И.К., Лесбаев Б.Т., Шабанова Т.А., Цыганов И.А. Получение супергидрофобной углеродной поверхности при горении пропана //Нефть и газ. – 2010. – № 5(59). – С. 27-33.

## СИНТЕЗДЕП АЛЫНҒАН АКРИЛ СЫР БОЯУЛАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

НУРЛЫБАЕВА А.Н., СЕЙТБЕКОВА Г.А.,  
ҚҰДАЙБЕРГЕНОВА Р.М., АМИРОВА С.Ә., ОМАРОВА М.Н.

*Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати*

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста метилметакрилат пен бутилметакрилат неізінде жаңа сополимерлер синтезделді. Еденге арналған бояу құрамына метилметакрилат мономері мен сополимерлердің әртүрлі қатынасы қолданылды. Сонымен қатар жақсартылған қасиеттері бар жабындыларды алу үшін, ең алдымен олардың құрамына кіретін материалдардың қасиеттеріне тәуелді екені зерттелген. Осы алынған сополимерлердің ЯМР-спектроскопиясы арқылы құрлымы мен тұтқырлығы зерттелген.

**Түйінді сөздер:** Метилметакрилат, бутилметакрилат, сополимер, ЯМР-спектроскопия, жабынды, мономер, бояу

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИНТЕЗИРОВАННЫХ АКРИЛОВЫХ КРАСОК

**Аннотация:** В данной статье синтезированы новые сополимеры на основе метилметакрилата и бутилметакрилата. Исследованы различные соотношения мономеров метилметакрилата и сополимеров к содержанию краски для пола. Также было доказано, что получение улучшенных покрытий, прежде всего, зависят от свойств материалов, входящих в их состав. Были изучены вязкость этих сополимеров, а также структурные свойства с помощью ЯМР-спектроскопии.

**Ключевые слова:** Метилметакрилат, бутилметакрилат, сополимер, ЯМР-спектроскопия, покрытия, мономер, краска.

## INVESTIGATION OF PROPERTIES OF SYNTHESIZED ACRYLIC PAINTS

**Abstract:** In this article, new copolymers based on methyl methacrylate and butyl methacrylate were synthesized, and various ratios of methyl methacrylate monomers and copolymers to the content of floor paint were investigated. It has also been proved that obtaining improved coatings primarily depend on the properties of the materials included in their composition. The viscosity of these copolymers as well as the properties were studied by NMR spectroscopy.

**Key words:** methyl Methacrylate, butyl methacrylate, copolymer, NMR spectroscopy coatings, monomer, paint

Өнеркәсіп әрқашанда өте жоғары эксплуатациялық қасиеттері жақсы жаңа сыр-бояу материалдарын өндіруге үздіксіз талпынады. Акрилды сыр-бояу материалдары (СБМ) бірқатар баға жетпес қасиеттерге ие, оның ішінде жарыққа тұрақтылығы, атмосфералық әсерге және су мен сілтілерге төзімділігі жатады. Сондай-ақ олар жылтырлығын

сақтай отырып, ескіруі мен ұзақ уақытқа дейін тозбай, жарамдылығымен ерекшеленеді. Сондықтан оларды сипаттайтын қасиеттері бар жабындыларды алу үшін, ең алдымен олардың қасиеттері құрамына кіретін материалдардың қасиеттеріне тәуелді екенін және оларды жақсарту ең маңызды мәселелердің бірі болып табылатынын ескеру керек.

Акрил полимерлерін өнеркәсіптің түрлі саласында, атап айтқанда, бояу өндірісінде қоюландырғыш және үлдіртүзгіш материал ретінде қолданады. Акрил полимерлерінің сыр-бояу нарығында пайда болуынан бастап, олардың құрамы мен синтездеу технологиялары үнемі заман талаптарына сай жақсартылып отыруда және қазіргі уақытта СБМ өндірісі басқа үлдіртүзгіштермен алмастыруда. Бұл экологиялық қауіпсіз материалдарды өндіру үшін қолданылатын құрамы әртүрлі акрил сополимерлері.

Полимерлердің синтездеп алынған жолдары мына жұмыстарда берілген [1].

Сополимерлерді зерттеуде гравиметриялық талдау ерекше маңызға ие. Гравиметриялық әдіс арқылы зерттелетін ММА-БМА сополимерлердің салмағы есептелді. Берілген сополимердің массалық үлесі 1-кестеде келтірілген. Сополимерлердің шығымы 80%-тен астам екенін алынған мәліметтерден көруге болады.

**1 кесте – ММА-БМА сополимерлердің шығымы**

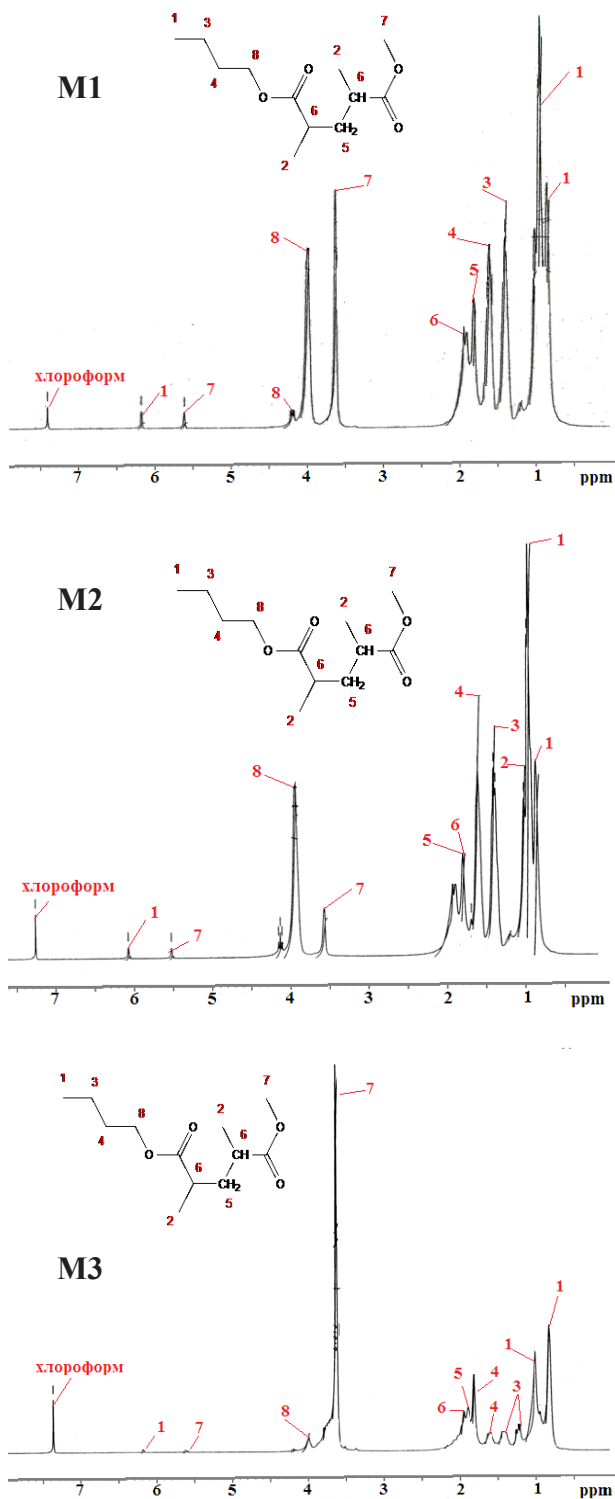
№	[ММА-БМА], моль. %	Шығымы, %
М1	10-90	88,7
М2	50-50	83,2
М3	90-10	86

**2 кесте – ММА-БМА сополимерінің ЯМР спектріндегі сигналдары және оның құрылымдық формуласы**

Функционалдық топтар	Сигналдар (ppm)	Сополимердің құрылымдық формуласы
CH <sub>3</sub> (1)	0,50–0,90	
CH <sub>3</sub> (2)	1,10–1,22	
CH <sub>2</sub> (3)	1,40–1,45	
CH <sub>2</sub> (4)	1,50–1,54	
CH (5)	1,90–1,93	
CH (6)	1,90–1,93	
CH <sub>3</sub> (7)	3,70–3,96	
CH <sub>2</sub> (8)	4,06–4,10	
H – CH <sub>2</sub> – C – H (1,7)	5,5–6,5	
хлороформ еріткіші	7,26–7,27	

**H<sup>1</sup> ЯМР – спектроскопия әдісі**

Сополимерлерге сипаттама беруде ядромагниттік резонанс (ЯМР) зерттеу әдісінің басқа зерттеу әдістермен салыстырғанда алар орны ерекше. Бұл зерттеу әдісі зерттелетін сополимердің құрылысын, құрылымын, құрамын анықтайтын айрықша маңызды физика-химиялық зерттеу әдістерінің бірі болып саналады. Осы синтезделген ММА пен БМА негізіндегі сополимерлерге де ЯМР зерттеу әдісі арқылы зерттеулер жүргізілді. Зерттелетін ММА-БМА сополимерлері (10-90 (М1), 50-50 (М2), 90-10 моль. % (М3)) хлороформ (CHCl<sub>3</sub>) еріткішінде толық ерітіліп, 300-400 МНz аралығында протон бойынша (1H) спектрлер алынды. Ол 1 сурет, 2 – кестеде келтірілген. Спектрде берілген әрбір сигналдарға сәйкес келетін топтарды яғни, ММА-тың метил тобына 3,70-3,96 ppm БМА-тың CH<sub>2</sub> топтарына 0,50-0,90, 1,40-1,45, 1,50-1,54, 4,06-4,10 ppm сәйкес келетіні анықталды. Еріткіште өзінің табиғатына байланысты ЯМР спектрлеріне әсер етеді, осы еріткіш 7,26-7,27 ppm аймағында тіркелді. Сондай-ақ сополимердің құрамында карбоксил топтары 1,90-1,93 ppm сигналынан байқалады, ол негізгі тізбегін сипаттайды, бұл C – H топтардың әрекеттесуін көрсетеді. Осы функционалдық топтардың беретін сигналдарына негізделіп, ММА – БМА сополимерінің құрылымдық формуласы анықталды.



1 сурет – MMA-БМА сополимерінің ЯМР (1H) спектрі, 10-90 (M1), 50-50 (M2) 90-10 (M3) моль. %

Сополимердің әртүрлі концентрациясына байланысты, химиялық ығысу шындығының да өзгертетінін байқауға болады. Осы берілген [2] жұмыстардағы спектрлер протонды дәл анықтауға көмектесті.

Акрилды сірненің құрамына негізінен MMA-БМА сополимерлер метилметакрилат (MMA) кіреді.

Бөлме температурасында акрил негізіндегі сірнеге кальций карбонаты, кварц құмы мен пигменттер қосылып, қолмен араластырылды. Бірнеше минут ішінде акрилды сірне қоймалжың күйге ауысады, нәтижесінде қоспаның тұтқырлығы айтарлықтай артады.

Алдымен жалпы қоспаға БТ бар қоспа, сосын 2 минуттан соң ақырындап ДМПТ қоспасын араластыра отырып, өлшемі 200 мм x 110 мм x 3 мм пішінді шыны қалыпқа құйылды. Осы қоспа қою массаға айналғанша бөлме температурасында кептірілді.

Осы байланыстырғыштан алынған бояуға қатты парафиннің 1% массасы енгізеді.

Еденге арналған бояу құрамына мономерлер, сополимерлер мен терполимердің әркелкі қатынасы қолданылды. Алынған қоспаның физика-механикалық қасиеттері мен олардың сыр-бояу өнімдерінің құрамына әсері зерттелді (3-кесте).

### Ұнтақ үлдірлердің тұтқырлығын анықтау

Тұтқырлық акрил полимер қасиеттерінің ең маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады [3-4]. Акрил полимерінің тұтқырлығы Брукфилд вискозиметрін қолдану арқылы анықталды. Акрил қосылыстарының тұтқырлығын анықтау үшін ASTM D4878 – стандарт әдісі қолданылды [5]. MMA-БМА сополимерінің тұтқырлығы 25°C температурада өлшенді және ол 2 суретте келтірілген.

### 3 кесте – Акрил негізінде дайындалған бояудың құрамы

Полимер	Қоспаның түрі	Сірне (г)	Кварц құмы (г)	Кальций карбонаты (г)	БТ (г)	ДМПТ (г)	Пигмент (г)
1 – топ	Е – Сір 10/M1	100	150	100	1	0,75	5
	Е – Сір 10/M2						
	Е – Сір 10/M3						

Осыған байланысты М3 құрамында бастапқы мономер қоспасында БМА (10%) аз мөлшерде болса, оның тұтқырлығы төмен (230 гц) екені анықталды. Ал, М1 құрамында БМА (90%) көлемі көп болса, онда ол өте жоғары (700 гц) тұтқырлыққа ие болатыны және сополимер құрамындағы, яғни карбон қышқылының құрамындағы бутил тобына, полимердің температурасы мен концентрациясының өзгеруіне байланысты екені анықталды және алынған мәліметтерден акрил қосылыстарының тұтқырлығын бақылауға болады [6, 7].

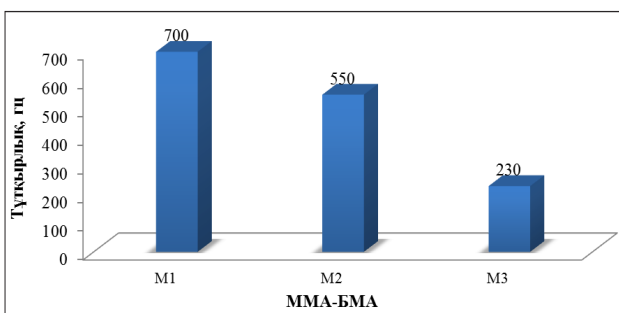
Осы түзілген нәтижелерге байланысты мынадай тұжырымдама жасауға болады, яғни ММА-БМА және сополимерінің әртүрлі қатынастарына қарағанда, ішіндегі М1 үлгісінің тұтқырлығы біршама (25°C температурада) жоғары болатыны және ол алынған сополимердің құрамына тікелей (2 сурет) тәуелді екені көрсетілген. Тұтқырлықтың жоғары болу себебі сополимер құрамына енген мономердің белсендігімен байланысты болады.

### Ұнтақ үлдірлердің созылу беріктілігін анықтау

Әртүрлі қатынастағы ММА-БМА сополимер үлдірлерінің механикалық қасиеттері 3 суретте көрсетілген. Бұл сополимер құрамында ММА мөлшері көбейген сайын созылу беріктілігі өседі. Алынған мәліметтер бойынша, М1 және М2 (ММА-БМА, 10-90 немесе 50-50) сополимеріне қарағанда, М3 (ММА-БМА, 90-10) созылу беріктілігі жоғары болатыны айқындалды және ол берілген сополимер негізіндегі үлдірлер құрамындағы (ММА) қатты сегменттердің артуына байланысты деп түсіндіріледі.

Оларды салыстыру үшін, үлгілеріндегі ММА мономерінің жоғары мөлшері қарастырылды, ММА-АҚ сополимер үлдірлер құрамындағы қатты сегмент ММА мөлшері жоғарылаған сайын, М2 және М3 созылу беріктілігі өте жоғары дәрежеде жетеді.

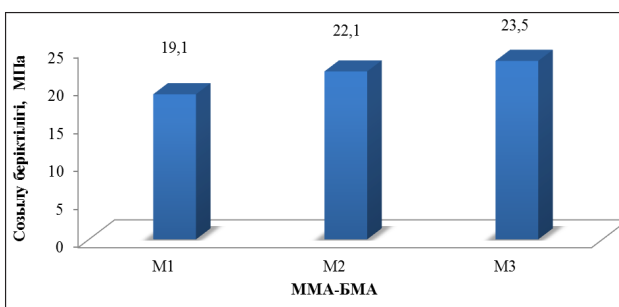
Сонымен қатар зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтер бойынша ММА мономер мөлшерінің өсуіне байланысты, ММА-БМА



2 сурет – Сан түрлі қатынастағы сополимер үлдірлерінің тұтқырлығы, 10-90 (М1), 50-50 (М2), 90-10 моль.% (М3)

сополимердің созылу беріктілігі өте жоғары дәрежеде өседі. Осы алынған деректер бойынша, созылу беріктілігінің өте жоғары дәрежеде болу себебі, мономері құрамында карбоксил топтарының орналасуынан, яғни үлдірлердің қатаю кезінде олар қосымша тігуші агент ретінде байланыстырады.

ММА мономерінің ішкі ионының орталығы полимердің қасиеттеріне оң үлесін қосады, яғни сутегі байланысын түзеді және айтарлықтай материалдардың механикалық беріктілігін жақсартуға ықпал жасайды. Сондай-ақ қатты сегмент ММА белгілі болғандай, физикалық жағынан таза зат ретінде қатысады, ол әдетте акрил полимерінің созылу қасиеттеріне байланысты болады [8].



3 сурет – Әртүрлі қатынастағы сополимер үлдірлерінің созылу беріктілігі, 10-90 (М1), 50-50 (М2), 90-10 моль.% (М3)

### Қорытынды

Бұл жұмыста метилметакрилат пен бутилметакрилат неізінде жаңа сополимерлер синтезделді. Осы алынған сополимерлердің ЯМР-спектроскопиясы арқылы құрлымы, созылу беріктілігі мен тұтқырлығы зерттелді. Тұтқырлықтың жоғары болу себебі сополимер құрамына енген мономердің белсенділігімен байланысты болады. Ал, қатты сегмент

ММА мөлшері жоғарылаған сайын, созылу беріктілігі өте жоғары дәрежеге жетеді.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Нурлыбаева А.Н., Сахы М.С., Рустем Е.И. Синтез и исследование на основе метилметакрилата с бутилметакрилатом и применение их в лакокрасочных покрытиях Theoretical and Applied Sciences in the USA» Papers of the 2nd International Scientific Conference. – New York: USA, – 2015. – P. 246-252.
2. Chernyshev A.I., Kartashov B.C., Residents of Arzamas A.P., Yesipov S.E. Spectroscopy of a nuclear magnetic resonance // State Pharmacopoeia of the USSR. - II edition. –1987. –Vol.I. – P. 50-55.
3. Dunne N.J. and Orr J.F. Thermal characteristics of curing acrylic bone cement // ITBM-RBM. – 2001.– Vol. 22, № 2. – P.88-97.
4. Callais P. A. in Coatings Technology Handbook // Satas D., Marcel Ed., Dekker, Inc., New York. – 1991.– P. 521.
5. ASTM D4878, Standard Test Methods for Viscosity: Determination of Viscosity of Polyols. – American Society for Testing and Materials, 2003. – P. 1-9.
6. Patent US H1799 H Star polymer viscosity index improver for oil compositions, Anderle G.A. and Lenhard S.L. – 2003.
7. Patent US. H1896, Polymer viscosity, Muller and H.P. Gruttman H. – 2001.
8. Казакова Е. Е., Скороходова О.Н. Водно – дисперсные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения. – М.: ТОО «Пэйнт – Медиа» 2003. – С.105-109.

**МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ****ТИМОФЕЕВА О.И., БУЗОВА О.В.***Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова*

**Аннотация:** *Одной из важнейших экологических проблем в настоящее время является загрязнение окружающей среды полимерными отходами. Эта проблема играет важную роль не только в жизни населения Республики Казахстан, но и во всей экологической системе страны. Количество полимерных отходов растет с каждым годом. Отходы полимеров засоряют наши города и способствуют появлению множественных проблем со здоровьем у людей и животных. Большое количество полимерных отходов отправляются на специальные полигоны и свалки. На данный момент наблюдается значительный прирост количества полигонов и свалок. Эта ситуация сложилась из-за отсутствия пунктов сортировки во многих регионах Республики Казахстан. Решение всех указанных проблем зависит не только от правительства, но и от нас самих. Если мы будем использовать меньше полимерных изделий в нашей повседневной жизни, перерабатывать их, то мы сделаем окружающую среду чище. В наши дни существуют и модернизируются различные способы по переработке и утилизации полимерных отходов, которые имеют свои преимущества и недостатки. Проблема утилизации полимерных отходов требует новые способы переработки и повторное использование полимеров в замкнутой системе так, чтобы они никогда не становились отходами.*

*В статье представлен обзор методов переработки полимерных отходов, используемых на предприятиях Республики Казахстан, рассмотрены их преимущества и недостатки, этапы переработки полимерных отходов, требования для утилизации пластика, изделия из пластика. Рассмотрены и предложены к применению некоторые дополнительные устройства для вторичной переработки полимерных отходов.*

**Ключевые слова:** *полимерные отходы, утилизация, полимер, пластик, измельчители*

**ПОЛИМЕРЛІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ**

**Аңдатпа:** *Қазіргі уақытта маңызды экологиялық проблемалардың бірі қоршаған ортаны полимерлі қалдықтармен ластау болып табылады. Бұл проблема Қазақстан Республикасы халқының өмірінде ғана емес, елдің бүкіл экологиялық жүйесінде де маңызды рөл атқарады. Полимер қалдықтарының саны жыл сайын артып келеді. Полимерлердің қалдықтары қалаларымызды ластайды және адамдар мен жануарлардың денсаулығына әсер етеді және көптеген проблемалардың пайда болуына ықпалын тигізеді. Полимерлік қалдықтардың көп мөлшері арнайы полигондарға жіберіледі. Қазіргі таңда полигондар санының айтарлықтай өсуі байқалады. Барлық аталған проблемаларды шешу тек үкіметке ғана емес, өзімізге де байланысты, айтылған жағдай Қазақстан Республикасының көптеген өңірлерінде сұрыптау пункттері болмағандықтан қалыптасты. Егер күнделікті өмірде аз полимерлі өнімдерді қолдансақ, оларды қайта өңдейтін болсақ, онда біз қоршаған ортаны таза ұстаймыз. Қазіргі кезде өзінің артықшылықтары мен кемшіліктері не қарай, полимерлі қалдықтарды қайта өңдеу мен кәдеге жаратудың әртүрлі тәсілдері бар және жетілдірілуде. Полимерлі қалдықтарды жою мәселесі полимерлерді жабық жүйеде қайта өңдеудің және қайта пайдаланудың жаңа тәсілдерін қажет етеді, сондықтан олар ешқашан қалдықтарға айналмайды.*

*Мақалада Қазақстан Республикасының кәсіпорындарында қолданылатын полимерлік қалдықтарды*

қайта өңдеу әдістеріне шолу жасалып, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, полимерлік қалдықтарды қайта өңдеу кезеңдері, пластикті, пластиктен жасалған бұйымдарды кәдеге жаратуға қойылатын талаптар ескерілген. Полимерлі қалдықтарды қайта өңдеуге арналған кейбір қосымша құрылғылар қарастырылып, пайдалануға ұсынылды.

**Түйінді сөздер:** полимерлі қалдықтар, қайта өңдеу, полимер, пластик, ұсақтағыштар

## METHODS OF PROCESSING POLYMER WASTE

**Abstract:** One of the most important environmental problems at present is the pollution of the environment with polymer waste. This problem plays an important role not only in the life of the population of the Republic of Kazakhstan, but also in the entire ecological system of the country. The amount of polymer waste is growing every year. Polymer waste clogs our cities and contributes to multiple health problems for humans and animals. More polymer waste is sent to special landfills. At the moment, there is a significant increase in the number of landfills. This situation has developed due to the lack of sorting points in many regions of the Republic of Kazakhstan. The solution to all these problems depends not only on the government, but also on ourselves. If we use less polymer products in our daily lives, recycle them, then we will make our environment cleaner. Nowadays, there are various ways to process and dispose of polymer waste, which have their advantages and disadvantages, and are being modernized. The problem of recycling polymer waste requires new ways to recycle and reuse polymers in a closed system so that they never become waste.

The article presents an overview of the methods of processing polymer waste used at enterprises of the Republic of Kazakhstan, their advantages and disadvantages, stages of processing polymer waste, requirements for recycling plastic, plastic products. Some additional devices for recycling polymer waste are considered and proposed for use.

**Key words:** polymer waste, recycling, polymer, plastic, shredders

Начиная с 1950-х годов производство полимерных изделий значительно возросло. Каждые 15 лет объем производимых полимеров удваивается. Мы можем заметить большое количество производимых полимеров в нашей повседневной жизни. Полимерные изделия можно найти во многих местах нашего современного мира: в наших домах, в автомобилях, работе, в электронике, в детских игрушках, в садах...

Мы начали сталкиваться с проблемой утилизации полимерных отходов, но полимеры настолько укоренились в нашей жизни, что их нелегко устранить.

Одним из самых уважаемых способов остановки производства полимеров является переработка уже произведенных полимерных изделий и использование их для производства новых продуктов. В последние годы переработка полимерных отходов стала более продвинутой и более эффективной.

К счастью, многие виды полимерных отходов можно переработать в новые продукты. Переработка полимерных отходов уменьшает нашу потребность в большом количестве ископаемого топлива, экономит энергию, пространство для свалок и выбросы углекислого газа и других парниковых газов.

По сравнению с европейскими странами, Казахстан перерабатывает лишь 3% полимерных отходов, в то время когда страны Европы перерабатывают более 20% полимерных отходов. В настоящее время в Казахстане действует более 130 предприятий по переработке полимерных отходов, большинство которых задействовано в Алматинской области. Однако количество предприятий растет с каждым годом.

Некоторые компании сотрудничают с ресторанами и кафе, гипермаркетами и магазинами, пунктами приема пластика, что дает им возможность перерабатывать боль-

ше полимерных отходов. На предприятиях Казахстана в целях переработки полимерных отходов используются технологии гранулирования, дробления и пиролиза.

Все методы сводятся к упрощенным этапам и их нельзя назвать высокоэффективными.

Пиролиз является наиболее выгодным методом переработки полимерных отходов, так как этот метод позволяет получать не один, а несколько товарных продуктов одновременно. Возможно использование образующегося газа для поддержания работы оборудования [1]. Основным преимуществом метода пиролиза является необязательная тщательная сортировка.

Также существуют следующие виды утилизации отходов полимерной природы:

- захоронение;
- сжигание;
- гидролиз;
- гликолиз;
- метанолиз;
- вторичная переработка.

Полимерные отходы утилизируются на специально отведенных для этого полигонах. Этот метод нерационален, так как предполагает постоянное загрязнение окружающей среды, при этом эти территории были полностью выведены из хозяйственного оборота на годы. С 1 января 2019г. в Казахстане введен запрет на захоронение пластиковых отходов на полигонах. В том же году был подписан Меморандум о введении платного использования полиэтиленовых пакетов [2].

В некоторых случаях полимерные отходы подвергаются сжиганию. Однако при сжигании некоторых полимерных отходов возможно образование токсичных веществ. К примеру при сжигании ПВХ образуются диоксины. Поэтому необходимо минимизировать сжигание отходов полимеров, используя иные методы утилизации отходов.

Гидролиз – это разложение исходного вещества путем взаимодействия с водой с образованием новых компонентов. Гликолиз представляет собой растворение каталитического агента при нагревании. По сравнению с ги-

дроллизом, гликолиз является более экономичным методом разделения полимеров [3].

Метанолиз считается одним из наиболее распространенных и экономически эффективных способов расщепления отходов. Этот процесс термической обработки осуществляется катализаторами при высоких температуре и давлении.

Благодаря переработке полимеров в настоящее время возможно получение вторсырья в целях повторного использования. Этот способ является наиболее приемлемым способом производства в Казахстане. С помощью применяемого метода механического рециклинга, который не требует дорогостоящего оборудования, процесс переработки можно проводить в месте накопления ПЭТ-отходов [4].

С экологической точки зрения наиболее приемлемым и универсальным методом переработки полимерных отходов является термическое разложение в высокотемпературной плазме до атомарного уровня с последующим разделением химических элементов, необходимых для синтеза новых материалов.

В настоящее время перспективными можно считать методы химической деструкции [5] (для получения низкомолекулярных продуктов) и биологические методы, но сегодня их практическое применение весьма ограничено из-за достаточно высоких требований к молекулярной однородности и чистоте отходов.

Основными методами переработки отходов термопластичных полимеров продолжают оставаться экструзионный или вальцево-прессовые методы, а также метод непрерывного литья под давлением, который был разработан специально для переработки материалов с неоднородными реологическими свойствами [5].

Экструзионный или вальцево-прессовый метод переработки полимерных отходов (отходов полиэтилена или поливинилхлорида) в изделия основан на том, что полимерный материал подается из бункера в барабан экструдера. Материал постепенно расплавляется энергией, вырабатываемой вращающимися винтами и нагревателями. Затем расплав-

ленный полимер выталкивается в формирующее отверстие головной части экструдера, которая преобразовывает полимер в необходимую форму, затвердевающую во время охлаждения.

Процесс получения изделий методом непрерывного литья под давлением заключается в непрерывной подаче полимерного вещества в формовочную полость охлажденной формы червячным прессованием, в котором оно затвердевает при заданном давлении. Процесс не требует предварительного гранулирования и позволяет материалу формировать достаточно однородную структуру в длинномерных изделиях открытого профиля со сложным поперечным сечением из высоконагруженных композиций и вторичных полимерных материалов при мягких температурных условиях.

Методом непрерывного литья под давлением можно получать доски, уголки, швеллеры и другие достаточно сложные открытые профили любой длины.

Переработка полимерных отходов разбивается на несколько отдельных этапов. Как правило, эти этапы остаются неизменными для большинства типов установок по переработке отходов, но некоторые этапы могут быть объединены или опущены в некоторых ситуациях.

#### Этап 1: Сбор полимерных отходов

Первый этап в процессе переработки – это сбор полимерных отходов, который должен быть переработан. Специальная лицензия на это не требуется.

Выполнение этого этапа полностью зависит от предприятий, ресторанов и обществности. Для его осуществления они должны утилизировать свои полимерные отходы правильно. Если полимерные отходы выбрасываются в обычные мусорные баки, то они не будут переработаны, поэтому крайне важно отделить обычные отходы от полимерных.

#### Этап 2: Сортировка

После того, как полимерные отходы собраны и транспортированы на перерабатывающий завод, следующим этапом будет сортировка.

Машины сортируют полимерные отходы в различных областях на основе множества свойств, которые часто зависят от объекта переработки или того, какой конечный продукт производится [6].

Они обычно сортируются несколькими общими способами: по типу полимера (материалу, из которого он сделан), цвету полимера или даже по тому как он был сделан. Это важно, потому что различные типы полимеров должны перерабатываться по-разному, и некоторые перерабатывающие предприятия способны перерабатывать только один тип полимера. Если неправильный тип полимера обрабатывается на неправильном объекте, это может снизить эффективность всего процесса и потребовать, чтобы вся партия была отправлена обратно для повторного использования.

#### Этап 3: Стирка

Как и в случае с одеждой, фруктами/овощами и многими другими вещами, полимерные отходы должны быть вымыты, прежде чем они будут подвергнуты дальнейшей обработке. Цель этого этапа – устранить загрязнение и все, что не сделано из полимера.

Большинство контейнеров и упаковок имеют клей или даже остатки пищи, которые должны быть удалены. Эти неполимерные отходы не могут быть переработаны и могут привести к тому, что конечный продукт будет иметь плохую структурную целостность [7].

#### Этап 4: Изменение размера

Изменение размера состоит из измельчения или гранулирования полимерных отходов на мелкие частицы. Это облегчает его обработку, изменение формы и транспортировку, если это необходимо [6].

Кроме того, это дает перерабатывающим предприятиям последнюю возможность удалить любые неполимерные отходы, которые прошли первые 3 этапа переработки. Это часто делается с помощью металлоискателей или магнитов, которые помогут удалить любой оставшийся металл в смеси.

Для измельчения полимерных отходов используются специальные измельчители. Рассмотрим некоторые из них.

**V-серия**  
Одношхтный Измельчитель



7.5~75 кВт

Рис. 1 – Одношхтный измельчитель

**Одношхтный измельчитель**

Измельчители с одним валом серии V (рис.1) – это машины для измельчения мелких и средних размеров пластика, подходящие для обработки широкого спектра материалов. Сырье подается через загрузочное окно, а измельченный материал под собственным весом выходит через профилированное сито. Созданные выходные продукты могут быть проданы как есть или отправлены на дальнейшую переработку с помощью дополнительного оборудования (грануляторы, брикетеры и т.д.).

**Двухвальный измельчитель**

Шредер серии W двухвальный (рис.2) широко используется в среднем, низкоскоростном и высоком крутящем моменте дробильного оборудования. Системы с двумя роторами отличаются более высокой степенью измельчения. Со стороны загрузки валы вращаются навстречу друг другу. На поверхность вала ротора может быть нанесен сварочный износостойкий слой, что сделает измельчитель более подходящим для легко изнашиваемого материала, чтобы повысить скорость использования и производительность истирания.

Этап 5: Идентификация и разделение полимеров

Идентификация и разделение полимеров – это когда теперь уже небольшие полимерные частицы тестируются для определения их качества и класса.

**W-серия**  
Двухвальный Измельчитель



Рис.2 – Двухвальный измельчитель

Первое качество, которое определяют – это плотность. Это делается путем плавления частиц в большом резервуаре с водой. Частицы менее плотные, чем вода, будут плавать, а более плотные - тонуть [4].

Далее определяется их воздушная классификация. Классификация воздуха – это официальный термин, обозначающий толщину или тонкость частиц. Это делается путем сбрасывания частиц в небольшую аэродинамическую трубу. Более мелкие кусочки полетят выше по туннелю, а более крупные останутся ниже.

Этап 6: Компаундирование

Заключительный этап процесса переработки часто считается самым захватывающим, потому что именно тогда полимерные частицы превращаются в переработанные материалы, пригодные для будущего производства. Компаундирование – это когда мелкие частицы разбиваются и расплавляются вместе в полимерные гранулы. Затем гранулы могут быть использованы в производстве других полимерных изделий [6].

За последние 10 лет все больше и больше продуктов начали производиться с использованием переработанных пластмасс. Эти продукты охватывают огромный ассортимент: от скейтбордов до многоразовых сумок и даже солнцезащитных очков [8]. Возможности для большего количества и различных видов переработанных пластиковых изделий практически безграничны.

Количество переработанных пластмассовых изделий постоянно растет. Это признак того, что люди все больше осознают негатив-

ное воздействие пластмасс на окружающую среду и преимущества их переработки.

### **Вывод**

Почти все полимерные изделия, которые мы используем, становятся отходом, и огромное количество в конечном итоге достигает наших океанов, рек и наземных мест обитания. Мы уже знаем, что эти отходы негативно влияют на наши природные экосистемы, и мы не можем позволить этому продолжаться.

Мы должны признать существование этой проблемы в целях ее дальнейшего устранения. Хорошим началом этой борьбы является переработка полимерных отходов с применением известных и доступных методов.

В данной статье был рассмотрен обзор методов переработки полимерных отходов, а также были рассмотрены некоторые измельчители и принцип их работы, этапы переработки полимерных отходов.

### **ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тимофеев Г.П., Тимофеева О.Г. К вопросу разработки системы управления твердыми бытовыми отходами в рамках устойчивого развития региона // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2. – Ч. 3. – С.286-289.
2. <https://www.zakon.kz/4939689-s-2019-goda-vstupayet-v-silu-zapret-na.html>
3. M.Y. Abdelaal, T.R. Sobahi, and M.S.I. Makki, "Chemical transformation of pet waste through glycolysis", Construction and Building Materials, vol. 25, no. 8, PP. 3267-3271, 2011.
4. Тимофеев Г.П., Носова И.Ю., Тулупова А.А. Перспективные технологии утилизации отходов резиновых изделий // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. – Курск, 2016. – С.377-382.
5. Патент РФ № 2045404. АС СССР № 1791019.
6. <https://www.plasgranltd.co.uk/how-is-plastic-recycled/>
7. <http://www.norcalcompactors.net/processes-stages-benefits-plastic-recycling/>
8. V. Sinha, M. R. Patel, and J. V. Patel, "Pet waste management by chemical recycling: A review", Journal of Polymers and the Environment, vol. 18, no. 1, PP.8-25, 2010.

**ҚАРАТАУ ФОСФОРИТТЕРІНІҢ ҚҰРАМЫНАН ТЕМІР ЖӘНЕ МАРГАНЕЦ  
ҚОСЫЛЫСТАРЫН БӨЛУ ЖӘНЕ КӨМІРТЕКТІ ТЕМІР-МАРГАНЕЦ  
ҚҰРАМДЫ НАНОБӨЛШЕКТЕРДІ СИНТЕЗДЕП АЛУ**

**САДИЕВА Х.Р., НУРЛЫБАЕВА А.Н., МАРХАБАТОВ Н.**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті*

*Аңдатпа:* Мақалада Қаратау фосфориттерінің құрамынан темір және марганец қосылыстарын бөліп алу үрдістері қарастырылған. Зерттеу жұмысы барысында Қаратау фосфориттері қалдықтарынан бөлінген темір-марганец қосылыстарын бөліп алып, «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесінде көміртекті темір-марганец құрамды нанобөлшектер алынды.

*Түйінді сөздер:* фосфор шикізаты, темір, марганец, атомдық-эмиссиялық спектроскопия, нанотүтікше

**РАЗДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА ИЗ СОСТАВА  
ФОСФОРИТОВ КАРАТАУ И СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ УГЛЕРОДНОГО ЖЕЛЕЗО-  
МАРГАНЦЕВОГО СОСТАВА**

*Аннотация:* В статье описан процесс отделения соединений железа и марганца из состава фосфоритов Каратау. Извлечено железо-марганецсодержащих соединений из отходов фосфоритов Каратау и получения наночастиц углеродных нанотрубок железа марганцевого состава методом «CN-CVD-100».

*Ключевые слова:* фосфорное сырье, железо, марганец, атомно-эмиссионная спектроскопия, нанотрубки

**SEPARATION OF IRON AND MANGANESE COMPOUNDS FROM KARATAU  
PHOSPHORITES AND SYNTHESIS OF CARBON IRON MANGANESE  
NANOPARTICLES**

*Abstract:* The article describes the process of separating iron and manganese compounds from the composition of Karatau phosphorites. Extracted iron-manganese-containing compounds from waste of Karatau phosphorites and preparation of carbon nanotubes of manganese iron composition by the "CN-CVD-100" method.

*Key words:* phosphoric raw materials, iron, manganese, atomic emission spectroscopy, nanotubes

Жамбыл облысындағы Қаратау кен орнындағы күрделі және тұрақты емес кендердің құрамы; біріншіден, зиянды қоспалардың және екінші кезекте – доломит қосылысы түріндегі магнийдің болуы кендерді экстракциялау тәсілі арқылы фосфор қышқылына тікелей өңдеу барысын қиындата түседі.

Қаратау кен орнының фосфоритті шикізатын бұл жағдайда сары фосфорға өңдеудің электротермиялық әдісінің кең таралуына басты себептердің біріне айналды. Сонымен қатар Қазақстан Республикасының Ақтөбе облысында Богданов және Шилісай кен орындары кездеседі. Бұл кендердің фосфориттері

электротермиялық өңдеу үшін әлеуетті көз ретінде қарастыра алады. Фосфорқұрамды кендердің орташа химиялық құрамы келесідей (%):  $P_2O_5$  -12; е.к.-53,36;  $CO_2$  -2,83; CaO-20,54;  $H_2O$  -0,85;  $TiO_2$  -0,07;  $SiO_2$  -52,34;  $Fe_2O_3$  -2,23; MnO-0,03 [1].

Фосфоритті өңдеу кезінде түзілетін қатты қалдықтардың құрамын атомды-эмиссиялық

спектроскопиялық талдау нәтижелері 1-кестеде көрсетіледі. Зерттеу келесідей жүргізілді: 250 мл конусты колбаға 2,5 г анықталатын заттан өлшеп алып, оған 5 мл дистилденген су, 50 мл азот және тұз қышқылын ( $HNO_3$  (65-68% масс.) –  $HCl$  (32-35% масс.) 1:3 қатынасында құйып тұнба ерігенше 30-40 минут қайнатылады, алынған ерітіндіні фильтр

**1 кесте – Қаратау фосфориттерінің құрамындағы элементтерді атомдық-эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен анықтау**

Сынама	Элементтің өлшемі (нм)	Концентрация	Өлшем бірлігі
Бастапқы фосфорит			
1	Se (196,026 nm)	0,38	mg/L
2	Zn (213,857 nm)	0,05	mg/L
3	Cd (228,802 nm)	0,02	mg/L
4	Sr (407,771 nm)	0,25	mg/L
5	Ba (455,403 nm)	0,12	mg/L
6	Cu (324,754 nm)	0,01	mg/L
7	Ni (352,454 nm)	0,00	mg/L
8	As (193,695 nm)	0,84 u	mg/L
9	Co (340,512 nm)	0,00 u	mg/L
10	Pb (405,781 nm)	0,06	mg/L
11	K (766,491 nm)	0,14	mg/L
12	Mo (379,825nm)	0,01	mg/L
13	Mn (403,076nm)	0,15	mg/L
14	Cr (425,433 nm)	0,04	mg/L
15	Al (396,152 nm)	1,66	mg/L

**2 кесте – Қаратау фосфориттерін өңдеу кезіндегі қатты қалдықтардың құрамын атомдық-эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен анықтау**

Сынама	Элементтің өлшемі (нм)	Концентрация	Өлшем бірлігі
Бастапқы фосфорит			
1	Se (196,026 nm)	0,29	mg/L
2	Zn (213,857 nm)	0,01	mg/L
3	Cd (228,802 nm)	0,01	mg/L
4	Sr (407,771 nm)	0,15	mg/L
5	Ba (455,403 nm)	0,01	mg/L
6	Cu (324,754 nm)	0,01	mg/L
7	Ni (352,454 nm)	0,03	mg/L
8	As (193,695 nm)	0,45u	mg/L
9	Co (340,512 nm)	0,00 u	mg/L
10	Pb (405,781 nm)	0,03	mg/L
11	K (766,491 nm)	0,04	mg/L
12	Mo (379,825nm)	0,00	mg/L
13	Mn (403,076nm)	0,02	mg/L
14	Cr (425,433 nm)	0,00	mg/L
15	Al (396,152 nm)	0,31	mg/L

қағазымен 250 мл өлшеуіш колбаға сүзеді. Фильтр қағазындағы тұнбаны ыстық сумен шайып, өлшеуіш колбаның белгісіне дейін дистилденген суды құяды. Алынған ерітіндіден 1 немесе 2 мл аликвота алып 100 мл өлшеуіш колбаға орналастырып, дистилденген суды белгісіне жеткізеді. Алынған ерітіндіні атомды-эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен зерттейді.

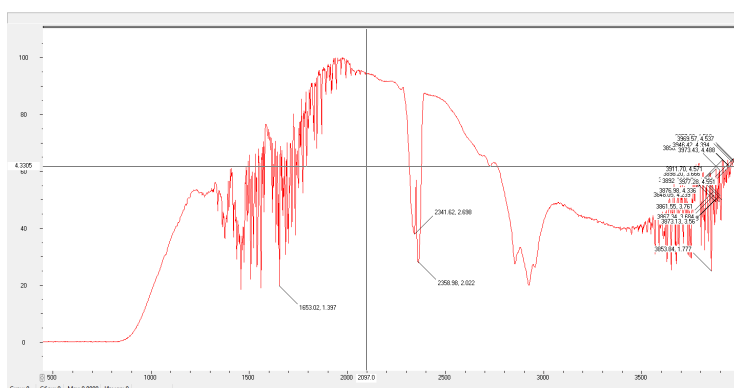
Сонымен қатар салыстырмалы түрде Қаратау фосфоритінің құрамындағы элементтер атомды-эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен зерттелінді. Зерттеу нәтижелері 2-кестеде берілген.

1-2 кестеде көрсетілгендей, Қаратау фосфориттерін өңдеу кезіндегі қатты қалдықтардың құрамын атомды-эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен анықтау кезіндегі сынамада элементтер аз мөлшерде екені байқалады. Аталған марганец концентрациясы  $\sim 0,15 \text{ mg/L} - 0,02 \text{ mg/L}$ -ға дейін төмендегені көрінеді.

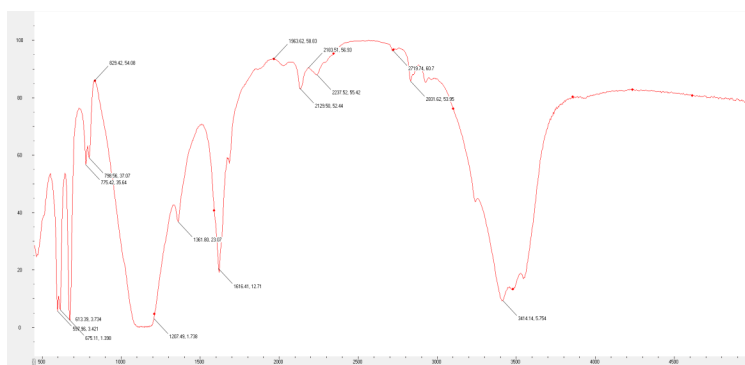
Фосфоритті өңдеу кезінде түзілетін қатты қалдықтардың құрамын ИҚ-спектроскопиялық әдісімен анықтау келесідей жүргізілді:

Қатты қалдықтан 0,003 г және 0,297 г калий бромнан аналитикалық таразыда өлшеп алып, 3-4 минут престеліп таблетка жасалынып ИҚ Фурье аппаратында түсірілді. Нәтижелері 1-2-суретте көрсетілген.

Суреттен көрініп тұрғандай,  $2454 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі әлсіз көрсетілген жолақтар фосфор қышқылына тән,  $643 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі орташа көрсетілген жолақтар сульфат иондарына тән. Әлсіз  $500 \text{ cm}^{-1}$ ,  $782 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктердегі жолақтар силикат ионына,  $1612 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі қарқынды,  $644 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі әлсіз жолақтар қатары – темір сульфаты ионына,  $550 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі қарқынды жолағы – стронций хлорид ионына,  $2184 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1328 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктердегі әлсіз жолақтары – марганец сульфаты ионына және  $598 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі күшті жолағы мен  $831 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1966,7 \text{ cm}^{-1}$  жиіліктегі әлсіз жо-



1 сурет – Эталон ретінде  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  алынды және осы эталон арқылы Қаратау фосфориттерін өңдеу кезіндегі қатты қалдықтардың құрамынан темір иондары 2-суреттен салыстырмалы түрде анықталды



2 сурет – Қаратау фосфориттерін өңдеу кезіндегі қатты қалдықтардың құрамын ИҚ-спектроскопиялық әдісімен зерттеу

лақтары – магний фосфаты ионына,  $608 \text{ см}^{-1}$  жиіліктегі күшті жолақтары алюминий сульфаты ионына сәйкес келеді. Жасалынған химиялық сараптамада көрсетілгендей, темір, марганец, алюминий, магний, стронций қосылыстары – сульфат, хлорид және фосфат қосылыстары түрінде болуы мүмкін.

Азот қышқылы мен тұз қышқылында ыдыратылған фосшикізат және фосфорит қалдықтарын сүзіп бөліп алған соң, сұйық фазаға 10-15% NaOH ерітіндісін құйған кезде, темір және марганец қосылыстары тұнбаға түседі. Содан кейін тұнбаны сүзіп, кептіріп темір және марганец құрамды қосылыстардан таблеткалар жасалынды. Осы таблеткаларды «ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесі құрылғысында «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу жүргізілді. Бұл құрылғы зерттелетін қосылыстарды немесе заттарды таблетка ретінде пресстеп дайындап көлемі  $1 \text{ см}^2$  болатын металл төсегіште (металлической подложке) қойып, көміртегі нанотүтікшесінде өсіруге негізделген. Дайын болған таблеткаларды көміртегі нанотүтікшесінде 1 сынаманы 7 минут уақытқа және 2 сынаманы 10 минутқа қойып, зерттеу жүргізілді. Құрылғы 3 жүйеден тұрады; 1) Өсіру жүйесі, 2) Вакуумдық жүйе, 3) Электрлі жүйе.

Өсіру камерасының ішкі диаметрі 55 мм ұзындығы 240 мм. Камераның ішкі жағында салқындатқыш ауа үрлейтін вентилятормен жабдықталған металл экраны болады. Зерттелетін заттарды диаметрі 1 дюйм (25 мм) болатын металл төсегішке орналастырады. Вакуумдық жүйе өнімділігі 100 л/мин форвакуумдық насоспен жабдыкталады. Өлшегіш

құрылғыда – диафрагменді вакуумметр орнатылған. Газдарды жіберу (беру) жүйесінде 2 газ өлшеуіш болады. Газ өлшеуіштер сутегі –  $H_2$  және метан –  $CH_4$  газдарының босатылуы (берілуін) қамтамасыз етіп отырады. Басқару жүйесіндегі вакуумдық айдау сенсорлы экран арқылы қолмен басқарылады.

1 Газды жіберу (беру) жүйесінде газды жіберу (беру) жылдамдығы бақылауда болады,  $100 \text{ см}^3/\text{секундта}$  сутегі мен метан газы жіберіліп отырады. Газ тәрізді азот технологиялық газды сұйылту үшін қолданады, газды жіберу жылдамдығы 20 л/минут болуы керек.

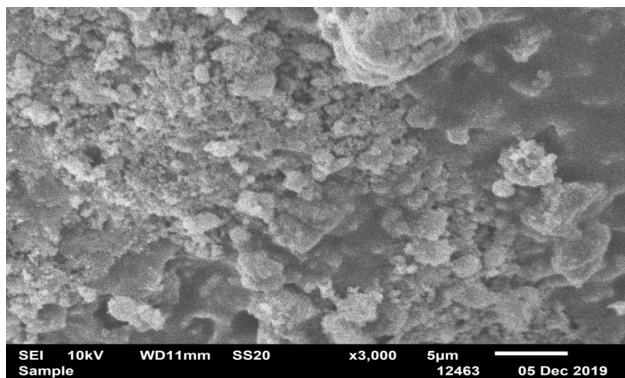
2 Төменгі болтты бұрап, кварцты шыны түтікшені орнату қажет. Төменгі болтты босатқан соң половинді фланец орнатылып, салқындатқыш вентилятор қосылады.

3 Құрылғыға зерттелетін затты орнатып көміртегі нанотүтікшені іске қосқан соң сенсорлы экранда «CN-CVD-100» әдісімен зерттеуге дайындығы сигнал арқылы белгілі болады.

4. Зерттеуге дайындалған заттарды металл төсегішке қойып, оны құрылғыға бекітіп, плазмамен жабдықталған кварцты шыны түтікшені көміртегі нанотүтікшесіне бағыттап іске қосқан соң, газ жіберу жүйесінен 260-280 кПа қысыммен метан газы беріледі,  $600^\circ\text{C}$  температурада метан газы жанып, сутегі ыдырайды, түзілген көміртегі темір төсегішке орнатылған зерттелетін заттың бетіне біртіндеп көміртегі қонып өсіп жетіледі. Дайындалған таблетканы көміртегі нанотүтікшесі құрылғысында «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу жүргізілді. Зерттелетін қосылыстарды металл төсегішке орналастырып, көміртегі нанотүтікшесінде 15 минут

### 3 кесте – Тұз қышқылында ыдыратылған және темір-титан құрамды фосфошикізат сынамасын рентгенфазалық әдіспен зерттеу нәтижелері

Спектрлер	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Ti	Fe	Ni	Барлығы
Спектр 1	12,69	38,63	13,78	1,81	1,99	0,22	4,63	0,07	7,47	13,95	0,07	4,64	0,07	100
Спектр 2	17,68	34,83	13,04	1,02	1,54	0,39	4,14	0,20	9,87	12,08	0,32	4,69	0,19	100
Спектр 3	16,42	34,98	14,52	1,26	1,59	0,21	4,49	0,07	11,25	11,81	0,05	3,19	0,16	100
Арифметикалық ортасы	15,60	36,15	13,78	1,36	1,70	0,27	4,42	0,11	9,53	12,61	0,15	4,17	0,14	100



3 сурет – «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген

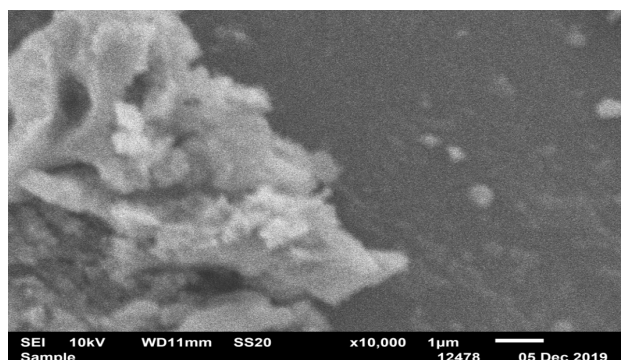
уақытқа қойылып 280 кПа қысыммен метан газы беріледі, 600°C температурада метан газы жанып, сутегі ыдырайды. Түзілген көміртегі темір төсегіште орнатылған зерттелетін заттың бетіне біртіндеп көміртегі қонып өсіп жетіледі. Зерттеу нәтижесінде таблетканың түсі қара түске өзгерді. Таблетканы құрылғыдан түсіріп, суытып, растрлы электрондық микроскопиялық әдіспен оның микроқұрылымын және рентгентфазалық құрамын зерттеу жұмысы жүргізілді.

3-суретте «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген тұз қышқылында ыдыратылған және натрий гидроксидімен тұнбаға түсірілген фосшикізат сынамасын растрлы электронды микроскоппен түсірілген микроқұрылымы 3000 есе үлкейтілген 5 нанометрмен өлшеніп көрсетілген.

Көміртегі ферромарганец өндірісі бұрын домна пештерінде жүргізілген, алайда электр қуаты арзандаған сайын, кокс тапшылығы жоғарылап, марганец кені өндірісі төмен жә-

не сапасы төмен өндіріске тартылу қажеттілігі туындады, ферромарганец электр пештерінде ерітілді [2].

Көміртекті ферромарганец екі жолмен шығарылады – ағынды және ағынсыз. Осы әдістердің екіншісінің бірқатар артықшылықтары бар, атап айтқанда кеннен марганец алу және жоғары балқытылған пештердің өнімділігі жоғарылайды, тазартылған ферромарганецте фосфордың мөлшері төмен, өйткені оны балқыту кезінде пайда болған марганец қожын пайдалану кезінде көміртегі ферромарганецін өндірудің ағынсыз әдісі. Алайда нашар кендерден көміртегі ферромарганецті тек флюс әдісімен алуға болады, өйткені бұл рудада кремний көп. Ферромарганецті балқыту кезінде MnO марганецінің азаюы редуция процестерінде үлкен роль атқарады, өйткені жоғары марганец оксиді жоғары температурада ыдырайды: 480°C, марганец пероксиді MnO<sub>2</sub> реакция арқылы марганец оксидіне айналады:



4 сурет – «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген

**4 кесте – Тұз қышқылында ыдыратылған және темір-марганец құрамды фосфориттің қалдығы сынамасын рентгентфазалық әдіспен зерттеу нәтижелері**

Спектрлер	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Барлығы
Спек1	21,51	22,81	14,90	1,26	1,58	0,20	4,89	0,49	14,58	13,58	0,00	0,11	3,63	0,41	100
Спек2	21,80	22,51	14,82	1,29	1,62	0,22	4,21	0,46	15,44	13,00	0,10	0,11	4,07	0,35	100
Спек 3	21,35	24,15	14,56	1,17	1,67	0,23	4,38	0,32	14,04	12,79	0,05	0,06	3,96	0,28	100
Ариф ортасы	21,89	23,16	14,76	1,24	1,62	0,22	4,49	0,42	14,69	13,14	0,05	0,09	3,89	0,34	100

4-суретте «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген тұз қышқылында ыдыратылған және натрий гидроксидімен тұнбаға түсірілген фосфорит қалдығы сынамасын растрлы электронды микроскоппен түсірілген микроқұрылымы 10 000 есе үлкейтілген 1 нанометрмен өлшеніп көрсетілген.

$2\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + 1/2 \text{O}_2$ ;  $950^\circ\text{C}$ -та  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  марганец оксиді азот оксидіне реакция арқылы ыдырайды:

$3\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Mn}_3\text{O}_4 + 1/2 \text{O}_2$ , ал  $777^\circ\text{C}$ -та марганец оксиді реакция нәтижесінде марганец оксидіне толығымен айналады:

$\text{Mn}_3\text{O}_4 \rightarrow 3\text{MnO} + 1/2 \text{O}_2$ ; Жоғары марганец оксиді төмен температурада көміртегі тотығымен толықтай азаяды.  $\text{MnO}_2$ -нің  $\text{CO}$ -мен әрекеттесуі кезінде  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  өте тез қалыптасады,  $70\text{-}105^\circ\text{C}$  температурада,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  марганец оксиді  $\text{CO}$ -ны шамамен  $200^\circ\text{C}$  қалпына келтіре бастайды. Ол көміртек тотығымен және марганец  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ -мен азаяды, бірақ  $\text{MnO}$  технологиялық температурада көміртегі тотығымен азаяды. Көміртекпен жоғары марганец оксидтерінің тікелей төмендеуі  $250\text{-}300^\circ\text{C}$  температурадан басталып,  $600\text{-}800^\circ\text{C}$  температура аралығында аяқталады. Марганец оксиді реакциялармен төмендейді:

$2\text{MnO} + 2\text{C} = 2\text{Mn} + 2\text{CO}$ ;  $G^\circ = 575\ 270 - 339,77\ \text{T Дж/моль}$  ( $137\ 400 - 81,157$  кал/моль);

$2\text{MnO} + 8/3\text{C} = 2/3 \text{Mn}_3\text{C} + 2\text{CO}$ ,  $G^\circ = 510\ 814 - 340,82$  Дж/моль ( $122\ 000 - 81,407$  кал/моль), осы реакциялардан азаюдың теориялық температурасы  $1420^\circ\text{C}$  және  $1227^\circ\text{C}$ -қа тең. Сондықтан марганец оксиді көміртегімен тотықсызданған кезде, карбидтің азаюына реакциясы қорытпадағы көміртектің жоғары мөлшерін анықтайтын болады.

Темір марганец құрамды көміртекті наноқұрылымды таблеткаларға термографиялық сараптама жасалынды. №1 және №2 үлгілерге термиялық талдау МОМ компаниясының Ф.Паулик, Дж.Паулик және Л.Эрдей жүйесінің Q-1000 / D дериватографында (Будапешт) жүргізілді. Түсіру ауада,  $20\text{-}1000^\circ\text{C}$  температурада болды, қыздыру режимі динамикалық болды ( $dT / dt = 10$ ), сілтеме субстанциясы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  кальцийленді, сынаманың салмағын өзгерту үшін шкаланың

құнды бөлуімен  $500$  мг өлшенді -  $500$  мкВ. Баланстың сезімталдығы  $100$  мг, басқа өлшеу жүйелерінің сезімталдығы:  $\text{DTA} = 250$  мкВ,  $\text{DTG} = 500$  мкВ,  $\text{TG} = 500$  мкВ  $\text{T} = 500$  мкВ.

Қолданылған әдіс қыздырғанда пайда болатын заттың термохимиялық және физикалық параметрлеріндегі өзгерістерді тіркеуге негізделген. Үлгінің термохимиялық күйі қисықтармен сипатталады:  $\text{T}$  (температура),  $\text{DTA}$  (дифференциалды термоаналитикалық),  $\text{TG}$  (термогравиметриялық) және  $\text{DTG}$  (дифференциалды термогравиметриялық), соңғы қисық  $\text{TG}$  функциясының туындысы болып табылады. Талдау ауада жүргізілді, температура диапазоны  $20$ -дан  $1000^\circ\text{C}$ -қа дейін, қыздыру режимі сызықты болды ( $dT/dt=10$ ), анықтамалық зат  $\text{Al}_2\text{O}_3$  кальцийленді. [3]

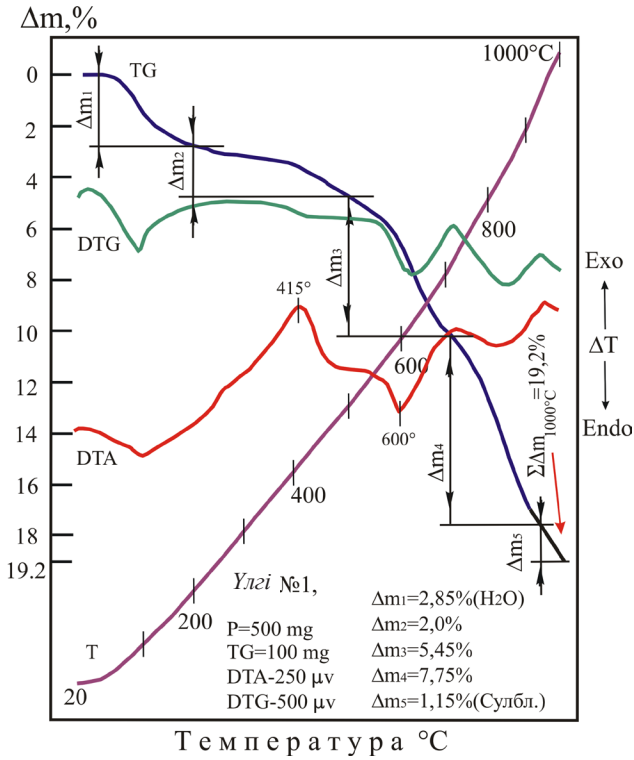
Дифференциалды термиялық және термогравиметриялық зерттеулердің тақырыбы үлгінің термиялық әрекетін анықтау және оның құрамын анықтау болды. Алғашқы жақындау кезінде зерттелетін үлгінің термохимиялық параметрлері оның құрамы мен термохимиялық қасиеттерінің тұтынушының мәліметтеріне сәйкес келуін айқындады.

Ұнтақ үлгілеріндегі минералдарды сәйкестендіру  $\text{TG}$  - сызықтарының тиісті термогравиметриялық көрсеткіштерін қолдана отырып, эндо және экзотермиялық эффект интенсивтілігінің жылу қисықтарының морфологиясына және сандық мәндеріне сәйкес жүргізілді.

Талдау нәтижелері пайдалы қазбалар мен тау жыныстарының жылу қисықтарының атластарында келтірілген мәліметтермен салыстырылды және басқа сілтеме көздерінде көрсетілген және осы зерттеулерді жүргізген зертхананың деректер банкінде жинақталған мономинералды үлгілердің термиялық сипаттамасымен салыстырылды.

№1 динамикалық қыздыру режимінде ( $1/1$  қоспасы) термиялық қисықтарда әртүрлі қосындылардың эндотермиялық жойылуынан және үлгі компонентінің экзотермиялық тотығу реакциясынан туындаған бірқатар көріністер келтірілген, 5-сурет.  $20\text{-}200^\circ\text{C}$  аралығында  $\text{DTA}$  қисық сызығында атап өтілген эндотермиялық әсер ұсақ ұнтақтың бөл-

шектерімен сіңірілген молекулалық судың атмосферасына ұсақ судың түсуіне байланысты.

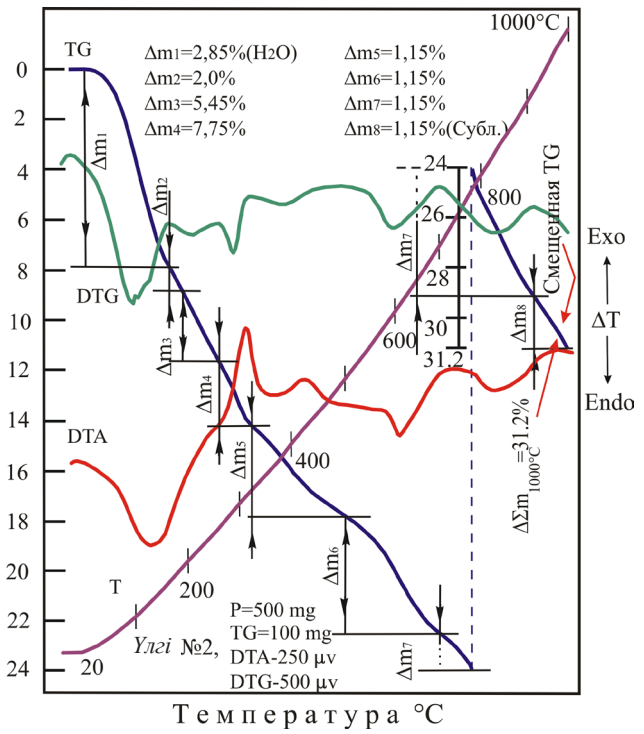


5 сурет – №1 сынама үлгісінің дериватограммасы

Бұл жағдайда салмақ жоғалту үлгінің салмағы бойынша 2,85% құрайды. Әрі қарай, 200-500°C диапазонда, сынама компонентінің ыдырауы нәтижесінде ұнтақтың салмағы тағы 2% төмендейді. Осы температура диапазонында DTA қисығы 415°C температурада экзотермиялық әсер береді. Темірдің және марганец оксидінің тотығуынан реакция болуы мүмкін, олар үлгінің ыдыраған құрамдас бөлігі болып табылады. Сынаманы 1000°C-қа дейін қыздыру 500-700 және 700-940°C аралығындағы екі айқын эндотермиялық көрін-

істерге әкеледі. Осы температура диапазонында DTA және DTG қисық сызықтары қираған құрылымдардың қосындылары жүйесінен шығарылу нәтижесінде пайда болатын 600 және 840°C төмен екі шыңды белгіледі. Сынамның салмақ жоғалтуы сәйкесінше  $\Delta m_3 = 2$  және  $\Delta m_4 = 5.45\%$  болды, 5-сурет, №5 кестеде көрсетілген. Сонымен 940-1000°C диапазонында болатын үлгінің массасының соңғы төмендеуі ( $\Delta m_5 = 2\%$ ) қатысушы заттың термальді сублимациясымен тікелей байланысты.

№2 үлгі (бастапқы), жоғарыда сипатталған объектінің антидеривативті түрі, оның жылу қисықтарында №1 үлгімен бір-



6 сурет – №2 (бастапқы) сынама үлгісінің дериватограммасы

**5 кесте – №1 сынама үлгісінің 20-1000°C температура аралығындағы (ТГА-термографиялық) көрсеткіштері**

Салмақ жоғалтудың реттілігі	Салмақ жоғалту мөлшері, %	Қыздырудан кейінгі ұшып кететін өнімдер	Ыдырау сатысының температуралық диапазоны, °C
Δm <sub>1</sub>	2.85	H <sub>2</sub> O	20-200
Δm <sub>2</sub>	2.0		200-500
Δm <sub>3</sub>	5.45		500-700
Δm <sub>4</sub>	7.75		700-940
Δm <sub>5</sub>	1.15		940-1000
ΣΔm <sub>1000°C</sub>	19.2	H <sub>2</sub> O+...	20-1000

**6 кесте – №2 бастапқы сынама үлгісінің 20-1000°C температура аралығындағы TGA (термографиялық) көрсеткіштері**

Салмақ жоғалтудың реттілігі	Салмақ жоғалту мөлшері %	Қыздырудан кейінгі ұшып кететін өнімдер	Ыдырау сатысының температуралық диапазоны, °C
Δm1	7.9	H <sub>2</sub> O	20-165
Δm2	0.95		165-190
Δm3	2.8		190-260
Δm4	2.0		260-325
Δm5	3.65		325-500
Δm6	4.65		500-700
Δm7	6.55		700-780
Δm8	2.1	Сублимация	780-1000
ΣΔm1000°C	31.2	H <sub>2</sub> O+ ?+Субл.	20-1000

дей көріністер көрсетті. Ерекшеліктері – бұл жүйелер қызған кезде эндо және экзотермиялық реакциялар дамуының әртүрлі қарқындылығы және DTA қисық сызығында 310°C-та басқа экзотермиялық шыңның пайда болуы, 6-суретте берілген. Осы температура аймағындағы көрсетілген шың әдетте гетитті (FeO·OH) береді, ол алдымен гидроксидті жоғалтады, содан кейін жоғары оксидтерге дейін тотықтырады.

Органикалық көміртекті аталған температураға жақын жерде жағу мүмкіндігі жоққа шығарылмайды, немесе басқа тұжырымды растау үшін RFA басқару элементін анықтау қажет. Қалған барлық реакциялар №1 үлгі қыздырылған кезде пайда болатын процестерге сәйкес келеді. Айырмашылығы тек №6 кестеде көрсетілген термогравиметриялық қисықтың көрсеткіштері болуы мүмкін.

Қорытындылай келе, термиялық анализдің алынған нәтижелері рентген фазалық талдаудың (XRD) деректері болған кезде анағұрлым маңызды болатындығын атап өту

керек. Бұл объектінің кристалдық құрамын анықтайды және (DTA және DTG анықтау нәтижелері бойынша) үлгі компоненттерінің бұзылу процестерін айқындауға ықпал етеді.

Қаратау фосфориттерін өңдеу кезіндегі түзілетін қатты қалдықтарға жасалынған химиялық сараптамада көрсетілгендей – темір, марганец қосылыстары – сульфат, хлорид және фосфат қосылыстары түрінде болуы мүмкін. Осындай болжамды негізге ала отырып, Қаратау фосфориттерін өңдеу кезінде түзілетін қатты қалдықтар құрамынан темір, марганецтің қосылыстарын бөлу мүмкіншілігін және оның құрылымын өзгерте отырып, ұтымды технологиясын жасау үшін арнайы зерттеулерді жүргізудің қажеттілігі туындайды. Сондықтан дайындалған көміртекті нанотемір-марганец қосылыстарынан ферромарганец қорытпасын алу кезінде балқу температурасын 940°-1000°C температураға дейін төмендетіп, электр энергияны үнемдеуге болады деген ұсыныс жасаймыз.

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР**

1. Х.Р. Садиева, Д.Г. Балтабаева, А. Елеукен, Н. Толеген, Г. Рыспаева//Разложение фосфоритов Каратау минеральными кислотами и извлечение редкоземельных элементов из вторичных концентратов//Фонд Первого Президента РК-ЕЛБАСЫ, XI Между-я науч.конф-я, Инновационные развитие и востребованность науки в современном Казахстане, 2017 г. стр.55-59
2. Дереккөз: [http://emchezgia.ru/ferrosplavy/22proizvodstvo\\_FeMn.php](http://emchezgia.ru/ferrosplavy/22proizvodstvo_FeMn.php) MCH-ZGI.RU ©
3. Иванова В.П. и др. Термический анализ минералов и горных пород. Ленинград. 1974 г. – 398 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СТАНДАРТУ ЕВРО-5

САҚТАПБЕРГЕНОВА А.А., САТАЕВА А.А., ТОЛСТОВА А.Р.

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** Настоящая статья посвящена изучению факторов, влияющих на качество и выход товарного автомобильного бензина на Атырауском НПЗ, соответствующего требованиям стандарта Евро-5. На основании проведенных расчетных данных (материальный баланс) для установок Атырауского НПЗ, включающих четыре основных процесса, показано: увеличение производительности установки каталитического крекинга до 3 млн. т/год (при действующей производительности 2,4 млн. т/год) способствует увеличению выхода бензина на 25%; внедрение дополнительного реактора гидрирования бензола на установке изомеризации легкой нефти позволит снизить содержание бензола в высокооктановом компоненте автомобильного бензина- изомеризата до 1%; увеличение производительности установки каталитического риформинга до 1,3 млн. т/год (при действующей производительности 1 млн. т/год) позволит повысить выход риформата на 30% и предотвратить нежелательные процессы, как образование кокса и сухого газа.

**Ключевые слова:** бензин, стандарт Евро-5, риформат, изомеризат, каталитический крекинг, изомеризация, гидроочистка, нефтя, каталитический риформинг

## ЕВРО-5 СТАНДАРТЫНА СӘЙКЕС АВТОМОБИЛЬ БЕНЗИНІНІҢ ӨНІМДІЛІГІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ АНЫҚТАУ

**Аңдатпа:** Бұл мақала Атырау мұнай өңдеу зауытындағы Евро-5 стандартының талаптарына сай келетін тауарлық бензиннің сапасы мен өнімділігіне әсер ететін факторларды зерттеуге арналған. Төрт негізгі қондырғыны қамтитын Атырау мұнай өңдеу зауытының қондырғылары үшін есептік мәліметтер негізінде (материалдық баланс) көрсетілген: каталитикалық крекинг қондырғысының өнімділігінің жылына 3 миллион тоннаға дейін артуы (пайдалану қуаты 2,4 миллион тонна / жыл) бензин шығымының артуына 25%-ке ықпал етеді; жеңіл нефтя изомерлеу қондырғысына бензолды гидрлеу үшін қосымша реакторды енгізу автомобиль бензинінің изомератының жоғары октанды құрамындағы бензолды 1% -ке дейін төмендетуге мүмкіндік береді; каталитикалық риформинг қондырғысының өнімділігінің жылына 1,3 миллион тоннаға дейін көбеюі (өндірістік қуаттылығы жылына 1 миллион тонна болған кезде) қайта өңделген өнімді 30% арттырады және кокс пен құрғақ газдың пайда болуы сияқты жағымсыз процестердің алдын алады.

**Түйінді сөздер:** бензин, Евро-5 стандарты, реформат, изомерат, каталитикалық крекинг, изомерлеу, гидротазалау, нефтя, каталитикалық риформинг

## STUDY OF FACTORS AFFECTING ON AUTOMOTIVE GASOLINE PRODUCTION ACCORDING TO THE EURO-5

**Abstract:** This article is devoted to the study of factors affecting the quality and yield of automotive motor gasoline at the Atyrau refinery that meets the requirements of the Euro-5 standard.

*Based on the calculated data (material balance) for the units of the Atyrau refinery, which include four main processes, we obtained the following results: an increase in the productivity of the catalytic cracking unit up to 3 million tons / year (with an operating capacity of 2.4 million tons / year) contributes to an increase in the yield of gasoline by 25%; the introduction of an additional reactor for benzene hydrogenation at the light naphtha isomerization unit will reduce the benzene content in the high-octane component of motor gasoline isomerate to 1%; an increase in the productivity of the catalytic reforming unit up to 1.3 million tons / year (at an operating capacity of 1 million tons / year) will increase the reformate yield by 30% and prevent undesired processes such as the formation of coke and dry gas.*

**Key words:** gasoline, Euro-5 standard, reformate, isomerate, catalytic cracking, isomerization, hydrotreating, naphtha, catalytic reforming

Нефтеперерабатывающая промышленность в Казахстане стремится к мировой тенденции перехода на экологические виды топлива. В связи с этим соответствие получаемого бензина экологическому стандарту, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах – Евро-5, является актуальным вопросом [1].

Международные показатели наглядно демонстрируют, что одним из более действенных методик понижения вредоносных выбросов транспорта считается поэтапный переход на использование автотранспортных средств и топлив, отвечающих больше строгим экологическим нормативам. Это сопровождается ужесточением требований к таким показателям, как антидетонационные свойства, степень испарения автомобильных бензинов, концентрация серы, зольных присадок, олефиновых, некоторых ароматических углеводородов и так далее. Эти ограничения являются также последствиями требований по обеспечению эффективной и надежной работы нынешнего автомобильного транспорта, а также исходя из стандартов состава топлив, влияющих на выделение токсичных веществ, загрязняющих окружающую среду. Кроме этого, на данный момент выявляется необходимость повышения октановых характеристик топлив, так как использование бензинового топлива с высоким октановым числом понижает расход топлива, тем самым повышая эффективность машинных двигателей без увеличения их габаритов [1].

Как известно, согласно требованиям Евро-5, бензин должен иметь следующие па-

раметры: октановое число по моторному методу не менее 95, содержание серы – 10 ppm, объемная доля бензола не более 1%.

Целью данного исследования является анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта – товарного автомобильного бензина, соответствующего стандартам Евро-5. На Атырауском НПЗ были исследованы четыре основных процесса: каталитический крекинг тяжелых остатков, гидроочистка нефти, каталитический риформинг и изомеризация легкой нефти, оптимизация которых позволит увеличить выход товарного автомобильного бензина до 1 547 242 тонн в год с минимальным негативным влиянием на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Расчет оптимального соотношения катализатора к сырью для повышения выхода светлых фракций на установке каталитического крекинга тяжелых остатков.

2. Получение высокооктанового компонента бензина - изомеризата, соответствующего стандарту Евро-5 путем уменьшения содержания бензола до 1%.

3. Определение диапазона оптимальных технологических параметров, способствующих высокому выходу реформата на установке каталитического риформинга.

4. Оптимизация режимов работы установок с использованием компьютерной моделирующей системы.

Установка каталитического крекинга способствует углублению переработки нефти и используется для получения высокоок-

тановых бензинов. По данным научных работ [3] одним из основных путей повышения рентабельности процесса является повышение конверсии сырья, которая может быть повышена при изменении рабочих условий на установке – повышение температуры в реакторе и соотношения катализатор:сырье. Исследования [2] показывают, что уменьшение времени реакции позволяет, повысив соотношение катализатор:сырье, для повышения выхода бензиновой фракции вплоть до 60-65%.

В силу того, что по нормам ЕВРО для автомобильных бензинов предусмотрено снижение содержания ароматических углеводородов и бензола процесс каталитической изомеризации получает широкое распространение в нефтеперерабатывающей промышленности. Согласно данным [5,6] каталитическая изомеризация n-парафинов в присутствии водорода с последующим образованием смеси разветвленных насыщенных углеводородов с повышенным октановым числом относится к одному из наиболее перспективных способов улучшения характеристик бензина. Это связано с введением ограничений на содержание бензола и ароматических углеводородов в товарных автомобильных бензинах. Таким образом, уменьшение содержания бензола в изомеризате является наиболее актуальной проблемой.

В настоящей работе проведены расчеты материальных балансов для установок Атырауского нефтеперерабатывающего за-

вода, включающих четыре основных процесса: каталитический крекинг тяжелых остатков, гидроочистка нефти, каталитический риформинг и изомеризация легкой нефти. Результаты расчетов представлены в таблицах 1-6. При выполнении поставленных задач установлено, что при увеличении производительности установки каталитического риформинга на 30%, необходимо поддерживать качество риформата на том же уровне. Авторы исследования [4] доказывают прямо пропорциональную зависимость октанового числа от роста температуры в реакторе. Однако, негативным сценарием при увеличении температуры является увеличение степени коксообразования и выхода сухого газа [7]. Поэтому была поставлена задача определить параметры, которые позволят предотвратить данные побочные реакции и получить высокий выход риформата для улучшения качества бензина до Евро-5.

Для оптимизации процесса каталитического крекинга, которая основывается на изменении технологических параметров: температурный режим, давление, увеличение загрузки сырья и нахождение соотношения компонентов сырья необходимо исследование оптимального соотношения сырья к катализатору. Результаты материального баланса, представленного в таблице 1, показали, что увеличение производительности установки каталитического крекинга на новую мощность (до 3 млн. т/г) способствует повышению выхода бензина на 25%, что сос-

**Таблица 1 – Материальный баланс установки каталитического крекинга**

№ п/п	Наименование продуктов	Коэффициент выхода	
		% мас	т/год
<b>I</b>	<b>Сырье</b>		
1	Атмосферный остаток	44.9%	1358562,12
2	Вакуумный газойль	24.47%	740403,96
3	Тяжелый газойль коксования	7.82%	236616,36
4	Тяжелый газойль	16.28%	492592,32
5	Тяжелый рафинат	2.57%	77762,52
6	Тяжелые ароматические углеводороды	1.73%	52349,76
7	Отходящий газ из установки замедленного коксования	2.23%	67478,28
	<b>Итого</b>	<b>100%</b>	<b>3025747,8</b>

П	Продукты		
	Топливный газ	3.58%	108326,16
	СУГ	17.71%	535857,96
	Бензин	51.60%	1561286,04
	ЛГКК	12.15%	367630,92
	ТГКК	2.80%	84717,96
	Отфильтрованный остаток	4.71%	142516,44
	Кокс	7.12%	215434,68
	Потери	0.33%	9986,4
	Итого	100%	3025747,8

Таблица 2 – Характеристика получаемого бензина каталитического крекинга

№	Техническая характеристика и единица измерения	Величина показателя	Метод анализа
1	2.1 Состав,% мас:		ASTM D 1160
	- изо-бутан	0.02	
	- бутан	0.07	
	- изо-бутен	0.02	
	- 1-бутен	0.03	
	- цис-2-бутен	0.19	
	- транс-2-бутен	0.17	
	- 1-3-бутадиен	0.01	
2	Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	733	ASTM D 1298
3	Сера общая, ppm мас.	548	ASTM D 2622
5	Расчетное значение ИОЧ	<u>91.8</u>	ASTM D 2699
6	Расчетное значение МОЧ	79.6	ASTM D 2700

тавит 1561286,04 т/год по теоретическим показателям.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных согласно ГОСТ: ASTM D 1160, ASTM D 1298, ASTM D 2622 в Центрально-заводской лаборатории на АНПЗ, необходимые для подтверждения качества и его фракционного состава для того, чтобы регулировать технологические параметры процесса, представлены в таблице 2.

Важно, что октановое число выходящего бензина составляет 91.8. Наша работа нацелена на получение бензина ЕВРО-5, где ОЧ равно значению 95. Именно это доказывает необходимость доочистки продукта на установке гидроочистки. На установку гидроочистки поступает 39.7% продуктового бензина с установки каталитического крекинга.

Секция гидроочистки нефти «NaphthaHT» предназначена для очистки смеси прямогонной нефти, легкого рафината, среднего бен-

зина каталитического крекинга, нефти коксования с УЗК, бензин-отгона с КУГБД-1 и бензин-отгона с секции PRIME-D от серо-, азот- и кислородосодержащих углеводородов в присутствии водорода.

Согласно данным таблицы 1 увеличение производительности установки гидроочистки нефти до 2 млн. т/г возможно за счет увеличения бензина каталитического крекинга на 10%, также прямогонного бензина с парка на 19% (таблица 3,4).

Гидроочищенная тяжелая нефтя, являющаяся сырьем для процесса каталитического риформинга будет достигать 1117100 тонн в год.

Гидроочищенная легкая нефтя за счет увеличения потока прямогонного бензина на 19% и бензина каталитического крекинга на 10% будет составлять 457 800 тонн в год.

За счет увеличения потока легкой нефти количество высокооктанового компонен-

**Таблица 3 – Материальный баланс установки гидроочистки нефти**

Наименование	% мас	т/год
<b>Сырье</b>		
Бензин с УЗК	8,3	166000
Прямогонный бензин	40,1	802000
Легкий рафинат с КПА	4,4	88000
Бензин с КУГБД	2,9	58000
Бензин от PRIME D	3,4	68000
Средний бензин кат.крекинга	39,7	794000
Водородсодержащий газ	1,2	24000
ВСЕГО	100	2000000

**Таблица 4 – Материальный баланс установки гидроочистки нефти (продолжение)**

Наименование	% мас	т/год
<b>Продукты</b>		
Легкая нефтя:		
На изомеризацию	18,21	364200
КУГБД	4,98	99600
Тяжелая нефтя		
На КПА	55,9	1118000
в ЛГ	17,92	358400
УВ газ на ГФУ	2,49	49800
Потери	0,5	10000
ИТОГО	100	2000000

та товарного бензина установки изомеризации лёгкой нефти – изомеризата составит 422748,8 тонн в год. Это на 44% больше текущей производительности на Атырауском НПЗ (таблица 5).

Согласно данным аналитического контроля действующей установки изомеризации на Атырауском НПЗ содержание бензола в изомеризате превышает нормы, которые будут соответствовать стандарту Евро-5 (таблица 6).

**Таблица 5 – Материальный баланс установки изомеризации легкой нефти**

Наименование	% масс.от сырья	т/год
<b>Сырье</b>		
Легкая нефтя	100	457800
ВСГ	0,85	3891,2
Всего:	100,85	461691,2
<b>Продукты</b>		
Изомеризат	92,34	422732,52
СУГ в парк хранения	3,28	15015,84
Отходящий газ в топливную сеть	4,38	20051,64
Потери	0,85	3891,2
Всего:	100,85	461691,2

**Таблица 6 – Данные аналитического контроля изомеризата на АНПЗ**

Наименование	ОЧИ	ОЧМ	Парафиновые у/в % масс.	Изопарафиновые у/в % масс.	Олефиновые у/в % масс.	Нафтеновые у/в % масс.	Бензол % масс.	Проверка на 100% % масс.
Изомеризат на выходе с установки	86,9	85,1	13,1	57,3	24,5	5	<b>4,6</b>	100

Основываясь на данных аналитического контроля изомеризата выявлено высокое содержание бензола – 4,6%. Для достижения соответствия требованиям характеристик Евро-5 необходимо добавление дополнительного реактора гидрирования бензола. Данная оптимизация позволит снизить содержание бензола до минимума – 1%. Данный проект планируется смоделировать на программе Unisim.

Сырьем установки каталитического риформинга на АНПЗ является смесь гидроочищенных бензинов блока гидроочистки существующих установок КУ ГБД и "Naphtha HT". В связи с увеличением выхода бензина ката-

литического крекинга на 10% и получением увеличенного количества тяжелой нефти с установки «Naphtha HT» в качестве сырья на 100 секцию установки каталитического риформинга, выход высокооктанового риформата повысился на 30%. В таблице 7 представлены результаты материального баланса установки каталитического риформинга, которые отражают числовые сведения потоков сырья и продуктов реакторного блока с учетом поступления увеличенной загрузки гидроочищенной нефти до 1117100 тонн в год.

Однако, согласно мировой практике известно, что увеличение количества продукта приводит к ухудшению его качества. Данная

**Таблица 7 – Материальный баланс установки каталитического риформинга**

№ п/п	Наименование продуктов	Коэффициент выхода	
		%	т/год
<b>I</b>	<b>Сырье</b>		
1	Тяжелая нефтя с "Naphtha HT"	81,7%	1117100
2	Тяжелая нефтя с КУГБД	18%	180000
3	ВСГ с УПОВ	0,29%	2900
4	Итого	100%	1300000
<b>II</b>	<b>Продукты</b>		
1	Тяжелый риформат	48%	622700
2	Легкий риформат	40,4%	525200
3	ВСГ	7,9%	102700
4	СНГ	3,4%	44200
5	Топливный газ		42063
6	Отходящий газ	0,22%	2860
7	Потери		2173
8	Итого	100%	345405

закономерность требует внедрения технологической модели с измененными технологическими параметрами. Наиболее эффективным сценарием работы было найдено повышение температуры реактора для обеспечения более жесткой работы для получения высокооктанового продукта риформинга. Повышение температуры реактора [5] обычно увеличивает показатели октанового числа. Однако, данное решение для улучшения качества риформата путем повышения температуры реактора увеличивает выход сухого газа и скорость образования кокса. Увеличение выхода сухого газа может быть проблематичным. Сухой газ обычно имеет небольшую экономическую ценность и создает помехи в рециркуляционных компрессорах в секции разделения продукта. Увеличение отношения водород:сырье обычно не способствует снижению выхода сухого газа, поскольку высокое парциальное давление водорода в реакторе способствует гидрокрекингу и, следовательно, увеличивает выход сухого газа. Кроме того, скорость отложения кокса экспоненциально увеличивается с повышением температуры и может оказывать значительное давление на секцию регенератора.

Следовательно, во избежание процесса коксообразования и увеличения выхода сухого газа необходимо соблюдение интервала между соотношением водород:сырье и температурой. Работа при высоких температу-

рах может потребовать значительного добавления свежего катализатора для поддержания того же уровня активности катализатора.

Таким образом в настоящей работе на основании расчетов материальных балансов для установок каталитического крекинга тяжелых остатков, гидроочистки нефти, каталитического риформинга и изомеризации легкой нефти выполнены следующие задачи.

1. Определенное расчетным путем оптимальное соотношение сырья к катализатору позволит увеличить производительность установки каталитического крекинга до 3 млн.т/г и повысить выход бензина на 25%.

2. Внедрение дополнительного реактора гидрирования бензола будет способствовать снижению содержания бензола в высокооктановом компоненте бензина – изомеризате с 4,6% до 1%, а также увеличит выход изомеризата, соответствующего качеству продуктов согласно требованиям Евро-5.

3. Использование программы Unisim для расчета оптимального соотношения водород:сырье позволит избежать побочных реакций коксонакопления и образования сухого газа при увеличении температуры.

Таким образом определены основные факторы, влияющие на производство автомобильного бензина, соответствующего стандарту Евро-5. Расчетным путем показано, что количество автомобильного бензина может быть увеличено до 1 547 242 тонн в год.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.Е. Все о топливе. Автомобильный бензин. Свойства, ассортимент, применение. Учебное пособие. – РФ: АСТ, 2003. – С. 80.
2. Ершов Д.С., Хафизов А.Р., Мустафин И.А., Станкевич К.Е., Ганцев А.В., Сидоров Г.М. Современное состояние и тенденции развития процесса каталитического крекинга. // Фундаментальные исследования. – № 12. – Уфа: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – 2017. – С. 282-286.
3. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдожизненном слое катализатора. Справочник по конструкциям, процессами оптимизации установок ККФ. – Санкт-Петербург: ЦОП "Профессия", 2020. Издание 2. – С. 55-62.
4. Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Д. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина. Учебное пособие – Уфа: ООО "Монография", 2008. – С.160.

5. Литвак Е.И. Математическая модель процесса изомеризации пентан-гексановой фракции с предварительной деизопентанизацией сырья и рециркуляцией нормальных парафинов. Проблемы геологии и освоения недр. – Томск: Томский политехнический университет, 2011. – С.181-183.
6. Покровский С.С. Новые зарубежные технологии нефтепереработки. Нефтегазовая вертикаль. Учебное пособие. – Уфа: УГНТУ, 2002. – С. 68-71.
7. Усакова Н.А., Мельников В.Б., Демина Л.В., Демин В.М., Карпенко Р.В. Технология получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов на установках каталитического риформинга. Нефтепереработка и нефтехимия. Химический журнал // – № 5. – РФ, 1999. – С.17.

## АРНАЙЫ ҚОСПАЛАР АРҚЫЛЫ МОДИФИЦИРЛЕНГЕН БИТУМДАР АЛУ

САТАЕВА С.С., НАРИКОВ К.А., ХАМЗИНА Б.Е.

*Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті*

**Андатпа:** Жұмыста Ақтау битум зауытының битум сынамалары қарастырылды. Битумның пайдалану қасиеттерін жақсарту үшін Stardope 150RB адгезиялық қоспамен модифицирленді. Битумның физика-химиялық қасиеттері зерттелді: тұтқырлығы, тығыздығы, пенетрациясы, созылғыштығы. Қоспаны енгізгеннен кейін аталған көрсеткіштердің жақсарғаны дәлелденді.

**Түйінді сөздер:** битум, адгезиялық қоспа, Stardope 150RB, тұтқырлық, тығыздығы, пенетрация, созылғыштық

## PREPARATION OF MODIFIED BITUMENS WITH THE HELP OF SPECIAL ADDITIVES

**Abstract:** The paper considers samples of bitumen from the Aktau bitumen plant. To improve the performance properties of bitumen, the modification was carried out with an adhesive additive Stardope 150RB. The physical and chemical properties of bitumen have been studied: viscosity, density, penetration, elasticity. The improvement of these indicators after the introduction of the supplement has been proven.

**Key words:** bitumen, adhesive additive, Stardope 150RB, viscosity, density, penetration, elasticity

## ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДОБАВОК

**Аннотация:** В работе рассмотрены пробы битума Актауского битумного завода. Для улучшения эксплуатационных свойств битума проведено модифицирование адгезионной добавкой Stardope 150RB. Изучены физико-химические свойства битума: вязкость, плотность, пенетрация, эластичность. Доказано улучшение данных показателей после введения добавки.

**Ключевые слова:** битум, адгезионная добавка, Stardope 150RB, вязкость, плотность, пенетрация, эластичность

### Кіріспе

Битумдар көмірсутектерден және олардың туындыларынан тұратын қатты және сұйық органикалық заттар [1]. Мұнайдың жоғары молекулалық қалдықтарының, гудронның және крекинг қалдықтарының ауадағы оттегімен тотығуы нәтижесінде тұтқырлығы жоғары, қатты заттар, яғни мұнай битумдары алынады.

Маркуссон әдісі бойынша битумның құрамы көмірсутектердің түрлеріне, циклену дәрежесіне әртүрлі еріткіштерде еруіне байланысты көмірсутектер, шайырлар, асфальтендер деп аталатын құрылым түзуші компоненттерге бөлінеді. Сонымен қатар битум құрамына асфальтоген қышқылдары және оның ангидридтері, карбен, карбоидтар

кіреді. Битумның химиялық құрамына мұнай табиғатында әсер етеді [2].

Қазақстандағы битум өндірісінің негізгі көзі Павлодар зауытында (500 мың. т жыл), кішігірім өндірісі Алматы және Шымкентте (70 мың. т. жыл) бар. Сонымен қоса, отандық өндіріс 40%-дан аспайды, ал осы уақытта әлемнің дамыған жеті мемлекеті (АҚШ, Канада, Жапония, Германия, Ұлыбритания, Франция және Италия) осы потенциалды 90-96% қолданады. Қазақстан мемлекетінің битум қажеттілігі жылына 600-700 мың. тоннаны құрайды. Республикадағы битум материалдарының жетіспеушілігін Ресейден әкелінген тауарлар жабады, ол – жылына 300 мың. т битумнан жоғары.

Қазіргі уақытта жол төсеуге арналған битумдардың сапасын жоғарылату үшін арнайы қоспалар қолданылады. Тотықтыру арқылы алынған битумдардың физика-механикалық көрсеткіштерін жақсарту мақсатында қосындыларды қосу кең тараған. Жалпы әртүрлі қоспалар дайындауда битумның минералдық материалдармен берік байланысуы маңызды роль атқарады. Сондай-ақ битумның минералдық материалдың беткі қабатымен берік жанасуын, суға тұрақтылығын және қоспаның ұзақ қызмет көрсетуін қамтамасыз етуде беттік активті заттардың маңызы жоғары. Беттік активті заттар ретінде құрамында әртүрлі функционалдық топтары бар заттарды қолданады. Беттік активті заттар хемосорбциялық қабат құрып, битумның минералды материалдың беттік қабатында берік байланыс түзуіне жағдай жасап, сұйықтық пен қатты дене шекарасында берік байланыс түзеді [3].

Битум алуда қолданылатын процесс типіне, жағдайына қарай мұнай және мұнай қалдықтарының құрамындағы молекулалық қосылыстар молекулааралық әрекеттесуге түседі. Процесс қалыпты температурада жүргізілсе тұрақты жоғары молекулааралық қосылыс түзіледі. Осыған байланысты мұнай битумдарының құрамындағы молекулааралық әрекеттесулерді әртүрлі факторлардың көмегімен реттеу арқылы битумның қасиетін өзгертуге болады. Битум дисперсті

жүйе болғандықтан, оның қасиеті дисперстік ортаның құрамымен дисперсті фазаның құрылымдық элементтерінің мөлшеріне және табиғатына тәуелді. Сондықтан құрылымдық бірліктерінің мөлшерін, ядро радиусын және тұздық қабатының қалыңдығын сыртқы факторлар көмегімен, атап айтқанда қосымша қосынды қосу немесе құрамында асфальтенді-шайырлы компоненттері мол шикізатты енгізу арқылы реттеуге болады [4].

Көп жылдар бойы қарапайым материалдар жол құрылысын толықтай қанағаттандырып және қамтамасыз етіп келді. Қазіргі кездегі транспорттық жүктердің ауырлауы битумды экономикалық, беріктік және ұзақ уақыт қолдану параметрлері жағынан тиімсіздігі мен кемшілігін анық көрсетті. Модифицирленбеген битумдар практикада төмендегідей кемшіліктерге ие:

- жоғары температуралық сезгіштік;
- механикалық және серпімділік сипаттамалары төмен;
- қартаюға бейім.

Осы кемшіліктермен қоса практикалық және экономикалық факторларды ескере отырып ғалымдар соңғы отыз жыл бойы көптеген зерттеулер жүргізген болатын. Олар битумның техникалық сапасын жақсартатын модификаторлар қолдану қажет екеніне көз жеткізген.

Модифицирленген битумның сапасы өте жоғары және жақсы болады [5]:

- жұмыс жасау сипаттамалары жоғары және төмен температурада жақсарады;
- эластопластикалық сипаттамалары жақсарады;
- материал кедергісі артады;
- толықтырғыштар арқасында когезия және адгезия жақсарады;
- материалдың тозу уақыты артады.

Сондықтан қолданылатын битумдар міндетті түрде: жоғары температураға берік, яғни термиялық тұрақты; эластикалық; қысымға, соққыға, жарылысқа төзімді болуы; құрғақ және ылғалды минералды материалдар беттерімен жабысуы; бастапқы беріктігі мен тұтқырлығын сақтау керек.

### Эксперименттік бөлім

Асфальт-бетонды жабындардың өміршеңдігі битум мен инертті материалдар арасындағы адгезияға тәуелді және бұл байланыстың көлік қозғалысының динамикалық және статикалық күшіне, сыртқы ортаның ауа, күн және су әсеріне байланысты. Аталған факторлар уақыт өте жарылулар мен физикалық, химиялық деформацияға ұшыратады.

Адгезиялық қоспалардың мөлшері битум массасынан 0,1%-дан 0,5% дейін, кей жағдайларда битум түрі мен тас материалының, қоспа түріне байланысты – 1,2%-ға дейін барады.

Stardope 150RB – адгезияны күшейткіш қоспа. Бұл қоспа полимерлі эфирлер негізіндегі полимодифицирленген немесе таза битум үшін сұйық катионды қоспа. Stardope 150RB қоспаның физика-химиялық қасиеттері 1-ші кестеде берілген.

### 1 кесте – Stardope 150RB қоспасының физика-химиялық көрсеткіштері

Сипаттамасы	Мәні
20°C сыртқы түрі	сұйықтық
Түсі	қара
pH	берілмеген
25°C-та тығыздығы, кг/м <sup>3</sup>	975
40°C-та Брукфилд бойынша тұтқырлығы, м <sup>2</sup> ·с	< 1000
Тұтану нүктесі	> 180°C

Битумдар үшін Stardope 150RB аммиак иісі жоқ сұйық адгезиялық қоспасы ұзақ уақыт термотұрақтылықты қамтамасыз етеді, сонымен қатар тұтастырғыш пен тас арасындағы бүлінуге тұрақты және суөткізгіштікті жоғарылата отырып тұрақты байланыстырғыш бола алады.

Stardope 150RB қоспасының артықшылықтары:

– кремний және әк негізіндегі қиыршық таспен қолдануда тиімділігі жоғары, себебі битумның шығу тегінің әсері өте төмен. Сонымен қатар термотұрақтылығы өте жоғары,

белсенді қасиеттерін ұзақ сақтау кезінде жоғалтпайды.

– асфальт төсеуде илгіштігін жоғарылатады, жұғылуын жақсартады, сапасына күмән туғызатын битум және қиыршық тасты қолайсыз ауа райы жағдайында төсеу мен тығыздауды қамтамасыз етеді.

Зерттеу объектісі ретінде Ақтау битум зауытының жасанды жолмен синтезделген битумдары алынды. Зертханалық жағдайда сынамалардың физика-химиялық қасиеттері қарастырылды. Сынамалар Stardope 150RB қоспасымен 1% және 3% мөлшерінде модифицирленді және модифицирлеуге дейінгі және кейінгі битум сынамаларының маңызды көрсеткіштері анықталды.

Айтылған сынамалардың тығыздығы мен тұтқырлығы айқындалды. Битум тығыздығы температураға, түріне тәуелді және негізгі көрсеткіштерінің бірі. Битумның тұтқырлығы пенетрация мен жұмсару температурасы сияқты эмперикалық көрсеткіштермен салыстырғанда, консистенциясының сан түрлі температураларда жеткілікті сипаттайды. Бұл көрсеткішті тез әрі өндіріс немесе қолдану температурасында өлшеуге болады.

Тығыздық – мұнай және мұнай өнімдерінің сапасының маңызды және кеңінен қолданылатын көрсеткіштерінің бірі. Ол мұнайдың фракциялық және химиялық құрамын сипаттайды.

Битумдардың тығыздығын МЕМСТ 3900-85 бойынша, DMA-4500 құрылғысында анықталды. Сонымен қатар қазіргі кезде жоғары эффектілі DMA-4500 плотномері арқылы тығыздықтың дәл мәнін алуға болады. Бұл прибор U-тәрізді трубканың магнит арқылы осцилляторға жалғанған, ал ол өлшеу тетігіне жалғасатын құрылғыдан тұрады.

Кестеде көрсетілгендей, I сынаманың орташа тығыздығы 1,0005 г/см<sup>3</sup>-ге, сәйкесінше II сынаманың орташа тығыздығы 1,3453 г/см<sup>3</sup>-ге тең. Сынамалардың мәндерінің 0,3-ке айырмашылығы, олардың агрегаттық күйіне байланысты, себебі зерттелген I сынама – сұйық, ал II сынама өте тұтқыр. Демек, битумның қасиеттері бастапқы мұнай және таңдап алынған бастапқы шикізат түрі әр-

**2 кесте – Ақтау битум зауыты сынамаларының тығыздығының нәтижелері**

Сынама №	Тығыздық ( $\rho$ , г/см <sup>3</sup> )				техн. көрсеткіш
	модифицирлеуге дейін		модифицирлеуден кейін		
	мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні	
I	1,0005	1,0005	1,0958	1,0956	0,9-1,8
	1,0006		1,0960		
	1,0007		1,0965		
	1,0004		1,0950		
	1,0001		1,0955		
II	1,3451	1,3453	1,2241	1,2244	0,9-1,8
	1,3452		1,2246		
	1,3452		1,2250		
	1,3454		1,2245		
	1,3452		1,2240		

келкі екені байқалды. Бұл анықталған мәндер битумның техникалық сипаттамаларына сәйкес келді.

Келесі айқындалған көрсеткіш – тұтқырлық. Тұтқырлықтың үш түрі бар: динамикалық, кинематикалық және шартты.

SVM-3000 вискозиметрі зертханалық жағдайда динамикалық және кинематикалық тұтқырлығын өлшеуге арналған құрылғы. SVM-3000 вискозиметрінің қолдану аясы химия, мұнай-газ өндеу, фармацевтикалық, тамақ және т.б. зертханаларында сынамалардың сандық және сапалық мәндерін анықтауға және ғылыми жұмыстар жүргізу үшін қолданылады. Анықтау МЕМСТ 33-82 бойынша жүргізілді. Зерттеу нәтижелері 3-ші кестеде бейнеленген.

Битумның тұтқырлығының мәндерінің 3,8 есеге айырмашылығы битумның агрегаттық күйімен түсіндіріледі.

Битумның маңызды көрсеткіштерінің бірі – пенетрация. Пенетрация – бұл көрсеткіш белгілі бір режимде дененің өту қабілетіне негізделген жартылай сұйық және жартылай қатты өнімге стандартты үлгідегі дененің (калибрлі ине) ену тереңдігін сипаттайды, ал өнім осы енуге қарсылық көрсету керек. Пенетрация битум қаттылық дәрежесімен жартылай сипатталады. Пенетрация бірлігі ретінде иненің ену тереңдігі 0,1 мм деп қабылданған. Битум сынамаларының пенетрациясы модифицирлеуге дейін және кейін «KOEHLER INC» автоматты пенетрометрінде анықталды. Температура және иненің ену тереңдігінің жағдайы 4-ші кестеде келтірілген.

**3 кесте – Ақтау битум зауыты сынамаларының тұтқырлығын анықтау нәтижелері**

Сынама №	Тұтқырлық ( $\eta$ , м <sup>2</sup> ·с)				техн. көрсеткіш
	модифицирлеуге дейін		модифицирлеуден кейін		
	мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні	
I	280	279	250	258	250-2000
	280		265		
	277		270		
	279		251		
	279		255		
II	1071	1072	920	928	250-2000
	1071		930		
	1072		935		
	1072		931		
	1073		925		

**4 кесте – Пенетрация температурасы мен иненің ену тереңдігі**

Сынау температурасы, °	Иненің стержені массасы және қосымша жүк, г	Инені түсіру уақыты, с
0,0 ± 0,1	200,00 ± 0,20	60
4,0 ± 0,1	200,00 ± 0,20	60
25,0 ± 0,1	100,00 ± 0,15	5
50,0 ± 0,1	50,00 ± 0,10	5

Битумның әр нүктесінде кем дегенде екі рет анықтауды жүргізеді. Егер иненің енуі 200 бірліктен жоғары болса, кем дегенде үш инені қолданады. Зерттеу нәтижелері 5-ші кестеде берілген.

Талдау нәтижелерінен көріп отырғанымыздай сынамалардың пенетрациясы модифицирлеуге дейінгі көрсеткішпен салыстырғанда модифицирлеуден кейін жақсарғанын көрсетеді.

Сонымен қатар битум үлгілерінің созылғыштық қасиеті анықталды. Зерттеу Normalab фирмасының дуктилометрінде жүргізілді. Дуктилометр электронды реттегіш пен және сандық дисплеймен жабдықталған. Бір уақытта үш сынаманы 0,1 мм қадаммен 0-ден 99 мм/мин жылдамдықпен өлшеуге мүмкіндік береді. Максималды ұзындығы 150 см. Сынақ кезінде 25°C мен 0°C созылу жылдамдығы 5 см/мин болуы қажет. Талдау нәтижелері 6-шы кестеде келтірілген.

**5 кесте – Битум сынамаларының пенетрациясы**

Пенетрация, мм						
модифицирлеуге дейін		модифицирлеуден кейін				техн. көрсеткіш
мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні	
I сынама		1% қоспа		3% қоспа		6,0-9,0
6,4	6,4	6,0	6,0	5,8	5,6	
6,2		6,5		5,7		
6,5		6,9		5,5		
6,0		6,1		5,5		
II сынама		1 % қоспа		3 % қоспа		12,0-18,0
18,2	18,2	12,6	12,6	11,4	11,5	
18,4		12,7		11,5		
18,3		12,5		11,5		
18,2		12,6		11,6		

**6 кесте – Ақтау битум зауыты сынамаларының созылғыштығын анықтау нәтижелері**

Созылғыштық (см)					
модифицирлеуге дейін		модифицирлеуден кейін			
мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні	мәні	орташа мәні
I сынама		1% қоспа		3% қоспа	
112	110	85	82	90	87
110		81		87	
111		82		87	
110		82		87	
II сынама		1% қоспа		3% қоспа	
10	12	30	28	33	33
11		29		32	
12		28		33	
12		28		33	

Кестеде көрсетілгендей Ақтау битум зауыты сынамаларының созылғыштығы Stardope 150RB қоспасымен модифицирленгеннен кейін жақсарғаны байқалады.

#### **Қорытынды**

Сонымен зерттеуге Ақтау битум зауытының үлгілері алынды. Сынамалар екі агрегаттық күйде (I сынама – сұйық, II сынама – қатты) болды. Эксперимент жүргізу барысын-

да битум сынамалары 1% және 3% адгезиялық қоспамен модифицирленді. Адгезиялық қоспа ретінде StarAsphalt компаниясының Stardope 150RB қоспасы қолданылды. Сынамалардың физика-химиялық қасиеттері: тығыздық, тұтқырлық, пенетрация және созылғыштығы анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша адгезиялық қоспаны енгізу битумның негізгі көрсеткіштерін жақсартты.

#### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР**

1. Лысихина А.И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. – М.: Науч.-техн. изд-во Минавтошосдора РСФСР, 2002. – 360 с.
2. Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Фаррахова Л.И., Хамидуллин Р.Ф. Особенности структурно-группового состава асфальтено-парафиновых отложений // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – № 1. – С. 190-198.
3. Худякова Т.С. Особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами // Т.С. Худякова, А.Ф. Масюк, В.Н. Калинин // Дорожная техника и технологии. – 2003. – № 4. – С. 174-181.
4. Данилов А.М. Возможности получения дорожных битумов улучшенного качества // Мир нефтепродуктов. – 2007. – № 8. – С. 20-23.
5. Измайлова Г.Г. К вопросу повышения качества асфальтобетона // Вестник Каздор НИИ. – 2004. – № 1 (2). – С. 58-60.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 007.52  
МРНТИ 28.23.24

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-1-90-96

## ОБЗОР МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В УМНЫХ ГОРОДАХ

АХАЕВА Ж.Б., ЗАКИРОВА А.Б., ЖУКАБАЕВА Т.К.

Международный университет Астана  
Высшая школа информационных технологий и инженерий

**Аннотация:** Города сталкиваются с новым вызовом, связанным с ростом их населения; впервые в истории большая часть населения теперь живет в мегаполисе. Исходя из сложившейся ситуации город должен внедрять новые решения, стать Умным городом, представляя своим гражданам системы, отвечающие требованиям, связанным с безопасностью, здравоохранением, ресурсами, правительством, образованием и другими городскими повседневными системами. Цель данной статьи – исследовать модель умного города с использованием мультиагентных систем, обеспечивающую интеллект города, как базовую инфраструктуру для определения модели воспроизводимой и экспортируемой в реализации умного города.

**Ключевые слова:** Умный город, мультиагентные системы, большие данные, интернет вещи, информационные системы

## OVERVIEW OF MULTI-AGENT SYSTEMS IN SMART CITY

**Abstract:** Cities face a new challenge related to their populations; for the first time in history, a large part of the population now lives in a megacity. Based on the current situation, the city should implement new solutions and become a Smart city, presenting its citizens with systems that meet the requirements related to security, health, resources, government, education and other urban everyday systems. The purpose of this article is to investigate the smart city model using multi - agent systems that provide city intelligence as the basic infrastructure for determining the model that can be reproduced and exported to create a smart city.

**Key words:** Smart city, multi-agent systems, big data, Internet of things, information systems

## АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДАҒЫ МУЛЬТИАГЕНТТІ ЖҮЙЕЛЕРГЕ ШОЛУ

**Аңдатпа:** Тарихта қазір алғаш рет халықтың көп бөлігі үлкен мегаполисте тұрады. Қалалар өсіп келе жатқан популяцияның жаңа проблемасына тап болды. Қалыптасқан жағдайға сүйене отырып, қала өз азаматтарына қауіпсіздік, денсаулық сақтау, ресурстар, үкімет, білім беру және басқа да қалалық жүйелермен байланысты талаптарға жауап беретін жүйелерді ұсына отырып, жаңа шешімдерді жүзеге асыруы, ақылды қалаға сай болуы керек. Мақаланың мақсаты – ақылды қаланы дамытуды іске асыруда, қайта жаңғыртылатын және экспортталатын модельді анықтайтын, базалық инфрақұрылым ретінде қалалық интеллектті қамтамасыз ететін, мультиагенттік жүйелерді қолдана отырып, ақылды қала моделін зерттеу.

**Түйінді сөздер:** Ақылды қала, көп агентті жүйелер, үлкен деректер, интернет заттар, ақпараттық жүйелер

## Введение

В любой стране мира крупные города перерастают в большие мегаполисы в связи с быстрым ростом городского населения. И такие города сталкиваются с большими рисками загрязнения воздуха, отсутствием транспортной инфраструктуры, неопределенным экономическим ландшафтом, перенаселением и безработицей – это лишь некоторые из упомянутых рисков – это проблемы, которые в настоящее время могут быть частично решены с помощью надлежащего использования информационно-коммуникационных технологий.

Рассматривая Умный город, представляем развитый Городской район, который создает устойчивое экономическое развитие и высокое качество жизни, преуспевающий во многих ключевых областях, экономике, мобильности, окружающей среде, людях, жизни и правительстве [1]. Преуспеть в этих ключевых областях можно с помощью сильного человеческого капитала, социального капитала и инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [2].

Умный город представляет собой новый способ мышления о городском пространстве путем формирования модели, интегрирующей зеленые источники энергии и системы, энергоэффективность, устойчивую мобильность, защиту окружающей среды и экономическую устойчивость, которые представляют собой цели для будущих разработок [3].

Различные аспекты, необходимые Умному городу: для построения интеллектуальных мест необходим мультидисциплинарный и комплексный подход, который исходит из потребностей города и преследуемых целей, определяя цифровые инновации как инструмент, а не как цель изменений, вовлекая различные системы (системы дистанционного мониторинга, системы поддержки принятия решений и планирования, системы связи и т.д.). Он уже доступен на рынке и включает в себя различные подсети умного города с использованием мультиагентных [4].

Четвертая промышленная революция в Казахстане нацелена на усиление требований

к знаниям и компетенциям работников. В прошлом году Главой государства было поручено разработать план обучения 10 тысяч специалистов для ключевых отраслей до 2025 года. Индустрия 4.0 представляет собой концепцию организации производства, где дополнительная ценность обеспечивается за счет интеграции физических объектов, процессов и цифровых технологий. При этом цифровые технологии позволяют в режиме реального времени осуществлять мониторинг физических процессов, самостоятельно принимают решения, контролируют взаимодействие машин между собой и людьми [5].

Актуальность данной темы стала еще несколько лет назад и является до сих пор актуальной для городов Казахстана. Так, принимая опыт других стран, города Казахстана превращаются в Смарт города, где проблемы города решаются с помощью умных технологий. На территории Казахстана был создан умный город, наполненный новыми технологиями. Город называется Акколь, находится он в 100 километрах от Нур-Султана. Сейчас он постепенно трансформируется в умный город. Все городские службы принимают решения, которые помогут в той или иной ситуации, исходя из получаемых данных.

В режиме онлайн просмотреть зависимость погодных условий, загрязнения атмосферы, понижения температуры в домах и квартирах, увеличение пациентов в больницах, заболеваемость конкретными болезнями, школьную успеваемость и качество учителей Акколя [29].

Проект Smart Aqkol направлен на комплексное обеспечение нормальной жизнедеятельности города посредством видеонаблюдения за дорожной и общественной безопасностью, в том числе в образовательных учреждениях и социальных объектах, мониторинга и управления в сфере здравоохранения, а также оснащения зданий и жилых домов «умным оборудованием» нового поколения [29].

Для достижения цели необходимо решить поставленные задачи, т.е. анализ мульт-

тиагентных систем, который позволят использовать моделирование динамической инфраструктуры в более широком контексте Умного города. При такой типологии сфера применения мультиагентных систем заключается в оптимизации энергетических ресурсов, сокращении выбросов, улучшении качества жизни.

### Мультиагентная система для умного города

Практически все новые энергетические технологии имеют встроенный электронный интеллект, который контролирует их работу и позволяет им связываться с другими устройствами, зданиями и общей сетью, где ИКТ представляют собой "основу" (рис. 1) [15].



Рис. 1 – Стратегическая роль инфраструктуры [16]

Агенты облегчают общее использование локальных средств управления, координируемых глобальным анализом, настройку параметров управления в реальном времени, автоматическое включение и выключение управляющих воздействий в реальном времени, а также функциональную координацию в иерархии и в нескольких временных масштабах. Виртуальная архитектура обеспечивает плавную интеграцию интеллектуальных данных на всех уровнях, так что расположение конкретных служб и данных виртуализируется и становится прозрачным во всей инфраструктуре, подверженной кибербезопасности [4].

Интеллектуально распределенный автономный умный город должен будет использо-

вать двустороннюю связь, способную сделать инфраструктуру Умного города динамичной и интерактивной, способной использовать архитектуру подключай – играй - открывай, например, для создания безопасной среды, позволяющей пропускать ресурсы между различными сетями и позволяющей как реальным, так и виртуальным операторам общаться и взаимодействовать друг с другом [17].

Предлагает реализации, программное обеспечение, уже функционирующее для связи, рассуждения и сотрудничества, оставляя только определение агентов, необходимых для приложения, которое выполняется путем написания кода, необходимого для предоставления агенту конкретных возможностей предметной области приложения. Рис. 2 показывает стадии развития мультиагентной системы [18].

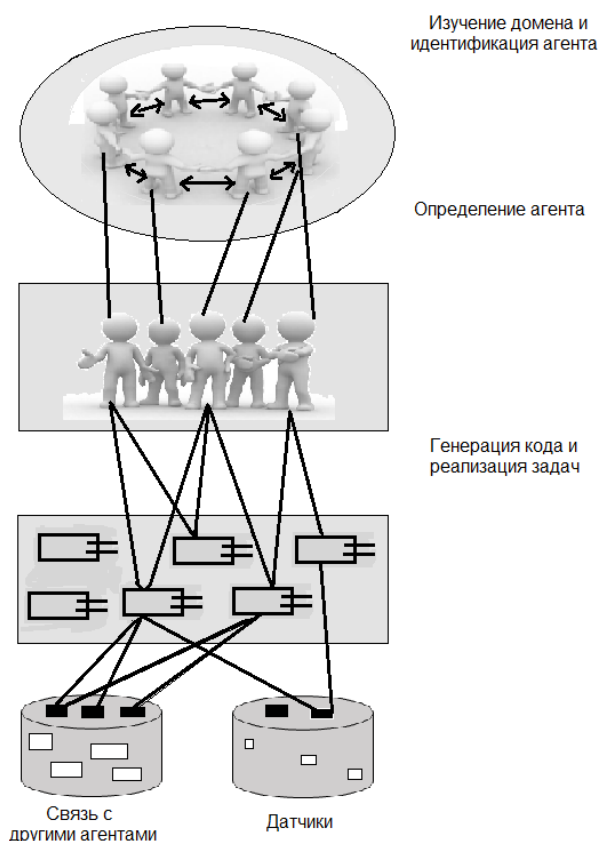


Рис. 2 – Этап разработки агента Zevs [18]

Каждый агент делится на три уровня:

- Определение, чтобы определить, какой агент обладает способностью рассуж-

дать, его цели, ресурсы, навыки, убеждения, предпочтения.

- Организационные, уточняющие отношения со своим коллегой-агентом.
- Координация, моделирование агента таким образом, чтобы он мог вести переговоры и координировать свои действия с другими агентами [18].

Агенты предоставляют функции сервера имен, который сопоставляет имена агентов с сетевыми адресами, и посредник, который предоставляет имена возможных агентов, способных к определенной емкости, утилит [18].

Реализация агентной системы заключается в следующем:

- Спецификация агентов.
- Анализ приложения, который достигается с помощью совместной диаграммы агентов. Агент управления выдвигает обязанности, включающие в себя систему мониторинга для обнаружения непредвиденных ситуаций или сбоев в электросети и отправка сигналов на главный автоматический выключатель для изоляции информационных технологий smart города от утилиты при обнаружении вышестоящего отключения [18].

Агент пользователя действует как клиентский шлюз, который делает функции Умного города доступными для пользователей. Она включает в себя ответственность за предоставление пользователям в режиме реального времени информации о лицах, проживающих в системе Умного города. Агент пользователя также позволяет пользователям управлять статусом нагрузок на основе предопределенного пользователем приоритета:

- Разработка приложений путем моделирования знаний каждого агента.
- Реализация приложения, создание, через графический интерфейс фреймворка, агентов.

Наконец, как только сгенерированы коды агента, процесс подачи заявки завершен. Все обмены сообщениями между агентами устанавливаются для протокола управления передачей/интернет-протокола или TCP/IP. Идея любой мультиагентной системы состоит в

том, чтобы разбить сложную задачу, решаемую одним объектом (централизованная система), на более мелкие более простые задачи, решаемые несколькими объектами (распределенная система) [18].

Интеллектуальная система умного города – это система, которая учитывает различные технологии, операторов и соединения. Состав этих систем будет меняться в зависимости от того, как будут развиваться технологии, порождая новые предприятия и новые взаимодействия. Чтобы поддерживать это качество, системы умного города не должны иметь больших отношений друг с другом, они должны взаимодействовать друг с другом, используя минимальные объемы взаимной информации. Концептуальная модель умного города представляет собой совокупность представлений и описаний, которые являются основой для обсуждения характеристик, использования, поведения, интерфейсов, требований и стандартов Умного города [19].

Интеллектуальные программные агенты могут быть запрограммированы на поиск питания от зеленого источника. Агенты, представляющие каждый источник генерации, могут сообщать о текущих выбросах в атмосферу. Потребители электроэнергии, заинтересованные в снижении своего воздействия на окружающую среду, могут приказывать своим агентам покупать самую чистую электроэнергию, доступную в рамках их бюджетов. Умные сети реагируют совместно во время смога предупреждений [4].

#### **Анализ применения мультиагентных систем**

Мультиагентные системы в умных городах, исследуем работы следующих авторов.

Проведя анализ статей можно сделать выводы, что во всех Умных городах применяются мультиагентные системы. Данные системы помогают работе Умного города. Они самообучаемые и умные технологии, которые принимают определенные решения для улучшения работы определенных систем. Правильно запрограммированная мультиагентная система способствует развитию Умного города, соз-

**Таблица 1 – Использование мультиагентных систем в Смарт городе**

Исследователи	Применяемые методы
Longo M. И др. [4]	Инновационные мультиагентные системы, применяемые в Умном городе
Roscia M. и др. [7]	Умный город с помощью мультиагентных систем
Merabet G. H. и др. [21]	Применение мультиагентных систем в интеллектуальных сетях
Olszewski R.и др. [22]	Пространственно-временное моделирование деятельности жителей Умного города с помощью мультиагентных систем
Diogo A.и др. [23]	Модель мультиагентных систем используется для доказательства целесообразности предоставления геймифицированной среды для таких агентов с оптимизируемыми метриками, которые благоприятствуют точным, надежным и частым данным
Silva D.и др. [24]	Использование стенда для мультиагентных систем умного города для проверки его реализации и функционирования.
Postránecký M. и др. [25]	Концептуальная модель комплексной мультиагентной системы Smart City 4.0.
Julian V. и др. [26]	Мультиагентные Системы
Giordano A. и др. [27]	Умные агенты и туманные вычисления для приложений Умного города
Pšibyl O. и др. [28]	Системно-ориентированный подход к умным городам

дает удобства для жителей города, учитывая их потребности и имеющиеся технологии.

Существующие обзорные работы, связанные с мультиагентными системами в умных городах, обобщены в табл. 1. Большинство этих обзорных работ [4], [7], [21]-[28] строго сосредоточены на одном конкретном домене умного города или одном жанре классификационной перспективы. В работе [26] Postránecký M. и др. вводят диаграмму правил треугольника. Поочередно были исследованы работы по мультиагентным системам в Умных городах. Заинтересованные читатели могут следовать этим ссылкам для получения дополнительной технической информации.

### **Заключение**

В данной обзорной статье анализировалось использование мультиагентных систем в Умных городах, модели, описывающей подсистемы, производственные технологии, операционные системы, применение мультиагентных систем, делающих конкретным этот проект умного города, с тем чтобы дать четкий обзор и удобную для разработчиков по-

литику. Несколько положительных моментов способны породить Умный город. Например, стимулирование экономики; инновации в сфере услуг; вовлечение граждан; сокращение выбросов углекислого газа; повышение общественной безопасности; защита здоровья. Концепция Умного города представляется основополагающей в переопределении городских систем, где впервые также учитываются человеческие и социальные аспекты для создания городской структуры. Крайне важно: для того, чтобы дать возможность реализации той или иной модели, дать четкое и объективное определение ключевого момента, элементы, составляющие и реализуемые умный город для того, чтобы сделать его воспроизводимым. Создатель первой великой электрической революции знал, что инновационные устройства важны, но главное – это создание систем, которые делают их полезными. Распределяя процесс принятия решений практически по всем системам, он создаст интеллектуальную сеть, которая будет поставлять чистую, безопасную, надежную и экономичную энергию для удовлетво-

рения возникающих потребностей экономики. Чем более всесторонне рассматриваются и развиваются потенциальные возможности умного города, тем быстрее и полнее мы реализуем его многочисленные возможности и преимущества. В Акколе все подсистемы города отправляют данные на единую защи-

щенную платформу, которая управляет умным городом.

Проведенный анализ работ, посвященный умным городам показал, что Умный город не может существенно развиваться без использования мультиагентных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Karnouskos, S. and T.N. De Holanda, 2009. Simulation of a smart grid city with software agents. Proceeding of the 3rd UK Sim European Symposium on Computer Modeling and Simulation Conference, pp: 424-429.
2. Moslehi, K., 2010. Reliability perspective of the smart grid. IEEE T. Smart Grid, 1(1): 57-64.
3. Schoenherr, T., 2013. Environmental sustainability initiatives: A comparative analysis of plant efficiencies in Europe and the U.S. IEEE T. Eng. Manage., 60(2): 353-365.
4. Longo M., Roscia M. & Lazaroiu, G.C., (2014) Innovating Multi-agent Systems Applied to Smart City. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(20): 4296-4302, 2014
5. <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/vnedrenie-industrii-40-v-kazahstane-ili-kak-umnye-zavody-spravilis-so-svoey-rabotoy-v-period-karantina-i-mirovoy-pandemii-1483456>
6. Концепция проекта Smart-Astana: <http://ain.kz/wp-content/uploads/2018/01/Smart-Astana.pdf> [Accessed: 26-Nov-2020].
7. Roscia M., Longo M. & Lazaroiu, G.C., (2017) Smart City by multi-agent systems. International Conference on Renewable Energy Research and Applications
8. Yang, D.L., F. Liu and Y.D. Liang, 2010. A survey of the internet of things. Proceeding of the International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI, 2010). Advances in Intelligent Systems Research, Atlantis Press, Kunming, Yunnan, China, pp: 358-366.
9. Albouy, D., F. Leibovici and C. Warman, 2013. Quality of life, firm productivity and the value of amenities across Canadian cities. Can. J. Econ., 46(2): 379-411.
10. Clayton, S., C. Litchfield and E.S. Geller, 2013. Psychological science, conservation and environmental sustainability. Front. Ecol. Environ., 11: 377-382.
11. Dijkstra, L., E. Garcilazo and P. McCann, 2013. The economic performance of European cities and city regions: Myths and realities. Eur. Plan. Stud., 21(3): 334-354.
12. Lazaroiu, G.C. and M. Roscia, 2012. Definition methodology for the smart cities model. Energy, 47(1): 326-332.
13. Lazaroiu, G.C., D. Zaninelli, M.O. Popescu and M.C. Roscia, 2012. Grid connected and stand alone DC power system prototype. Proceedings of the International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP, 2012), pp: 529-534.
14. Roscia, M., D. Zaninelli and G.H. Lazaroiu, 2011. Fuzzy logic applied for sustainable urban models. J. Environ. Protect. Ecol., 12(4A): 2225-2235.
15. Viitanen, J. and R. Kingston, 2013. Smart cities and green growth: outsourcing democratic and environmental resilience to the global technology sector. Environ. Plann. A, Vol. 45, DOI: 10.1068/a46242.
16. [https://www.123rf.com/photo\\_57051446\\_stock-vector-smart-city-concept-with-different-icon-and-elements-modern-city-design-with-future-technology-for-li.html](https://www.123rf.com/photo_57051446_stock-vector-smart-city-concept-with-different-icon-and-elements-modern-city-design-with-future-technology-for-li.html)
17. Moslehi K. and Kumar R., "A reliability perspective of the smart grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, pp. 57-64, June 2010.

18. Bacco M. Di, Agents systems for smart grids (in italian: Sistemi ad Agenti per Smart Grid), May 2010 [online]. Available: [online]. Available:<http://climatesolutions.org/resources/reports/powering-up-the-smart-grid-a-northwest-initiative-for-job-creation-energy-security-and-clean-affordable-electricity/SmartEnergyNetwork.pdf>
19. Nwana H.S., Ndumu D.T. and Lee L.C., “ZEUS: an advanced tool-kit for engineering distributed multi-agent systems,” in Proc. 1998 Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems Conf., pp. 377-391
20. Pipattanasomporn M., Feroze H. and Rahman S., “Multi-agent Systems in a Distributed Smart Grid: Design and Implementation,” in Proc. PSCE 2009 IEEE Power Systems Conf. and Exp., pp. 1-8
21. Merabet G.H., Essaaidi M., Talei H., Abid M.R, Khalil N., Madkour M., Benhaddou D., (2014) Applications of Multi-Agent Systems in Smart Grids: A Survey. 978-1-4799-3824-7/14/\$31.00 ©2014 IEEE.
22. Olszewski R., Pałka P., Turek A., Kietlin’ ska B., Płatkowski T. and Borkowski M. (2019). Spatiotemporal Modeling of the Smart City Residents’ Activity with Multi-Agent Systems. [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci). Appl. Sci. 2019, 9, 2059; doi:10.3390/app9102059.
23. Diogo A., Fernandes B., Silva A., Faria J.C., Neves J., Analide C. (2018). A Multi-Agent System Blockchain for a Smart City. CYBER 2018: The Third International Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems. Copyright (c) IARIA, 2018. ISBN: 978-1-61208-683-5.
24. Silva D., Ferraz F., Ferraz C. (2015). Smart City Applications TestBed. SOFTENG 2015 : The First International Conference on Advances and Trends in Software Engineering. Copyright (c) IARIA, 2015. ISBN: 978-1-61208-449-7.
25. Postránecký M., Svítek M. (2017) Conceptual Model of Complex Multi-agent System Smart City 4.0. International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems
26. Julian V., Botti V., (2019) Multi-Agent Systems. <https://doi.org/10.3390/app9071402>
27. Giordano A., Spezzano G., Vinci A. (2016) Smart Agents and Fog Computing for Smart City Applications. International Conference on Smart Cities. Smart-CT 2016: Smart Cities pp 137-146| Cite as.
28. Pšibyl O., Svítek M.(2016) System-oriented Approach to Smart Cities. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7569204>.
29. <https://rodestech.com/Aqkol/> (дата обращения 25.12.2020г.)

## МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЭКСТРЕННОЙ СЛУЖБЫ

БЕКТЕМЫСОВА Г.У., УАТБАЕВ М.М.

*Международный университет информационных технологий*

**Аннотация:** В статье освещены существующие рабочие модели функционирования дежурно-диспетчерских экстренных служб в мире. Исследованы модели построения служб «911» и «112» с учетом законодательных норм Республики Казахстан. Отражены основные концепции функционирования служб «911» и «112». Рассмотрен функциональный анализ экстренных служб «911» и «112», также рассматривается общая структура разновидностей построения вышеуказанных служб. Предложена новая модель создания информационной системы по обеспечению жизнедеятельности центра обработки экстренных вызовов.

**Ключевые слова:** единая дежурно-диспетчерская служба, информационная система, архитектура построения единой дежурно-диспетчерской службы, центр обработки вызовов, центр обработки данных

## MODELS OF CONSTRUCTION OF THE UNIFIED DUTY-DISPATCHING EMERGENCY SERVICE

**Abstract:** The article highlights the existing working models of the functioning of emergency dispatch services in the world. The models for constructing the services «911» and «112» were studied, considering the legislative norms of the Republic of Kazakhstan. The basic concepts of the functioning of the services «911» and «112» are reflected. A functional analysis of emergency services «911» and «112» is considered, and the general structure of the variety of construction of the above services is also considered. A new model of creating an information system to ensure the life of the emergency call center is proposed.

**Key words:** single duty dispatch service, information system, architecture for the construction of a single dispatch service, call center, data processing center

## БІРЫҢҒАЙ ЖЕДЕЛ КЕЗЕКШІ-ДИСПЕТЧЕР ҚЫЗМЕТІНІҢ ҚҰРУ МОДЕЛІ

**Аңдатпа:** Мақалада әлемдегі апаттық-диспетчерлік қызметтердің жұмыс істейтін модельдеріне назар аударылады. «911» және «112» қызметтерін құру модельдері Қазақстан Республикасының заңнамалық нормаларын ескере отырып зерттелді. «911» және «112» қызметтерінің негізгі түсініктері көрсетілген. «911» және «112» жедел қызметтердің функционалдық талдауы анықталған, сонымен қатар жоғарыда аталған қызметтер құрылысының жалпы құрылымы қарастырылған. Шұғыл байланыс орталығының өмірін қамтамасыз ететін ақпараттық жүйені құрудың жаңа моделі ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** бірыңғай кезекші-диспетчер қызметі, ақпараттық жүйе, бірыңғай диспетчерлік қызметін құру сәулеті, байланыс орталығы, мәліметтерді өңдеу орталығы

## Введение

На текущий момент в мире существуют два коротких номера для получения срочной помощи при угрозе для жизни и здоровья людей: «9-1-1» и «1-1-2».

Первоначально служба «911» создана в 1968 года в г. Халлевильт (США), обеспечивающему возможность обращения граждан и туристов в местный орган общественной безопасности [1]. Короткий номер «911» также используется в таких странах, как Канада (с мобильного номера «112»), Аргентина (номер «112» также востребован), Армения (с мобильного номера «112»), Босния и Герцеговина (также актуальны номера «112» и «08»), Бразилия (номер «112» также востребован), Венесуэла (номер «112» также востребован) и Эстония (также доступен номер «112»). Полноценно по первичной модели построения экстренной службы «911» функционирует в США. В остальных странах (Европа, Российская Федерация, большинство стран Азии) экстренные службы привязаны к короткому номеру «112».

Исследования по использованию служб чрезвычайной помощи, проведенные в США, показали, что менее чем 50 процентов граждан США знают номера различных экстренных специальных служб. При возникновении чрезвычайного происшествия 10 процентам граждан требуется при оказании помощи привлечение более чем одной экстренной службы. Службы «911» также позволяют более рационально использовать ресурсы чрезвычайных служб, обеспечить эффективное воздействие всех экстренных оперативных служб при их совместных действиях по ликвидации последствий происшествий.

Анализ работы служб «911», рассчитанных на обслуживание вызовов только чрезвычайного характера, показывает, что порядка 50 процентов телефонных обращений к службе «911» из общего количества вызовов не содержат характер чрезвычайности.

В результате на службы зачастую поступает значительный процент ложных вызовов. Эти вызовы приводят к возникновению перегрузок на сетях связи, обеспечивающих

работу служб «911», следствием чего является отказ или длительное ожидание обслуживания действительно чрезвычайных обращений. Данные ситуации могут приводить к трагическим последствиям – звонивший не получит своевременной помощи.

В Европе службы спасения строятся приблизительно по той же модели, что и в США (но существуют отличия), но в качестве единого короткого номера в странах Европейского Союза принят номер «112». В частности, короткий номер «112» обслуживают силовые структуры (либо пожарные, либо полиция), которые принимают необходимые меры и привлекают другие взаимодействующие службы.

Единым решением Европарламента номер «112» является обязательным для вызова экстренных служб при возникновении чрезвычайной ситуации с угрозой для жизни и здоровья людей.

В 1998 году большинство Европейских стран подписали телекоммуникационное соглашение, согласно которому единым номером экстренного вызова стал «112».

В результате, находясь в любой из европейских стран, в случае необходимости можно набрать короткий номер «112» и получить необходимую помощь.

## Модель функционирования служб «911»

В каждом штате США есть служба 911, которая в свою очередь принимает все звонки о пожарах, криминальных происшествиях или случаях, когда человеку стало плохо. Операторы и диспетчеры службы 911 должны ответить на звонок за 10 телефонных гудков, в среднем обрабатывают 200 звонков в сутки. Звонок по номеру 911 соединяет звонящего с диспетчером пункта реагирования общественной безопасности, который направляет вызов в местные медицинские, пожарные аварийно-спасательные и правоохранительные службы [2].

Номер 911 предназначен для экстренных звонков в Северной Америке. Использование его не по назначению, например, для теле-

фонных розыгрышей, может рассматриваться как преступление.

Экстренными случаями являются угрожающие жизни и здоровью ситуации, когда каждая секунда на счету; к ним относятся сердечные приступы, неконтролируемые приступы астмы, начало родов, обширная кровопотеря, пожары, поножовщина, текущие вооруженные ограбления, автоаварии с пострадавшими и т.д.

Некоторые диспетчеры 911 со временем могут начать испытывать синдром стрессового расстройства после критических происшествий, схожих с ПТСР (посттравматическое стрессовое расстройство). Им могут страдать люди, постоянно и тесно вовлеченные в тяжелые потрясения и трагедии других людей. Симптомы включают кошмары, тяжёлые тревожные расстройства и неспособность справляться со стрессовыми ситуациями в повседневной жизни (необходимо учесть штатного психолога).

Если информационная система по приему и обработке входящего вызова будет реализовываться по типу систем «911», управления системой без мышки, необходимо учесть что при наличии большого количества полей это не целесообразно, в этом случае нужно будет делить интерфейс на несколько окон, точечными данными для выезда.

Типичная форма функционирования службы «911» построена на базе единой юридической организации с обязательными направлениями по линиям противопожарной службы, медицинской помощи и местной полицейской службы. Как правило «911» состоит из таких основных компонентов:

- единый центр обработки вызовов – специализированный центр по приему обращений от граждан по голосовым каналам связи;

- операторы приема – штатные сотрудники центра обработки вызовов, которые обеспечивают прием и обработку входящих звонков, и перенаправляют экстренных выездных бригад. Как правило, в центре обработки вызовов работают несколько штатных смен (от 3-х и более);

- руководитель центра обработки вызова – штатный сотрудник, который обеспечивает общий контроль работы операторов приема и следит за своевременным реагированием на события и чрезвычайные ситуации. Согласно нормативно-правовым актам у каждого события (по линии противопожарной службы, медицинской помощи и местной полицейской службы) существует ограниченное время реагирования у выездных мобильных бригад (пожарные, дежурные врачи и сотрудники патрульной полиции);

- мобильные выездные бригады – штатные сотрудники центра, которые обеспечивают экстренное реагирование на события. После обработки входящего звонка, оператор, собрав все необходимые данные, направляет мобильные бригады на место происшествия. Задача мобильной бригады – оперативно выехать на место и оказать необходимую помощь людям (ликвидация пожара, медицинская помощь, предотвращение преступления и т.д.).

В отличие от модели службы «112» экстренная служба «911» работает по принципу «выезд всех бригад», следовательно, при возникновении экстренно-чрезвычайного события на место происшествия выезжают мобильные бригады всех направлений (пожарные, дежурные врачи и сотрудники патрульной полиции). Данная модель позволит реагировать на события оперативнее, ликвидировать или предотвратить летальные исходы.

### **Модель функционирования службы «112»**

Для популяризации службы 112 среди жителей и гостей стран Европейского союза создан специальный сайт SOS112.info. На этом сайте можно получить практически любую необходимую информацию о том, как работает данная служба и какие у нее есть возможности.

Также, была создана Европейская ассоциация по вопросам чрезвычайного номера 112, которая постоянно проводит анализ работы национальных систем общественной безопасности. И, если в первые годы основ-

ными вопросами анализа была просто известность единого номера 112, то в настоящее время проводится оценка эффективности его работы. По данным 94% граждан европейских стран считают службу 112 полезной, но, в то же время 75% считают необходимым дальнейшее её совершенствование [3].

В каждой стране есть свои особенности работы единого номера и особенности действий экстренных служб, разные временные нормативы ответа на вызов и собственно реагирования, на каком языке вас быстрее поймут, какие случаи являются экстренными и требуют немедленного реагирования, а по каким вопросам необходимо обращаться в другие информационные службы.

В Чехии, Испании, Великобритании ответ на звонок должен последовать в течение 20 секунд, в Нидерландах и Финляндии – 10 секунд, но в основном это все-таки 8 секунд. В некоторых странах Евросоюза операторы могут общаться на различных языках, и практически во всех странах обратиться за помощью можно на английском. Также возможно общение и на русском языке, если вы звоните из наиболее популярных туристических стран.

Определение местоположения вызывающего абонента в большинстве стран диспетчерские службы автоматически получают информацию о месте нахождения абонента от провайдеров мобильной связи. Однако из-за технических проблем данные не всегда корректны, а в ряде стран эта система вообще не используется (в таких странах, как Италия, Литва, Нидерланды, Польша, Румыния, Словакия).

Архитектура построения национальных систем обеспечения вызова экстренных служб, достаточно обширна и разнообразна, как характерный пример централизованной структуры системы-112, можно привести Шведское королевство. В Швеции служба экстренной помощи находится в ведении пожарного управления Министерства внутренних дел страны.

Особенности работы шведской службы SOS-alarm – это то, что вызов (сообщение о

происшествии) обрабатывают одновременно два специалиста-оператора центра приема вызовов и у них есть полномочия непосредственно и самостоятельно управлять силами и средствами реагирования, т.е. все экстренные службы частично передали им свои полномочия в соответствии с типами происшествий. Еще один из положительных аспектов работы шведской службы спасения – это порядок вызова экстренных служб при помощи тревожной кнопки с мобильного телефона или специальных наручных часов. Но все граждане знают, в каких случаях они имеют право воспользоваться тревожной кнопкой [4].

К разновидности децентрализованной структуры можно привести примеры Румынии и Словакии. Румыния делится на 41 административных уездов, которые объединяют 250 районов. Здесь центры обработки вызовов отвечают за конкретную территорию, объединяющую несколько уездов. Причем, следует отметить, что эти территории значительно отличаются друг от друга и по площадям, и по плотности населения.

В Словакии более прозрачно, административно, в стране 8 краев, в каждом из них функционирует свой центр обработки вызовов, все взаимодействуют между собой.

Если говорить о гибкости и масштабируемости системы 112, лучшим примером может служить построение такой системы в Испании, провинция Валенсия. Являясь курортной зоной, эта территория сильно подвержена сезонным наплывам отдыхающих. При населении 5 млн. она принимает более 5 млн. туристов. В такие моменты возникает пиковая нагрузка на телефонный номер 112 до 8 тыс. звонков в час. При этом не все звонки являются сообщениями об экстренных ситуациях, большинство из них носит информационный характер, но по всем вызовам дается полная и исчерпывающая информация или организуется надлежащее реагирование.

Привычная модель службы «112» состоит из следующих основных компонентов:

– единый центр обработки вызовов – специализированный центр по приему об-

ращений от граждан по голосовым каналам связи;

- операторы приема – штатные сотрудники центра обработки вызовов, которые обеспечивают прием и обработку входящих звонков, и перенаправляют карточку события на диспетчера направления;

- диспетчер направления – штатные сотрудники центра обработки вызовов, которые принимают от операторов приема карточку события, выявляют ближайшую выездную бригаду к местоположению факта происшествия и направляют экстренную бригаду с дальнейшим контролем выполнения задания;

- мобильные выездные бригады – штатные сотрудники центра, которые обеспечивают экстренное реагирование на события. После приема карточки события диспетчер направления, собрав все необходимые данные, направляет мобильные бригады на место происшествия. Задача мобильной бригады – оперативно выехать на место и оказать необходимую помощь людям (ликвидация пожара, медицинская помощь, предотвращение преступления и т.д.).

В отличие от модели службы «911» экстренная служба «112» работает по принципу «выезд бригад по направлению», следовательно, при возникновении экстренно-чрезвычайного события на место происшествия выезжает мобильная бригада конкретного направления. Но нельзя не отметить некоторые события, где требуется выезд двух и более направлений. В таких ситуациях диспетчер направлений формирует выезд тех мобильных бригад, которые должны оперативно реагировать. Например, поступает входящий звонок о пожаре, следовательно на место происшествия должны выехать как минимум пожарные бригады и медицинские службы.

Вместе с тем необходимо отметить, что в некоторых странах мобильные группы реагирования локально расположены в отдельных организациях, что тотально отличается от привычной модели службы «911».

Предлагаемая модель построения Единой дежурно-диспетчерской службы «112» в Республике Казахстан.

Для построения и модернизации существующих моделей «Единой дежурно-диспетчерской службы» проведены аналитические исследования. Изучив статистические данные по входящим звонкам на экстренные службы «101», «102» и «103» нескольких регионов в РК (г. Алматы, Кызылординская область, Атырауская область), выявлено, что более 70% входящих звонков принимаются и обрабатываются на линии «103». Предлагаемая модель информационной системы основана в первую очередь для обработки входящих звонков и обращений для работников медицинских учреждений, так как операторы приема «112» должны обладать минимальным медицинским образованием.

В целях построения архитектуры предлагаемого решения использована модель Европейского стандарта по распределению средств и сил, так как в законодательстве Республики Казахстан ведомственное распределение зафиксировано нормативно-правовыми актами (как показывает опыт в государственных органах внесение изменений в законодательство является долгосрочным, при этом повышение уровня безопасности населения является первостепенной важности) [5].

Опыт программного комплекса службы «911» использован для организации учета основных бизнес-процессов без необходимости использования оптического устройства (использование оптического устройства требует дополнительного затратного периода времени, а основная задача экстренных служб сократить время реагирования на чрезвычайные ситуации).

В итоге для разработки информационной системы «Единая дежурно-диспетчерская служба – 112» задействованы комбинированные прикладные функции служб как «911», так и «112» Европейского союза.

### **Заключение**

Как показывает опыт США и Европейского союза при создании ЕДДС в Республике Казахстан не рекомендуется использовать полноценные бизнес-процессы

моделей «911» и «112» Европейского союза в этих службах отсутствует ведомственное разделение служб экстренного реагирования. В Республике Казахстан согласно законодательству ведомственное разделение является обязательным (центр оперативного управления, станция скорой медицинской помощи, департамент по чрезвычайным ситуациям).

Предлагаемая модель информационной системы «Единая дежурно-диспетчерская служба – 112» обеспечит безболезненный переход с существующих систем на новую, так как система является простой и не требует использования оптического устройства.

В системе предусмотрены горячие клавиши для вызова всех необходимых функций для приема, сбора и перенаправления карточки события.

Основываясь на опыт внедрения Единой дежурно-диспетчерской службы в других странах, рекомендуется внедрять систему поэтапно (к примеру, в Грузии для полноценного перехода на Единую диспетчерскую службу «112» понадобилось 12 лет), так как полноценная и быстрая реформа экстренных служб чревата ухудшением социальных показателей и снижением уровня безопасности в регионах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Allen, Gary. (2015, April). Haleyville: Where 911 Began. Dispatch Magazine On-Line. Retrieved from: [countyofunion.org/site/cpage.asp?cpage\\_id=180009766&sec\\_id=180003667](http://countyofunion.org/site/cpage.asp?cpage_id=180009766&sec_id=180003667).
2. Michael Schmitt Coordinating the Global Information Grid Initiative with the NG9-1-1 Initiative // IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security May 2008 <http://www.inl.gov/technicalpublications/Documents/3901033.pdf> Retrieved: Mar, 2016
3. Методические рекомендации по разработке системных проектов телекоммуникационной подсистемы системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» для субъектов Российской Федерации. – Москва, МЧС и Минкомсвязь. – 2015.
4. Методические рекомендации по обеспечению предоставления операторами связи информации о месте нахождения пользовательского оборудования (оконечного оборудования) операторам системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112». – Москва: Минкомсвязь, 2016.
5. Д.Е. Намиот, В.П. Куприяновский, С.А. Синягов Инфокоммуникационные сервисы в умном городе // International Journal of Open Information Technologies. 2016. – Т. 4. – №4. – С.1- 9.

**ЖАСАНДЫ БҰЖЫРЛЫ ТЕЗАҒАРЛАРДЫҢ ЖАҢА КОНСТРУКЦИЯЛАРЫ****ДЖОЛДАСОВ С.Қ.<sup>1</sup>, ЯНГИЕВ А.А.<sup>2</sup>, РҮСТЕМ Е.І.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті*<sup>2</sup>*Ташкент ауыл шаруашылығы инженерлік ирригация және механизация институты*

**Аңдатпа:** ғылыми жұмыста гидротехникалық құрылыстар мен құрылымдарға жататын жоғарғы бьефпен төменгі бьефті жалғастыратын жасанды бұжырлы тезағарлардың жаңа конструкцияларын ойлап табу және оларды жетілдіру мәселелері келтірілген. Бұл гидротехникалық құрылымдардың басты мақсаты біздің өңтүстік өңірлердегі таулы аймақтардағы биіктерден үлкен жылдамдықпен ағып түскен суды төменгі бьефтерде шайылу процесстерін болдырмау және ашық каналдарда қауіпсіз гидравликалық режимді жақсарту болып табылады. Осы ретте жоғарыдан ағатын судың артық кинетикалық энергиясын арнайы жасалған жасанды бұжырлы тезағарлардың көмегімен салыстырмалы қысқа жолда тиімді сөндіру қажет. Біздің ғылыми жұмысымызда экономикалық жағынан тиімді, берік және сенімді, конструкциясының қарапайымдылығы, құрылыс тұрғысынан ұтымды және оңай жүзеге асырылатын пішінде болуы және т.б. жағдайларын ескере отырып, пайдалы модельге алынған оң шешімі бар тезағар құрылымы оларға қойылған талаптарға жауап береді деп сенеміз.

**Түйінді сөздер:** гидротехникалық құрылылымдар, жалғастырушы құрылымдар, тезағар конструкциялары, су өткізу құрылымдары, жасанды бұжырлық, су ағыны энергиясын бәсеңдеткіш, темірбетонды тезағар, ағын энергиясын бәсеңдеткіш тезағарлар

**НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ БЫСТРОТОКОВ С ИСКУССТВЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ**

**Аннотация:** научная работа посвящена разработке и совершенствованию новых конструкций быстотоков с искусственной шероховатостью, соединяющих верхние и нижние бьефы гидротехнических сооружений. Основное назначение этих гидротехнических сооружений - не допустить вымывания воды в нижнем бьефе, текущей с большой скоростью с высот в горных районах наших южных регионов и создать безопасный гидравлический режим в открытых каналах. В этом случае избыточную кинетическую энергию падающей сверху воды необходимо эффективно гасить за относительно короткое путь и время с помощью специально разработанных быстотоков с искусственной шероховатостью. В наших исследованиях основное внимание уделяется экономичности, прочности и надежности, простоте конструкции, рациональной и простой в реализации форме и т.д. Мы полагаем, что конструкция быстотока с положительным решением, полученным в полезной модели, с учетом обстоятельств соответствует предъявляемым к ним требованиям.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, соопрягающие сооружения, конструкции быстотоков, водопроводящие сооружения, искусственные шероховатости, гаситель энергии водного потока, железобетонный быстоток, быстоток гаситель энергии потока

## NEW FAST CURRENT DESIGNS WITH ARTIFICIAL ROUGHNESS

**Abstract:** scientific work is devoted to the development and improvement of new high-speed structures with artificial roughness, connecting the upper and lower beams of hydraulic structures. The main purpose of these hydraulic structures is not to allow water to flow downstream, flowing at high speeds in mountainous areas of our southern regions and to create a safe hydraulic regime in open canals. In this case, the excess kinetic energy of the falling water from the top of the water is necessary to soak for a relatively short distance and time with the help of specially developed fast currents with artificial flow. In our research, the main attention is paid to the economy, durability and reliability, simplicity of construction, rationality and simplicity in the implementation of the form, etc. We assume that the design of the fast current with a positive solution obtained in the utility model, with account of the circumstances, corresponds to the requirements to it.

**Key words:** hydraulic structures, conjugating structures, structures of rapid flows, water supply structures, artificial roughness, energy absorber of water flow, reinforced concrete rapid flow, rapid flow damper of energy flow

Соңғы жылдары Қазақстанның оңтүстік өңірлеріндегі таулы аймақтарында гидромелиоративтік жүйелеріндегі су тасымалы құрылымдары өте жиі істен шыға бастады. Ағысты реттейтін гидротехникалық құрылымдар (ГТҚ) бұдан 30-40 жыл бұрын салынғаны бізге белгілі. Бүгінгі күні еліміздегі көптеген гидротехникалық құрылымдар коммуналдық меншік (49%) және жеке меншік (31%) иелігінде. Олардың басым бөлігіне қайта жаңғырту жұмысы жасалмаған, бұл гидротехникалық құрылымдар жөнделмей өзінің ресурсын барынша пайдаланғандықтан, қауіптілігі жоғары нысандар болып табылады [1].

Соңғы 20-25 жылда бұл гидротехникалық құрылымдарға қайта жөндеу жұмыстары жасалмағандықтан, оның құрылымдарының қауіпсіздігі мәселесі қазіргі уақытта өте өзекті мәселе болып отыр. Тезағарлы каналдардың төменгі бьефтерінде шайылу процестерінің алдын алу үшін ғалымдар жасанды бұжырлы тезағарлардың жаңа конструкцияларын ойлап табуда. Сондай-ақ жылдары М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университетінің ғалымдары, докторанттары мен магистранттары осы бағытта жемісті еңбек етіп келеді. Олар жалғастыру құрылымдарының жаңа конструкцияларына бірнеше патенттерге оң шешім алды. Төменде соңғы 1-2 жылда алынған пайдалы модельге өнертабыстар келтірілген. Енді осы өнертабыс алынған патент-

терге «Су ресурстары» кафедрасына қарасты «Гидротехникалық құрылымдардың гидрогеологиялық және техникалық кәуіпсіздігі» ғылыми-зерттеу лабораториясында алынған өнертабыс негізінде әртүрлі жасанды бұжырлы тезағарлардың модельдерін жасап ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуде.

Университет ғалымдары ойлап тапқан пайдалы модель гидротехникалық құрылымдарға жатады, соның ішінде бьефтерді жалғастыру құрылымдары болып табылады. Олар каналдардағы сулардың жоғарғы бьефтен төменгі бьефке өту кезінде, бір деңгейден екінші бір деңгейге қауіпсіз ең қысқа жолмен түсіруге арналған құрылымдарға жатады және аталған құрылымдарды тезағарлы каналдардың барлығында байланыстырушы ретінде пайдалануға болады [2]. Бізге белгілі жоғары қысымды терең суағар, оның арынды бөлігінің соңында тарылумен жабдықталған құбыр түрінде жасалған және ол пирамидалы пішінді етіп орындалған. Құбыр диаметрі бойынша биіктігі оның ширегінен артық емес және су кескіш қабырғаның көлбеу бұрышы құбыр осіндегі бойлық қабырғаға 15 градустан артық емес етіп орнатылған [3].

Бұл құрылғының ағын энергиясын төмендетудің тиімділігі төмен, себебі ағыстардың өзара айналуын қамтамасыз ете алмайды және олардың соқтығысу әсері төмен деңгейде. Сонымен қатар транзиттік учаскесінің

соңында тағы да толқындар ағынның үлкен жылдамдығы салдарынан арнаның еңістерін қорғаудың қымбат тұратын құралдарын қолдануын қажет етеді. Бұл өнертабыстың ең негізгі кемшіліктеріне конструкциясының күрделілігі және оның құралдарының қымбаттығы мен экономикалық жағынан тиімсіз екендігін аңғартады, ал құралдары істен шыққан жағдайында, оларды ауыстыруға көп уақыт және қырулар қаражат жұмсалады. Техникалық негізі мен қол жететін әсеріне қарай өнертабысқа жақындау болып, ағын энергиясын бәсеңдеткіш жатады. Ағын энергиясын бәсеңдеткіш - оның төменгі және бүйір қабырғалары суұрма құдықтан құралған, ол суұрма құдық жұптасқан кіріс су құбыры және ағызу каналынан тұрады, ал ені суұрма құдық енінен аз болып келеді. Ол жерде горизонтальді қалқымалы құрылғы, су өткізгіш құрылғылары арынды етіп орнатылған және оның төменгі бөлігінде саңылаулары қысымды құбырдың ішіне көлбеу жабдықталған. Ол жерде бәсеңдеткіш бойлық серпімді панель түрінде жасалады, оның бір бөлігі қатаң бекітілген, ал төменгі бөлігі қосымша салмақ құру үшін құбырлы серпімді қуыста жасалған. Сонымен қатар құбырлы серпімді қуыс бөліктің соңынан төмен емес деңгейде орналасады, ал құбырдың жоғарғы шеті ілмек арқылы қыстырғышқа қосылады және реттелетін қарсы салмақпен төменгі ағын бағытына орнатылады. Бәсеңдеткіш серпімді болу үшін оның төменгі деңгейден азайып кетпеуіне жол бермеу үшін құбырлы серпімді қуысты пенопласпен толтырылады.

Арын бәсеңдеткіштің кемшілігіне – құрылғы конструкциялары санының көптілігі, күрделілігі және бөлшектерінің тапшылығында, яғни оларды тезағар конструкцияларына орнату үшін қажетті құрылғы бөлшектерін дайындайтын зауыттарға жеке тапсырыс беру және оларды жасату да тиімсіз болып табылады деп ойлаймыз, себебі ол конструкцияны көпшілік су мекемелері пайдаланбайды. Сондықтан бұл арын бәсеңдеткіш экономикалық жағынан тиімсіз, конструкциясының ұзындығын қысқартқанымен, оның бөлшектерінің беріктігі жоғарыламайды, арнадағы су

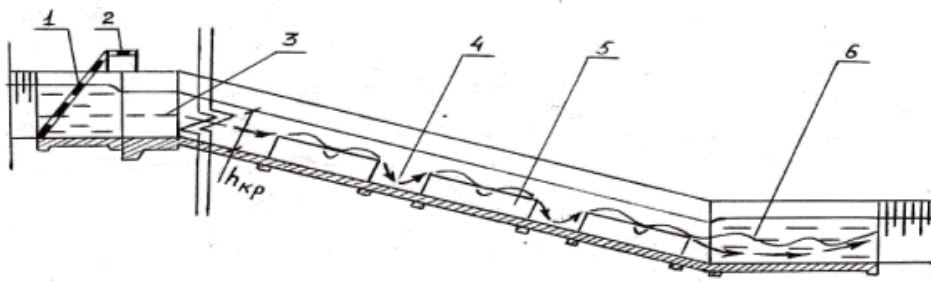
мөлшері мен ағын жылдамдығына тәуелділігі де өзгермейді. Тезағардағы ағын энергиясын бәсеңдеткіштің сенімсіз конструкциялары (құрылғылары), арнадағы судың жылдамдығы мен өтімі өзгеруіне байланысты үнемі тербелісті қозғалыста болады. Бұл өз кезегінде конструкцияның сенімсіз жерлерінің тез бүлінуіне алып келуі мүмкін. Көптеген құрылғыларының бірі ғана істен шықса, арнадағы қозғалыс режимі өзгереді, бұл арын бәсеңдеткіш құрылғының дұрыс жұмыс істеуіне кедергі жасай отырып, каналдың төменгі бьефінде шайылу процесі пайда болуы мүмкін. Сондықтан бір бөлшектің бүлінуінен бүкіл арын бәсеңдеткіш тезағар құрылғысының жұмыс істеу тиімділігі төмендейді және оның қызмет ету мерзімі қысқарады [4].

Біз осы кемшіліктерді ескере отырып, ойлап ұсынылатын өнертабысымыздың техникалық жетістіктері болып мына көрсеткіштерді айтуымызға болады: ол судың кинетикалық энергиясын бәсеңдетуге сенімді әсер етеді, конструкциясының қарапайымдылығы; темір-бетонды конструкциялар өз елімізде өндіріледі, оларды тезағарға орнату оңай болып табылады, қажет болған жағдайда оңай ауыстырылады, материал шығынының аздығы; экономикалық жағынан тиімділігі; оның жұмыс істеу сенімділігі мен оң әсер беруі және де осы құрылымның ұзақ уақыт жұмыс істеу мерзімі болып саналады. Өнертабыстың техникалық ерекше жетістікке қол жеткізілуі туралы айтатын болсақ, құрылымның кіру бөлігі алдында тасынды-қоқыс тұту торы орналасқан, ағынның арын энергиясын бәсеңдетуге арналған құрылғы-науа ұзындығының төменгі жағынан  $1/3$  бөлігіндей аралықта орналасады. Оның биіктігі алмағайып тереңдікке тең, темір-бетонды конструкцияның ішкі жағы (ортасы) ашық, үш қатардан тұрады және еңісті науа түбіне бекітіледі. Темір-бетонды конструкцияның сыртына М-50 маркалы битумды-майлы мастика жағамыз, осылайша бұл темір-бетонды конструкцияның коррозия процесіне төзімдігін арттырады. Тезағардың кіру бөлігі алдында тасынды-қоқыс тұту торы сумен ағып келген ірі тасынды-қоқыстарды ұстап қалады, ол да

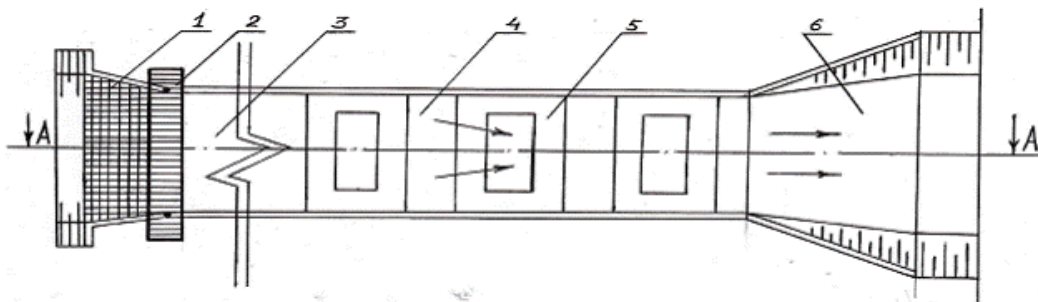
өз кезегінде науадағы бойлық темір-бетонды конструкциялық құрылғының қырларын тез жарамсыз болуын (кавитация) тоқтатады. Битумды-майлы мастика материалының басты артықшылығы: ол төменгі ( $-50^{\circ}\text{C}$  дейін) және жоғары ( $+100^{\circ}\text{C}$ ) температураларға төтеп бере алады. Битум мастикасы зақымдалмай және сапасын жоғалтпай жоғары ылғалдылық, жоғары немесе төмен температура жағдайларына төтеп беретіндігі үшін қазіргі кезде гидротехникалық құрылыста кеңінен қолданылып жүр. Біз сол себепті осы гидроқшаулағыш материалды өз өнертабысымызда пайдалануды жөн көрдік. Су жеткізу каналының кіру бөлігі арқылы келетін еңісті транзитті науадан, шығу бөлігінен, шығу бөлігіндегі табандық қабырғаға орнатылған темір-бетонды ағын энергиясын бәсеңдеткіш, яғни темір-бетон сыртына М-50 маркалы битумды-майлы мастика жағылған конструкциядан тұрады. Ал осы темір-бетонды ағын энергиясын бәсеңдеткіш транзитті бөліктегі еңісті науа ұзындығының төмен жағынан  $1/3$  бөлігіндей арақашықтықта үш қатар етіп орналастырылады. Бұл ағын энергиясын бәсеңдеткіш темір-бетон конструкциялық тезағардың басқаларынан ерекшелігі: науа ұзындығының төменгі жағында табандық қабы-

рғаға бекітілген алмағайып терендікке тең бойлық орнатылған су ағысына қарсы бағытта орналасуында. Бұл жерде жоғарыдан қатты жылдамдықпен еңісті транзитті науадан келіп түскен су ағыны бірінші тұрған темір-бетонды конструкцияға соқтығысады, одан соң темір-бетон конструкциядан асып түсіп ашық науа түбіне құйылады да, ағын қайта жоғары көтеріліп қабырғадан асқан соң, екінші темір-бетонды конструкция арасында су тағы науа түбіне түседі де, қайтадан жоғары көтеріледі. Осылайша келесі тұрған темір-бетонды конструкцияларда процесс қайталанып отырады, осы процестердің арқасында толқындар пайда болып ағын арыны бәсеңдей бастайды. Келесі темір-бетонды арын бәсеңдеткішке соқтығысып, майда ағыстарға таралады, яғни бөлінген майда ағыстар жан-жақтағы қабырғаларға тағы ұрылады, осылайша су ағынының кинетикалық энергиясы төмендейді, науада ұзына бойы толқындар пайда болады және ағыстардың жылдамдықтары кеми бастайды.

1-суретте темір-бетон конструкциялық тезағардың бойлық қимасы, ал 2-суретте темір-бетон конструкциялық тезағардың жоспардағы үстінен қарағандағы көрінісі көрсетілген. Темір-бетон конструкциялық



1 сурет – Су ағыны энергиясын бәсеңдеткіштің бойлық қимасы



2 сурет – Су ағыны энергиясын бәсеңдеткіштің жоспардағы көрінісі

тезағар, тасынды қоқыстарды тұтатын тордан 1, торда жиналған жүзбе заттарды алып тастауға арналған көпірден 2, кіру бөлігінен 3, транзитті бөлікті еңісті науадан 4, тезағар ұзындығының төмен жағынан 1/3 бөлігіндей арақашықтықта орнатылған темір-бетон конструкциядан 5 және науа енінен канал түбі еніне дейін кеңейген шығу бөлігі телімдерінен 6 тұрады. Бізге қажетті алмағайып биіктікте орнатылған темір-бетон конструкциялық ағын энергиясын бәсеңдеткіш сыртына битумды-майлы мастика жағылған, сонымен қатар олар үш қатар етіп орнатылған, осы жағдайлар біздің оң шешім алып отырған пайдалы моделіміздің жаңашылдығы болып табылады.

Біздің ойлап тапқан темір-бетон конструкциялық жасанды бұжырлы тезағарымыз былай жұмыс істейді: су – каналмен тезағардың кіру бөлігі 3 арқылы еңісті науаның 4 бойымен ағын энергиясын бәсеңдеткіштен 5 өтіп, яғни бізге қажетті үш қатар орналасқан темір-бетонды арын бәсеңдеткішке жоғарыдан аққан су қатты жылдамдықпен соқтығысады да, одан соң темір-бетон конструкциядан асып түсіп ашық науа түбіне құйылып, ағын қайтадан жоғары көтеріліп қабырғадан асқан соң, екінші темір-бетонды конструкция арасында су тағы да науа түбіне түседі де, қайтадан жоғары көтеріледі. Осылайша келесі тұрған темір-бетонды конструкцияларда процесс қайталанып отырады. Темір-бетон конструкциялық арын бәсеңдеткішке қайта-қайта соқтығысу арқасында судың жылдамдығы бәсеңдейді. Осы жағдайлардың бәрі су арынын бәсеңдетуге әсер етіп, гидротехникалық құрылымның жұмыс істеу мерзімін ұзартады және оның тиімділігін жоғарылатады.

Осылайша су – науа енінен канал түбі еніне дейін кеңейген шығу бөлігі телімінен 6 алып кетуші каналға түседі. Су энергиясын төмендету, биіктігі судың алмағайып тереңдігіне тең темір-бетонды арын бәсеңдеткіш, ағыс бағытына қарсы қойылуымен іске асырылады. Кіру бөлігі алдында тасынды-қоқыстар тұту торы 1 бойлық құбырдың жақсы жұмыс істеуі үшін ірі қоқыс-тасындыларды тұтып отырады, тұтылған жүзбе

қоқыстар көпір 2 көмегімен алынып сыртқа шығарылып отырылады, науа 4 ұзындығының төмен жағынан шамамен 1/3 бөлігіндей аралығында арын энергиясын төмендетуге арналған биіктігі алмағайып тереңдікке тең, бізге қажетті өлшемді темір-бетонды арын бәсеңдеткішке 5, жоғарыдан ағып келген қатты жылдамдықты су ағынының соқтығысуы арқасында оның кинетикалық энергиясы бәсеңдейді. Себебі сол жерде қабырғаға орналасқан битумды-майлы мастика жағылған темір-бетонды арын бәсеңдеткішке соқтығысқан су ағыны майда ағыстарға таралады, бөлінген майда ағыстар жан-жақтағы қабырғаларға тағы ұрылады, толқындар пайда болады, осыған орай ағын жылдамдығының кинетикалық энергиясы төмендейді. Осы процестердің барлығы тезағар науасының гидравликалық режимін жақсартады, сондықтан бұл тезағарға суұрма құдықты салу қажеттілігі туындамайды және қосымша шығындар азаяды. Біздің ойлап тапқан өнертабысымыздың басқа өнертабыстардан ерекшелігі мынадай: «су ағыны энергиясын бәсеңдеткіш тезағар, бәсеңдеткіш құрылғыдан және камерадан: кіру бөлігінен, транзиттік бөлігіндегі еңісті науадан және шығу бөлігінен тұратын, келесімен ерекшеленеді транзиттік бөліктен шығу аймағы басталатын жерде, биіктігі алмағайып (критикалық) тереңдікке тең, қабырғаға үш қатар етіп вертикаль бекітілген, битумды-майлы мастика жағылған темір-бетонды бәсеңдеткіштің, су ағысына бойлық бағытта орналасуында» [5].

Біздің өнертабысқа пайдалы модельге оң шешім алу негізінде М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университетінің «Су ресурстары» кафедрасының «Гидротехникалық құрылымдардың гидрологиялық және техникалық қауіпсіздігі» ғылыми-зерттеу лабораториясында S12–MKLL стендіне жоғарыда айтылған [5] өнертабысқа модель жасалып, судың кинетикалық энергиясын төмендету жұмыстарын бейне түсіру және фото суреттерге түсіру арқылы жүргіздік. Жасанды бұжырлы тезағарда жылдамдығы жоғары ағындар кезінде бұжырлығы биіктеу жерлерде толқындық айналулар және аэрация кезін-

де пайда болатын гидродинамикалық процестердің сапалы көріністерін қарастырдық. Сонымен қатар біз нақты гидравликалық жағдайларды ескере отырып, лабораториялық зерттеулерде барлық спектрлерінде қолайлы гидравликалық режимге ие құрылымның максималды экономикалық тиімділігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін жасанды бұжырлы тезағардың тиімді түрін таңдадық деп ойлаймыз [6].



3 сурет – S8–MKLL қондырғысындағы су ағыны энергиясын бәсеңдеткіштің бойлық қималық көрінісі

Жасанды бұжырлықты тезағарлар жұмысына нақты деректер алу үшін, сіздер бұрын алынған патенттерді [7-10] еңбектерін де ескергендеріңіз жөн деп ойлаймыз. Сонымен мына төмендегі суретте (4-сурет) универси-



4 сурет – S8–MKLL қондырғысындағы су ағыны энергиясын төмендету процесінің көрінісі

тет ғалымдары мен докторанттарының S12–MKLL қондырғысында темір-бетонды конструкциялық жасанды бұжырлы тезағармен эксперименттік жұмыстарын жасап жатқан көріністері көрсетілген. Осы пайдалы модельге алынған оң шешім бойынша қазіргі кезде лабораториялық ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілуде, нақты алынған нәтижелерімізді қорытындылап, келесі еңбектерімізде көпшілікке жариялайтын боламыз.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. <https://strategy2050.kz/news/13388/>.
2. Гидротехнические сооружения под ред. Н.П.Розанова – М., изд-во «Агропромиздат», 1985. – С.259-262.
3. Авторское свидетельство №905362, кл. E02B 8/06, 1982
4. RU2647895C1.,2018.03.21г., «Гаситель энергии водного потока», Голубенко Михаил Иванович (RU)
5. Рүстем Е.І., Ахметов Е.С., Тәттібаев С.Ж., Сарбасова Г.А., Омарбекова М.Т., Нурлыбаева А.Н., Гаситель энергии водного потока. Патент на полезную модель №5257, (21)2020/0453.2.
6. Айвазян О.М. О применении усиленной шероховатости для предотвращения волнообразования на быстротоках /«Гидротехника и мелиорация». – 1968. – № 10. – С.79-84.
7. Рүстем Е.І., Ахметов Е.С., Смаилов Б.Ш., Койшибаева Г.Д., Байжигитова М.Т., Нурлыбаева А. Н. Габрионный быстроток. Патент на полезную модель № 4995, 28.02.20ж.
8. Койбақов С.М., Утеғалиев Т.Т., Джолдасов С. KZ (A) 12215. 15.11.2002, бюл.11.
9. Джолдасов С.К., Қойбақов С.М., Шилібек К.Қ. Құбырлы тезағар // Инновациялық патент №27759, 26.04.12.
10. Джолдасов С.К. және т.б. Арын бәсеңдеткіш тезағар // Инновациялық патент №27760, 26.04.12.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ «УМНОГО» НОВОСТНОГО АГРЕГАТОРА

ИБРАГИМ Н.А.

*Казахский Национальный университет имени аль-Фараби*

**Аннотация:** В сегодняшнее время все больше людей получают информацию с онлайн ресурсов, таких как новостные порталы, блоги и т.п. С развитием интернет технологий объем публикуемой информации настолько вырос, что стало трудно и долго находить релевантную и интересную информацию. Новостные агрегаторы – это решение, которое предоставляет возможность пользователю получать только свежие и релевантные новости с разных источников. Платформа агрегатора контента собирает информацию со всей сети и публикует ее в одном месте для доступа посетителей. В данной работе представлена интеллектуальная система новостного агрегатора, которая собирает свежие новости с разных источников с помощью канала RSS/Atom и выводит их в одной платформе. В новостном агрегаторе реализован интеллектуальный модуль, который на основе сохраненных пользователями новостей рекомендует похожие новости. Для рекомендации пользователям похожих новостей к новостным заголовкам применяется метод косинусного сходства, который измеряет схожесть двух векторов путем вычисления косинуса угла между этими двумя векторами. Таким образом, новостные заголовки, которые имеют наибольшее значение косинусного сходства, рекомендуются пользователям. К новостным заголовкам применяются следующие технологии обработки естественного языка: токенизация, удаление ненужных символов и пунктуаций, преобразование заголовков в вектора с помощью метода TF-IDF. В данной работе были сравнены результаты измерения сходства для самых популярных метрик, таких как косинусное сходство, Евклидово расстояние и расстояние Жаккарда. Результаты сравнения представлены для новостей, полученных через RSS/Atom каналы ресурсов из категорий программирование и бизнес/маркетинг.

**Ключевые слова:** новостной агрегатор, RSS, Atom, интеллектуальный модуль, предварительная обработка текста, TF-IDF, рекомендация новостей, косинусное сходство

## «АҚЫЛДЫ» ЖАҢАЛЫҚТАР АГРЕГАТОРЫНЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ МОДУЛІ

**Аңдатпа:** Қазіргі кезде жаңалық порталдары, блогтар және т.б. сияқты интернет-ресурстардан ақпарат алатындар саны артып келеді. Интернет-технологиялардың дамуына байланысты жарияланған ақпараттың көлемі өскені соншалық, өзекті және қызықты ақпаратты табу қиын әрі ұзаққа созылады. Жаңалықтар агрегаторлары – бұл қолданушыға сан түрлі ақпарат көздерінен тек жаңа және өзекті жаңалықтарды алуға мүмкіндік беретін шешім. Мазмұнды біріктіретін платформа бүкіл галамтордан ақпарат жинайды және оны пайдаланушылар қолдану үшін бір жерде жариялайды. Бұл мақалада RSS / Atom арнасын қолдана отырып, әртүрлі ақпарат көздерінен соңғы жаңалықтарды жинайтын және оларды бір платформада көрсететін интеллектуалды жаңалықтар агрегатор жүйесі қарастырылған. Жаңалықтар агрегаторында интеллектуалды модуль іске асырылған, ол пайдаланушылар сақтаған жаңалықтар негізінде оларға ұқсас жаңалықтарды ұсынады. Ұқсас жаңалықтарды қолданушыларға ұсыну үшін жаңалықтар тақырыптарына косинустық ұқсастық әдісі қолданылады, бұл екі вектордың арасындағы косинусты есептеу арқылы екі вектордың ұқсастығын өлшейді. Осылайша косинустық ұқсастық мәні ең жоғары жаңалықтар тақырыптары пайдаланушыларға беріледі. Жаңалықтар тақырыбына табиғи тілді өңдеудің келесі технологиялары қолда-

нылады: токенизациялау, қажет емес таңбалар мен пунктуацияларды жою, тақырыптарды TF-IDF әдісі арқылы векторларға айналдыру. Бұл жұмыста косинустық ұқсастық, евклидтік арақашықтық және Жаккард арақашықтығы сияқты ең танымал метрикалар үшін ұқсастық өлшемдері салыстырылды. Салыстыру нәтижелері бағдарламалау және бизнес / маркетинг санаттарынан RSS / Atom ресурстық арналары арқылы алынған жаңалықтар үшін ұсынылған.

**Түйінді сөздер:** жаңалық агрегаторы, RSS, Atom, интеллектуалды модуль, мәтінді алдын ала өңдеу, TF-IDF, жаңалықтар ұсынысы, косинустық ұқсастық

## INTELLIGENT MODULE FOR «SMART» NEWS AGGREGATOR

**Abstract:** Nowadays more and more people get information from online resources such as news portals, blogs, etc. With the development of Internet technologies, the volume of published information has grown so much that it has become difficult and long to find relevant and interesting information. News aggregators are a solution that allows the user to receive only fresh and relevant news from various sources. The content aggregator platform collects information from all over the web and publishes it in one place for visitors to access. This paper presents an intelligent news aggregator system that collects the latest news from different sources using an RSS / Atom feed and displays them in one platform. The news aggregator has an intelligent module that recommends similar news based on the news saved by users. In order to recommend similar news to users, the cosine similarity method is applied to news headlines, which measures the similarity of two vectors by calculating the cosine of the angle between the two vectors. Thus, the news headlines that have the highest cosine similarity value are recommended to users. The following natural language processing technologies are applied to the news headline: tokenization, removing unnecessary characters and punctuation, converting headlines to vectors using the TF-IDF method. In this paper, similarity measurements were compared for the most popular metrics, such as cosine similarity, Euclidean distance, and Jaccard distance. Comparison results are presented for news received via RSS / Atom resource feeds from the programming and business / marketing categories.

**Keywords:** news aggregator, RSS, Atom, intelligent module, text preprocessing, TF-IDF, news recommendation, cosine similarity

### Введение

Сегодня Интернет предоставляет нам возможность создавать и взаимодействовать с цифровым контентом на разных источниках и платформах. Опубликованная информация может быть доступна в любой точке мира за несколько кликов [1]. С развитием интернет технологий объем публикуемой информации онлайн ресурсов растет с каждым днем. Растущий объем публикуемой информации привел к тому, что конечным пользователям становится все труднее находить необходимое им информацию. Поэтому за последние несколько лет появились агрегаторы контента, которые собирают информацию из множества информационных каналов. Новостной агрегатор является агрегатором новостной

информации, который автоматически собирает публикуемые новости из разных источников и показывает их на одной странице. С помощью новостного агрегатора пользователю не придется переходить по разным вкладкам браузера для просмотра публикуемых новостей. Все нужные источники будут находиться на одной странице, что экономит время просмотра новостной информации. Как и текстовые форматы, мультимедийный контент и полноформатное видео также распространяются с помощью агрегаторов контента [2]. К таким агрегаторам контента можно отнести программное обеспечение iTunes для музыкального контента и Youtube, который предоставляет мультимедийный контент.

Также популярными видами агрегаторов контента являются агрегаторы социальных сетей. Агрегаторы социальных сетей собирают информации из разных социальных сетей и блогов и объединяют их в один источник [3]. Главными функциями агрегаторов социальных сетей являются совместное использование, голосование и обсуждение постов [4]. Одними из популярных агрегаторов социальных сетей являются Reddit и Hacker News [5].

Новостной агрегатор, представленный в текущей работе, автоматически собирает новости из других источников с помощью каналов синдикации RSS и Atom. RSS и Atom являются одними из известных и популярных форматов каналов для синдикации контента. Они основаны на файловом формате XML и предоставляют стандартизированный способ публикации и подписки на контент [6]. В текущей работе пользователь имеет возможность подписаться на ресурсы, которые предоставляют свои новости через RSS канал. После подписки новостной агрегатор будет получать опубликованные новости подписанных ресурсов через этот канал и будет выводить их на своей странице. Объединение разных источников в одной платформе дает пользователю возможность просматривать новости на одной странице.

Особенностью новостного агрегатора, представленного в данной работе, является внедрение интеллектуального модуля. Интеллектуальный модуль основан на алгоритмах машинного обучения, которые позволяют анализировать новостные заголовки и извлекать из них полезные данные. Интеллектуальная составляющая новостного агрегатора автоматически рекомендует новости пользователю на основе сохраненных им новостей.

### 1 Архитектура разработанного новостного агрегатора

Новостной агрегатор, представленный в текущей работе, собирает новости с источников с помощью RSS и Atom каналов. Новости ресурсов, которые предоставляют данные каналы, будут отображаться в платформе. При нажатии на новость пользователь переходит на страницу самого ресурса для дальнейшего прочтения новости.

Платформа собирает ресурсы, которые предоставляют данные каналы.

*Общие требования к новостному агрегатору*

Операционная система: Unix-системы, Windows

Браузеры: Chrome, Opera, Firefox и т.д.

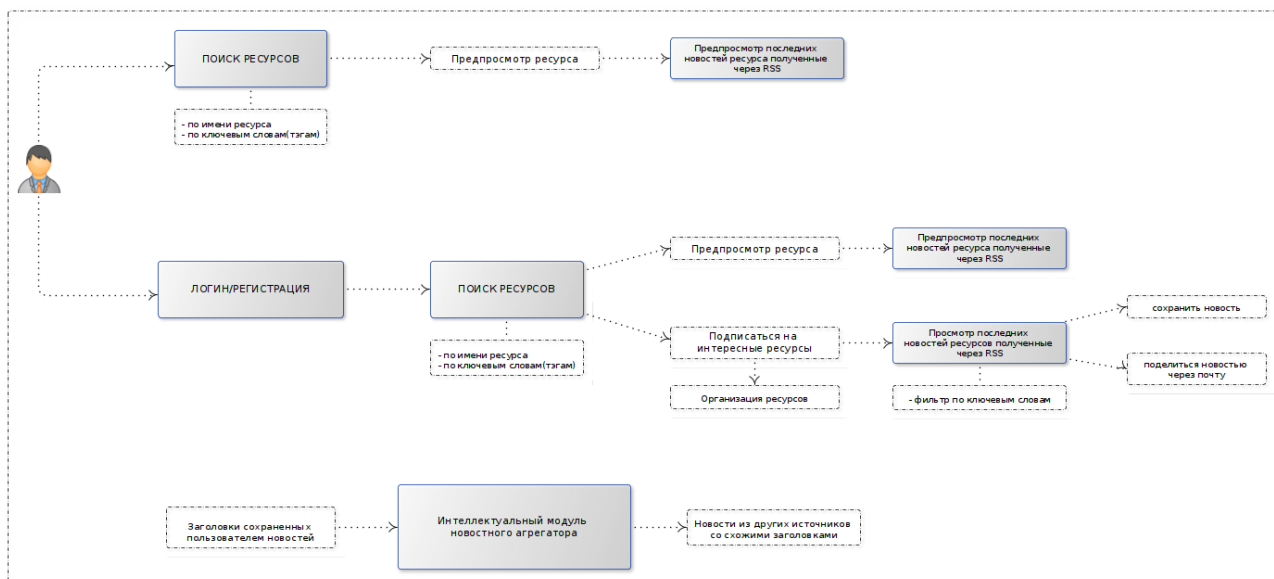


Рис. 1 – Архитектура новостного агрегатора

*Используемые технологии*

Разработка: Python, веб-фреймворк Django, Celery

База данных: PostgreSQL

Кэширование: Redis

**2 Интеллектуальный модуль**

В данной работе разработан модуль для новостного агрегатора.

Интеллектуальный модуль анализирует заголовки новостей и рекомендует пользователям новости со схожими заголовками используя технологии обработки естественного языка (NLP – Natural Language Processing). Рекомендательная система является эффективным методом, которая дает возможность пользователю находить интересные и нужные информации без самостоятельного поиска среди нескольких разных источников.

Интеллектуальный модуль новостного агрегатора на вход принимает сохраненные пользователем заголовки новостей и на выход выдает самые похожие заголовки с разных источников. Задача данного модуля состоит в работе с заголовками новостей, а именно анализ и вытаскивание нужной информации с текста. Алгоритмы машинного обучения не могут работать напрямую с необработанным текстом, поэтому перед анализом текст необходимо преобразовать в векторы чисел.

В общем виде работа интеллектуального модуля состоит из следующих процессов

- предварительная обработка заголовков
- извлечение признаков
- измерение косинусного сходства заголовков
- сортировка и выдача самых похожих заголовков

**2.1 Предварительная обработка заголовков**

Первый шаг в обработке естественного языка – это предварительная обработка. Предварительной обработкой текста называется процесс подготовки текста перед процессом кодирования. В работах [7, 8] описываются методы предобработки текста. Эти методы состоят из токенизации, удале-

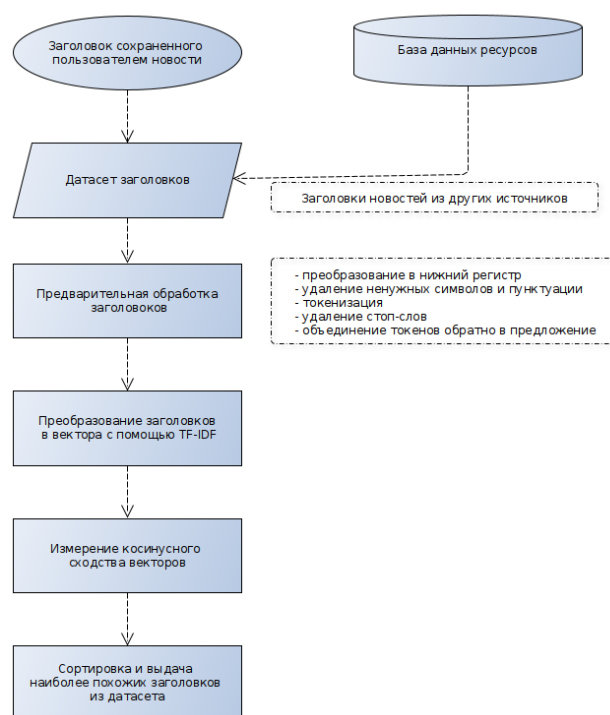


Рис. 2 – Алгоритм работы интеллектуального модуля

нии стоп-слов, приведении всех букв в нижний регистр и стемминга. В этих работах описывается влияние предварительной обработки при классификации текстов. В работе говорится, что влияние стемминга и удаления стоп-слов имеют разное влияние на точность алгоритма классификации для разных исследований. Предлагается использовать удаление стоп-слов и стемминг для уменьшения размерности признаков и увеличения эффективности алгоритмов машинного обучения. Для алгоритма стемминга в текущей работе выбран алгоритм Стеммера Портера. Алгоритм Стеммера Портера часто применяется для стемминга английского языка [7].

**2.2 Извлечение признаков**

Так как компьютеры не понимают текст на естественном языке, их необходимо преобразовать в векторы чисел.

При языковой обработке векторы  $x$  выводятся из текстовых данных, чтобы отразить различные лингвистические свойства текста [9]. В данной статье [9] описаны простые и популярные методы извлечения признаков из текста такие как Bag-Of-Words, TF-IDF и Word2Vec. TFIDF, сокращенно от слова «ча-

стота документа с обратной частотой», представляет собой числовую статистику, которая предназначена для отражения того, насколько важно слово для документа в коллекции или корпусе. Значение TF-IDF увеличивается пропорционально количеству раз слово появляется в документе и компенсируется количеством документов в корпусе, которые содержат это слово, что помогает учесть тот факт, что некоторые слова в целом встречаются чаще. TF-IDF – одна из самых популярных сегодня методом взвешивания терминов; 83% текстовых рекомендательных систем в электронных библиотеках используют TF-IDF [9]. В интеллектуальном модуле, который представлен в данной работе для извлечения признаков с заголовков был выбран метод TF-IDF.

$$TF - IDF = TF(i, j) \times IDF(i)$$

В результате применения метода TF-IDF формируется числовой вектор, который представляет в закодированном виде извлеченные заголовки новостей. Данное представление в дальнейшем облегчает процесс сравнения заголовков. Данное сравнение может быть осуществлено с помощью кластерных алгоритмов [10]. В настоящей работе применяется косинусное сходство, описанное в пункте 3.3.

### Косинусное сходство

Косинусное сходство измеряет схожесть двух векторов путем вычисления косинуса угла между этими двумя векторами. Для измерения меры сходства векторов обычно используется скалярное произведение. В работе [11] проведено исследование применения косинусного сходства для вычисления сходства входных и выходных векторов. Косинусное сходство – одна из наиболее широко используемых и мощных мер подобия в Data Science. Он используется во многих приложениях, таких как поиск похожих документов в NLP, поиск информации, поиск аналогичной последовательности ДНК в биоинформатике, обнаружение плагиата и многое другое [12].

Методы, основанные на подобию, определяют наиболее похожие объекты с наивысши-

ми значениями, поскольку это подразумевает, что они живут в более близких окрестностях. Из этих методов для анализа текста самым популярным является косинусное сходство. Для вычисления косинусного сходства используется следующая формула:

$$\cos(\theta) = \frac{A \times B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}}$$

Косинусное сходство в первую очередь касается ориентации, а не величины. Чем меньше угол между векторами, тем более похожими они являются. Поэтому в случаях когда величина векторов не важна, например при измерении дистанций между векторами, используется косинусное сходство [13]. В текущей работе косинусное сходство применяется для нахождения похожих заголовков новостей.

## 3 Эксперимент

### 3.1 Подготовка датасета

Для проведения эксперимента были выбраны источники из 2 категорий: программирование и бизнес/маркетинг. Из категории программирование было выбрано 7 ресурсов, такие как Real Python, Clean Coder Blog и т.п. Для категории бизнес/маркетинг было отобрано 4 ресурса: Entrepreneur, Bloomberg и т.п. Датасет был построен на основе заголовков новостей, которые были получены через RSS/Atom каналы всех выбранных ресурсов. В итоге было получено 140 новостных заголовков для категории программирование и 105 для категории бизнес/маркетинг

### 3.2 Сравнение метрик

Для сравнения метрик были выбраны следующие три метрики измерения дистанций между векторами: косинусное сходство, Евклидово расстояние и расстояние Жаккарда.

Для проверки работы интеллектуального модуля на вход для категории программирование был подан заголовок “Cool New Features in Python 3.9”. Также для категории бизнес/маркетинг был выбран заголо-

**Таблица 1 – Результат выдачи похожих заголовков 3-х метрик для категории программирование**

Метод	Ресурс	Заголовок	Величина
Косинусное сходство	Real Python	Python 3.9: Cool New Features for You to Try	0.863150096550615
	Real Python	The Real Python Podcast – Episode #30: Exploring the New Features of Python 3.9	0.5593503873802708
Евклидово расстояние	Real Python	Python 3.9: Cool New Features for You to Try	0.5231632698295726
	Real Python	The Real Python Podcast – Episode #30: Exploring the New Features of Python 3.9	0.938775385936092
Расстояние Жаккарда	Real Python	The Real Python Podcast – Episode #30: Exploring the New Features of Python 3.9	0.782608695652174
	Real Python	The Real Python Podcast – Episode #33: Going Beyond the Basic Stuff With Python and AI Sweigart	0.7727272727272727

**Таблица 2 – Результат выдачи похожих заголовков 3-х метрик для категории бизнес/маркетинг**

Метод	Ресурс	Заголовок	Величина
Косинусное сходство	Tech	Robocalls, WeChat messages, and more spread misinformation on Election Day	0.23818083754550962
	Bloomberg Politics	Two Bad Election Scenarios Come Back to Haunt Global Markets	0.20250327408707736
Евклидово расстояние	Tech	Robocalls, WeChat messages, and more spread misinformation on Election Day	1.2343574542688116
	Bloomberg Politics	Two Bad Election Scenarios Come Back to Haunt Global Markets	1.2629305015818746
Расстояние Жаккарда	Quartz	Nigeria’s EndSARS protests have been about much more than police brutality	0.8947368421052632
	Quartz	What’s the ethical case for CEOs publicly endorsing candidates?	0.8947368421052632

вок “Some scenarios of what could happen on election day and beyond”.

### Заключение

В данной статье был представлен новостной агрегатор, который автоматически собирает новости из различных источников с помощью RSS/Atom каналы. Особенностью новостного агрегатора, представленного в данной работе, является внедрение интеллектуального модуля для рекомендации похожих новостей. В работе [14] представлен новый подход для рекомендации научных статей на основе объединения мультимодальных представлений. Рекомендательная система представленная в работе [15] использовала

документы слушателей для извлечения контекстной рекомендации. В интеллектуальном модуле, который представлен в текущей работе, рекомендация новостей осуществляется с помощью преобразования заголовков в вектора методом TF-IDF и измерения косинусного сходства полученных векторов. Заголовки, которые имеют наибольшее значение косинусного сходства будут рекомендоваться пользователям. В дальнейших работах планируется внедрение в новостной агрегатор возможность регистрации с помощью Google аккаунта и аккаунтов социальных сетей. Зарегистрированные пользователи будут получать уведомления на почту о публикации новых новостей с подписанных ресурсов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Sudatta Chowdhury Monica Landoni. "News aggregator services: user expectations and experience" // Online Information Review.– 2006. – Т 30. –100-115 с.
2. William A. Hanff. News aggregator [Электронный ресурс].-URL: <https://www.britannica.com/topic/news-aggregator>
3. Агрегатор социальных сетей: материал из Википедии [Электронный ресурс].-URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/News\\_aggregator](https://en.wikipedia.org/wiki/News_aggregator)
4. Franziska Zimmer. An Evaluation of the Social News Aggregator Reddit // European Conference on Social Media. – 2018. – Лимерик, Ирландия.
5. Adrienne Erin. 10 social news aggregators to help you reach new audiences [Электронный ресурс].-URL: <https://socialnomics.net/2015/01/08/10-social-news-aggregators-to-help-you-reach-new-audiences/>
6. Alex Stolz, Martin Hepp. From RDF to RSS and Atom: Content Syndication with Linked Data // 24th ACM Conference on Hypertext and Social Media. – 1-3 Мая 2013. – Париж, Франция.
7. V. Srividhya, R. Anitha. Evaluating Preprocessing Techniques in Text Categorization // International Journal of Computer Science and Application Issue.-2010.
8. Dr. S. Vijayarani, MS. J. Ilamathi, Ms. Nithya. Preprocessing Techniques for Text Mining - An Overview // International Journal of Computer Science & Communication Networks. – Т 5(1). – 7-16 с.
9. Prasoon Singh. Fundamentals of Bag Of Words and TF-IDF [Электронный ресурс].-URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/fundamentals-of-bag-of-words-and-tf-idf-9846d301ff22>
10. Korbinian Koch. A friendly introduction to text clustering [Электронный ресурс].-URL: <https://towardsdatascience.com/a-friendly-introduction-to-text-clustering-fa996bcefd04>
11. Tan Thongtan, Tanasanee Phienthrakul. Sentiment Classification using Document Embeddings trained with Cosine Similarity // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop.-28 Июля-2 Августа 2019. – Флоренция, Италия. – 407-414 с.
12. Varun. Cosine similarity: How does it measure the similarity, Maths behind and usage in Python [Электронный ресурс].-URL: <https://towardsdatascience.com/cosine-similarity-how-does-it-measure-the-similarity-maths-behind-and-usage-in-python-50ad30aad7db>

13. Chris Emmery. Euclidean vs. Cosine Distance [Электронный ресурс].-URL: <https://cmry.github.io/notes/euclidean-v-cosine#:~:text=Cosine%20similarity%20is%20generally%20used,data%20represented%20by%20word%20counts>.
14. Shashank Gupta, Vasudeva Varma. Scientific Article Recommendation by using Distributed Representations of Text and Graph // International World Wide Web Conference Committee (IW3C2). – 2017.
15. Ziwon Hyung, Kibeom Lee, Kyogu Lee. Music recommendation using text analysis on song requests to radio stations // Music and Audio Research Group, Graduate School of Convergence Science and Technology, Seoul National University. – 2013. – Сеул, Корея.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ НА ВЫСОКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

ИСАХОВ А.А.<sup>1,2</sup>, АБЫЛКАСЫМОВА А.Б.<sup>2</sup>, МАНСУРОВА М.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби  
<sup>2</sup>АО «Казахстанско-Британский технический университет»

**Аннотация:** Высокая параллельная эффективность для различных крупномасштабных задач требует, чтобы вычислительная нагрузка была равномерно распределена между всеми вычислительными процессорами. В данном исследовании представлена схема динамического балансирования нагрузки, которая позволяет повысить эффективность сложных связанных симуляций с нетривиальными разложениями в области. Кроме того, результаты эксперимента с сильным масштабированием показывают, что выгода от выравнивания нагрузки пропорциональна степени параллелизма.

**Ключевые слова:** динамическое выравнивание нагрузки, параллельная эффективность, теплообмен в носовой полости, схема расщепления по физическим параметрам, метод конечных объемов

## КЛАСТЕРЛІК ЖОҒАРЫ ПАРАЛЛЕЛЬДІ ЕСЕПТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ЖҮКТЕМЕНІ ТЕҢДЕСТІРУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

**Аңдатпа:** Әртүрлі масштабты тапсырмалар үшін жоғары параллельді тиімділік есептеу жүктемесін барлық есептеу процессорлары арасында біркелкі бөлуді талап етеді. Бұл зерттеу аймақтағы тривиалды емес ыдырауымен күрделі байланысты модельдеудің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін динамикалық жүктемені теңдестіру схемасын ұсынады. Сонымен қатар жоғары масштабтау экспериментінің нәтижелері жүктемені теңестірудің пайдасы параллелизм деңгейіне пропорционалды екенін көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** жүктемені динамикалық теңестіру, параллельді тиімділік, мұрын қуысындағы жылу алмасу, физикалық параметрлер бойынша ыдырату схемасы, ақырлы көлем әдісі

## APPLICATION OF THE LOAD BALANCING METHOD ON HIGH PARALLEL COMPUTING CLUSTER SYSTEMS

**Abstract:** High parallel efficiency for various large-scale tasks requires that the computational load is evenly distributed among all computational processors. This study presents a dynamic load balancing scheme that improves the performance of complex coupled simulations with non-trivial domain expansions. In addition, the high scaling experiment results show that the benefit of load balancing is proportional to the degree of parallelism.

**Key words:** dynamic load balancing, parallel efficiency, air flow in the human respiratory system, alveolar state, heat exchange in the nasal cavity, projection method, finite volume method

## Введение

Носовая полость человека выступает в качестве важного компонента дыхательной системы с множеством жизненно важных функций, включая нагревание, фильтрацию, увлажнение воздушного потока и обоняние. Эти функции основаны на явлениях переноса, которые зависят от характера воздушного потока в носовой структуре. Обычная скорость дыхания в носовой полости рассматривается как ламинарный поток, который ускоряется в определенных местах носа и превращается в переходный поток, постепенно превращаясь в турбулентный поток из-за уменьшения площади поперечного сечения [1]. В работе [2] провели измерения с помощью лазерной анемометрии на модели человеческого носа и обнаружили, что поле потока в основном ламинарное, а профили скорости почти параболические во всех поперечных сечениях. С развитием высокопроизводительных вычислений в последние годы многие исследователи рассматривали моделирование с помощью вычислительной гидродинамики (CFD) в качестве альтернативного подхода для изучения воздушного потока в дыхательных системах человека. В работах [3-6] для моделирования воздушного потока в носовой полости используют ламинарную модель при относительно низких скоростях. Так для получения более точного численного результата для моделирования воздушного потока в носовой полости используется высокопроизводительные вычисления. Однако основным недостатком использования решателей является необходимость обмена членами источника через дисковый ввод-вывод. Помимо огромных требований к дисковому пространству для крупномасштабных задач, общая параллельная масштабируемость ограничена доступной пропускной способностью ввода/вывода. Таким образом, в работе был разработан новый связанный метод. Это позволяет одновременно выполнять оба метода с обменом данными в памяти. Кроме того, используя разделение вычислительной области в комбинации с динамической баланси-

ровкой нагрузки (DLB) является возможной. Таким образом данный метод сочетает в себе преимущества подходов прямого и гибридного решения, то есть минимизирует время для ввода-вывода и использует различные длины шкалы. Разделение вычислительной сетки широко используется для распараллеливания и балансировки нагрузки в приложениях для научных вычислений [7]. Данное разделение обеспечивает линейризацию объектов, расположенных в многомерном пространстве, сохраняя пространственную локальность. Таким образом, определение разложения домена сводится к решению проблемы одномерного разбиения, которая известна как проблема разбиения цепочек на цепочки (ССР). Проблема ССР широко изучалась в литературе, давая точные решения [8], параллельные эвристики [9], масштабируемые иерархические алгоритмы [10], а также расширение для гетерогенных систем [11]. Все эти методы предполагают, что имеется достаточно точная информация о распределении рабочей нагрузки. Это может быть достигнуто, например, с помощью инструментария кода для измерения времени вычислений на объектной основе [12]. Однако в случае, если такой подход неосуществим, требуется альтернатива для оценки весов для различных типов объектов с разными вычислительными затратами. Это предполагает, что каждый объект определенного типа демонстрирует одинаковую постоянную нагрузку. Тем не менее, для сложных приложений это часто приводит к неоптимальной декомпозиции домена со сбалансированной нагрузкой, поскольку локальные изменения рабочей нагрузки не фиксируются. Следовательно, требуется метод DLB для секционирования на основе разбиения вычислительной области, который более непосредственно нацелен на дисбаланс нагрузки. В данной работе представлена схема динамического выравнивания нагрузки для связанных методов, которая позволяет повысить эффективность комплексного моделирования с нетривиальными разложениями доменов.

### 1. Распараллеливания с помощью динамической балансировки нагрузки

Для моделирования потока воздуха в носовой полости, основные уравнения для сохранения массы, импульса, температуры и относительной влажности. Для численного решения данной системы уравнений используется схема расщепления по физическим параметрам [13]. Уравнения дискретизируются с помощью метода конечных объемов [13]. Конечная цель динамической балансировки нагрузки – максимизировать общую производительность параллельных вычислений путем перераспределения рабочей нагрузки между процессами так, чтобы вся доступная вычислительная мощность использовалась на полную мощность [7]. Балансировка нагрузки в высокопараллельных приложениях является ключом для эффективного использования ресурсов [14], поскольку даже незначительные дисбалансы могут серьезно повлиять на производительность и масштабируемость вычислений. Численное моделирование обычно включает частую связь между подобластями MPI, так что усугубление дисбаланса будет происходить на каждой итерации или стадии временного шага из-за синхронизации [15]. Кроме того, потеря производительности чувствительна к конкретной модели дисбаланса. Один перегруженный процесс значительно снизит общую производительность. Причина этого заключается в том, что все остальные процессы ждут и бездействуют, пока не будет продолжена связь между соседними областями. С другой стороны, некоторые недостаточно загруженные процессы будут иметь незначительное влияние на общую производительность. Наконец, дисбалансы можно классифицировать как динамические или статические [15]. Динамические дисбалансы возникают, если распределение рабочей нагрузки изменяется в зависимости от времени, что происходит, например, при использовании адаптивных сеток решения. Постоянное распределение рабочей нагрузки приведет к статическому дисбалансу.

Дисбаланс нагрузки и результирующее влияние на производительность могут быть количественно определены с помощью различных показателей. Здесь процент дисбаланса [44], который выражает серьезность дисбаланса, и определяется в таком виде  $I_{\%} = \frac{t_{\max} - t_{\text{avg}}}{t_{\max}} \frac{N}{N-1}$ . Величины  $t_{\max}$  и  $t_{\text{avg}}$  представляют максимальное и среднее время, необходимое для обработки данного фрагмента программного кода, а  $N$  - количество параллельных процессов. Значение  $I_{\%}=0\%$  соответствует идеально сбалансированному распределению нагрузки, а  $I_{\%}=100\%$  связано с разделом кода, выполняемым только для одного процесса. Таким образом, данная метрика показывает количество потраченных впустую ресурсов. Это предполагает, что все, кроме самого медленного процесса, простаивают в конце соответствующего раздела кода, что может быть связано с завершением одного временного шага или этапа схемы интегрирования по времени в численном моделировании. Потенциальная экономия времени работы выражается через время дисбаланса  $I_t = t_{\max} - t_{\text{avg}}$  в предположении, что достигается идеальный баланс нагрузки [16]. Кроме того, влияние времени распределения оценивается как  $I_T = N I_p$ , что является верхней границей общего количества потраченных ресурсов [15].

Ключом к разделению и балансировке нагрузки для связанных задач является оценка вычислительных затрат для различных объектов при моделировании [12]. Стандартный подход для сред с единственным методом направлен на равномерное распределение объектов по всем параллельным поддоменам, предполагая однородную вычислительную среду и то, что каждый объект имеет одинаковые постоянные вычислительные затраты. Однако это создает трудности, если существует несколько типов объектов с различными вычислительными затратами. Эта проблема может быть уменьшена путем использования заранее определенных вычислительных весов для каждого типа объекта, который для рассматриваемого случая включает в себя вычислительные ячейки. Однако для слож-

ных приложений это часто приводит к неоптимальной декомпозиции с балансировкой нагрузки из-за неточных вычислительных весов, которые не учитывают вычислительные нагрузки всех задействованных алгоритмических элементов или неоднородного вычислительного оборудования. Инструментальные средства кода для измерения фактического времени вычислений каждого объекта представляют собой возможные контрмеры [17]. Однако этот подход часто оказывается невозможным для научных приложений из-за значительных усилий по внедрению и дополнительных накладных расходов, вызванных различными инструментами. Таким образом, для оценки вычислительных весов требуется минимально навязчивый и надежный метод, который, в свою очередь, может использоваться для балансировки нагрузки.

Алгоритм DLB, предложенный в этом исследовании, оценивает вычислительные веса на основе измерений вычислительного времени в каждом параллельном поддомене. Кроме того, в текущее распределение объектов включены различные методы среди всех поддоменов. Эти типы объектов, которые можно рассматривать как различные типы нагрузки, приводят к изменению состава нагрузки. Во время моделирования общее время вычислений всех методов измеряется локально для каждого временного шага. В каждом поддомене  $i$  среднее значение  $r_i$  определяется как усеченное среднее значение на 25% для фильтрации внешних программных воздействий [15]. С глобальным средним временем вычислений среди всех  $N$  параллельных процессов задаются как

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} r_i \quad (1)$$

локальная вычислительная нагрузка  $l_i$  определяется в таком виде

$$l_i = \frac{r_i}{\bar{r}} \quad (2)$$

В последствии вычислительные веса  $c$  для различных типов нагрузки могут быть оценены путем решения задачи  $Ac = l$  с помощью метода наименьших квадратов, причем правая часть определяется вектором нагруз-

ки  $l$ , а левая матрица  $A$  представляет текущее распределение рабочей нагрузки среди всех поддоменов. Это предполагает, что в среднем нагрузка может быть выражена как линейная комбинация отдельных вкладов рабочей нагрузки. Линейная задача наименьших квадратов с единственным решением минимальной нормы может быть записана как

$$\|Ac - l\|_2 = \min_v \|Av - l\|_2 \text{ и } \|v\|_2 \quad (3)$$

В настоящей работе для решения проблемы методом наименьших квадратов используется процедура DGELSD в LAPACK [17], приведенной в формуле (3). Пример для этой процедуры с двумя типами нагрузки, распределенными среди  $N=4$  параллельных поддоменов, приведен в формуле (4). Решение переопределенной системы линейных уравнений методом наименьших квадратов дает расчетное весовое соотношение 2.61 между двумя типами нагрузки. Таким образом, среднее время вычислений для второго типа объекта оценивается в 2.6 раза выше, чем у первого.

$$N \begin{cases} \begin{bmatrix} 10 & 7 \\ 13 & 4 \\ 12 & 2 \\ 5 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.2 \\ 0.9 \\ 0.8 \\ 1.1 \end{bmatrix} \Leftrightarrow Ac = l \xrightarrow{\text{least squares solution}} \\ c = \begin{bmatrix} 0.0420 \\ 0.1097 \end{bmatrix} \quad \frac{c_1}{c_0} = 2.61 \end{cases} \quad (4)$$

В общем, вычисление с помощью декомпозиции области на основе моделирования сводится к решению возникающей проблемы ССР. Простое расширение для динамической балансировки нагрузки дается путем оценки вычислительных весов для различных типов нагрузки во время моделирования, чтобы определить новые рабочие нагрузки в качестве входных данных для проблемы разделения с помощью 1D декомпозиции области. Однако, поскольку локальные изменения рабочей нагрузки не фиксируются, разделение может быть неоптимальным с точки зрения производительности, поскольку любой выбранный алгоритм ССР стремится к оптимальному качеству раздела. Поэтому для более строгого устранения дисбаланса нагруз-

ки предлагается другая процедура для определения новых смещений домена для разделения на основе моделирования. Во-первых, начальное разбиение улучшается за счет использования вышеупомянутого способа для получения достаточно хорошей начальной точки для последующих этапов. На следующих этапах перераспределения отдельные смещения области уточняются итеративно на основе измеренного дисбаланса нагрузки и вычисленных весов вычислений. В качестве отправной точки, кумулятивные дисбалансы нагрузки, представленные в виде

$$s_j = \sum_{i=0}^{j-1} l_i - 1, \forall j \in \{1, \dots, N\} \text{ с } s_0 = 0 \quad (5)$$

Каждое значение количественно определяет для соответствующего смещения домена  $o_j$  общий дисбаланс нагрузки области слева и справа от позиции разделения. Таким образом, оптимальное локальное положение требует смещения  $o_j$  во время проведения моделирования, чтобы минимизировать совокупный дисбаланс. Общее предположение этого подхода состоит в том, что путем оптимизации каждого смещения в отдельности может быть получен глобальный баланс нагрузки. Эта процедура может быть понята как инкрементный, диффузионный метод DLB [17], основанный на разделении CFD, который может лучше подходить для крупномасштабного моделирования [18]. С вычислительной нагрузкой  $l_i$  каждого параллельного поддомена, совокупные дисбалансы  $s_j$  вычисляются в соответствии с формулой (5). Таким образом, расхождение нагрузки между всеми процессами слева и справа от каждой позиции разделения определяется количественно. Это подразумевает, что, учитывая значение  $s_2=0.45$  в примере, вычислительная нагрузка первых двух процессов значительно выше, чем у двух оставшихся. Поэтому, сдвигая смещение влево, рабочая нагрузка перемещается из перегруженных в недостаточно загруженные процессы. Соответственно, глобальные дисбалансы нагрузки могут быть уменьшены путем индивидуального сдвига каждого смещения домена в направлении, заданном

$$w_k = l_i w_k \quad (6)$$

Распределение нагрузки  $w_k$  ячейки раздела  $k$  в домене  $i$  вычисляется как  $\tilde{w}_k = l_i \bar{w}_k$

с,  $\bar{w}_k = \frac{w_k}{W_i}$ , что можно интерпретировать как распределение нагрузки  $l_i$  на ячейки локального раздела. Путем уравнивания совокупного дисбаланса  $s_j$  с пересекаемыми долями нагрузки на ячейки раздела

$$s_j^k = s_j^{k-1} + d_j \cdot f_{penalty} \cdot \tilde{w}_m(k) \quad \text{для } k \geq 1 \quad \text{с}$$

$$m(k) = o_j + d_j k - \frac{1}{2}(d_j + 1) \text{ и } s_j^0 = s_j \quad (7)$$

необходимое смещение каждого смещения  $o_j$  можно оценить по индексу последовательности  $k$ , для которого выполняется  $s_j^k \approx 0$ . Дополнительный коэффициент штрафования  $f_{penalty} \geq 1$  позволяет ограничить смещения и предотвратить выбросы. Таким образом, алгоритм DLB уточняет разбиение во время моделирования. Этот подход иллюстрируется с помощью уравнения (1) для второго смещения домена  $o_2$ , используя штрафной коэффициент  $f_{penalty} = 1.25$ . Согласно формуле (7), начальный совокупный дисбаланс  $s_2=0.45$  минимизируется путем сдвига смещения на две ячейки разделения, что дает смещение нового домена.

Кроме того, путем введения факторов

$$s_2^0 = 0.45 \rightarrow s_2^1 = 0.45 - 1.25 \cdot 1.2 \cdot 0.1 = 0.3 \\ \rightarrow s_2^2 = 0.3 - 1.25 \cdot 1.2 \cdot 0.15 = 0.075.$$

производительности, оценивающих скорость обработки на разных вычислительных узлах, этот подход может быть расширен и нацелен также на вычисления на разнородных вычислительных аппаратных средствах. Относительная производительность обработки может быть определена путем соотношения локальной нагрузки с обратной величиной относительной рабочей нагрузки домена. Вес мощности для количественной оценки относительных скоростей вычислений [19], нахо-

даться в таком виде:  $p_j = l_i \overline{W} / W_i$ . Используя соответствующие вычислительные мощности в качестве дополнительного фактора в процедуре итерации, приведенной в формуле (7), большая рабочая нагрузка может быть перенесена из более медленных процессов в более быстрые и наоборот. Например, учитывая высокую и низкую вычислительную мощность  $p_{i-1}=0.8$  и  $p_i=1.2$ , рабочая нагрузка, смещенная с более быстрого на более медленные процессы, взвешивается с коэффициентом  $p_i/p_{i-1}=1.5$ . В целом, этот подход DLB подходит для приложений со статическим или динамическим дисбалансом нагрузки. В последнем случае, однако, стоимость частого перераспределения должна быть сбалансирована с потенциальным увеличением производительности. В этом исследовании используется последовательная версия алгоритма DLB, которая требует сбора рабочих нагрузок ячейки раздела в одном домене. Чтобы снизить накладные расходы на связь и требования к памяти, возможно расширение иерархической параллельной версии. Тем не менее, при наличии только одного значения на вычислительную ячейку раздела объема связи довольно низок по сравнению, например, с большим количеством информации о нагрузке [20].

## 2. Результаты численного моделирования и параллельный анализ эффективности

В результате численного моделирования аэродинамики носовой полости человека получены следующие данные. Для проведения анализа параллельного численного алгоритма использовались данные из статьи [15], где описаны профили продольной компоненты скорости и температуры в трех поперечных сечениях. Среднее время потраченная на шаг времени моделирования разделено на вычисления и связь между всеми параллельными поддоменами. При использовании DLB общая вычислительная нагрузка распределяется между параллельными поддоменами более равномерно, в то время как одновременно в вычислении CFD участвует больше рангов. Процент дисбаланса  $I_{\%}$  уменьшен с 31% до

9%, что соответствует значительному улучшению производительности при экономии времени выполнения на 22%. Как показывает этот показатель дисбаланса, потенциальная экономия еще выше при условии идеального баланса нагрузки. Однако, что касается сложности полностью связанного моделирования с резко изменяющимися составами нагрузки, и без того достаточно хорошее начальное разбиение значительно улучшается. Автоматический алгоритм DLB работает с минимальной информацией о типе задач. Суммарные вычислительные ресурсы, требуемые для одного шага по времени моделирования с сильным масштабированием от 28 до 80 вычислительных ядер без DLB и с DLB, изображены на рисунке 1. Кроме того, среднее время простоя показано для каждой конфигурации. Для меньшего числа вычислительных ядер параллельные вычисления демонстрируют лишь небольшой дисбаланс. Из-за низкой степени параллелизма каждому домену назначается огромная вычислительная нагрузка, которая сохраняет дисбалансы, вызванные, например, неточными вычислительными весами. Тем не менее, для DLB наблюдаются небольшие улучшения в отношении общей параллельной производительности. Во время масштабирования дисбалансы нагрузки в эталонном моделировании начинаются с процента дисбаланса  $I_{\%}=9.6\%$  для 28 ядер и увеличиваются до  $I_{\%} = 31\%$  для 84 ядер. Одновременно общий объем вычислительных ресурсов, необходимых для выполнения вычислений в моделировании, увеличивается почти на 20% из-за уменьшения размеров локальных задач. С балансировкой нагрузки дисбалансы уменьшаются до примерно  $I_{\%}=4,6\%$  и  $I_{\%}=22\%$  для моделирования на 28 и 84 вычислительных ядрах. Таким образом, несмотря на то, что все еще есть потенциал для достижения дальнейших улучшений с помощью DLB, выгода увеличивается со степенью параллелизма, экономя 22% вычислительных ресурсов при использовании 84 ядер. Тенденция расчетных весовых соотношений между вычислительными ячейками дает дополнительное представ-

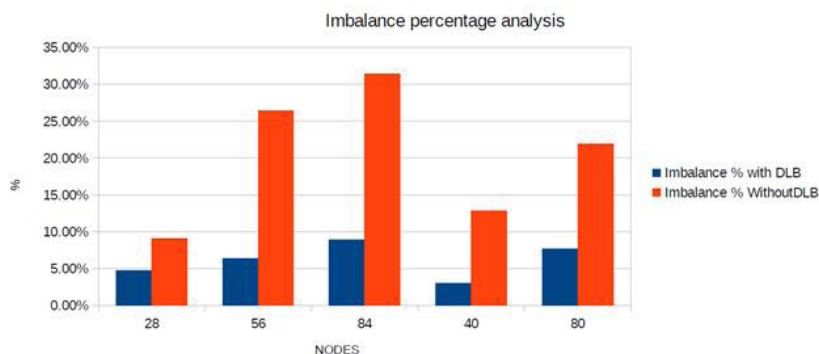


Рис. 5 – Распределение нагрузки для моделирования с использованием различных вычислительных ядер без (слева) и с балансировкой нагрузки (справа)

ление о худших характеристиках эталонного моделирования при использовании большого числа ядер. Для низких степеней параллелизма весовое соотношение вычислений близко к расчетному априорному значению, которое используется для начального разбиения. Однако для большего числа вычислительных ядер это соотношение значительно уменьшается. Аналогично наблюдениям, основанным на времени вычисления на ячейку и временном шаге это поведение может быть объяснено снижением эффективности решателя при моделировании при уменьшении размера задачи в каждом параллельном поддомене. Из-за растущего расхождения в отношении предписанного весового соотношения качество разложения домена постепенно ухудшается и вызывает значительный дисбаланс нагрузки.

### Заключение

Моделирование движения воздуха в носовой полости демонстрирует эффективность схемы DLB для различных крупномасштабных связанных задач. Детальный анализ производительности показал необходимость метода DLB для непосредственного определения дисбалансов нагрузки, которые, например, вызваны индивидуальной эффективностью вычисления в зависимости от состава локальной рабочей нагрузки и масштабируе-

мости отдельных программных кодов. Кроме того, эксперимент с сильным масштабированием показал улучшение производительности при растущей степени параллелизма, когда используются априорные оценочные вычислительные веса для начального разбиения. А также в ходе исследования носовой полости можно сделать следующие выводы, что стенки носовой полости способствуют нагреву воздуха и появлению вихрей, которые имеют немаловажное значение для перехода входного воздуха в альвеолярное состояние, перед тем как попасть в носоглотку. А также немаловажную роль играет, относительная влажность в носовой полости, так как при низких температурах окружающей среды за счет влажности идет нагревание входного воздуха. Исследования движения воздуха в носовой полости являются актуально значимыми, так как в настоящее время, по разным причинам увеличивается количество людей с проблемами дыхания через нос. Так данная проблема разрешается хирургическим путем, где важно оперировать структуру носа оптимально, так чтобы носовая полость правильно функционировала, поскольку нормальное дыхание должно осуществляться с помощью носовой полости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Doorly, D., Taylor, D., Schroter, R., 2008c. Mechanics of airflow in the human nasal airways. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 163, 100–110.

2. Girardin, M., E. Bilgen, and P. Arbour. Experimental study of velocity fields in a human nasal fossa by laser anemometry. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 92:231–236, 1983.
3. Croce, C., Fodil, R., Durand, M., Sbirlea-Apiou, G., Caillibotte, G., Papon, J.-F., Blondeau, J.-R., Coste, A., Isabey, D., Louis, B., 2006. In vitro experiments and numerical simulations of airflow in realistic nasal airway geometry. *Ann. Biomed. Eng.* 34, 997–1007.
4. Keyhani, K., Scherer, P., Mozell, M., 1995. Numerical simulation of airflow in the human nasal cavity. *J. Biomech. Eng.* 117, 429-441.
5. Wang, T., Chen, D., Wang, P., Chen, J., Deng, J., 2016. Investigation on the nasal airflow characteristics of anterior nasal cavity stenosis. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 49.
6. Naftali S, Rosenfeld M, Wolf M, Elad D (2005) The air-conditioning capacity of the human nose. *Ann Biomed Eng* 33:545–553.
7. Hendrickson B., Devine K. Dynamic load balancing in computational mechanics, *Comp. Methods in Appl. Mech. Eng.*, vol. 184, no. 2–4, pp. 485–500, Apr. 2000.
8. Pinar A., Aykanat C. Fast optimal load balancing algorithms for 1D partitioning, *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 64, no. 8, pp. 974–996, Aug. 2004.
9. Pilkington J. R., Baden S. B. Dynamic partitioning of non-uniform structured workloads with spacefilling curves, *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 288–300, Mar. 1996.
10. Lieber M., Nagel W. E. Scalable high-quality 1D partitioning, in *HPCS*, 2014, pp. 112–119.
11. Pinar A., Kartal Tabak E., Aykanat C. One-dimensional partitioning for heterogeneous systems: Theory and practice, *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 68, pp. 1473–1486, Nov. 2008.
12. Menon H., Jain N., Zheng G., Kale L. Automated load balancing invocation based on application characteristics, in *IEEE Cluster Comput.*, 2012, pp. 373–381.
13. Issakhov A. Mathematical modeling of the discharged heat water effect on the aquatic environment from thermal power plant under various operational capacities // *Applied Mathematical Modelling*, –2016, Volume 40, Issue 2, pp. 1082–1096
14. Ashby S. The Opportunities and Challenges of Exascale Computing. ASCAC subcommittee, US - DOE Report, 2010.
15. Böhme D. Characterizing Load and Communication Imbalance in Parallel Applications, ser. IAS. Forschungszentrum Jülich, 2014, vol. 23.
16. DeRose L., Homer B., Johnson D. Detecting Application Load Imbalance on High End Massively Parallel Systems, *Parallel Processing*, pp. 150–159, Aug. 2007.
17. Anderson E., Bai Z., Bischof C., Blackford S., Demmel J., Dongarra J., Du Croz J., Greenbaum A., Hammarling S., McKenney A., Sorensen D. *LAPACK Users' Guide*, 3rd ed. SIAM, 1999. ISBN 0-89871-447-8
18. Lieber M., Gößner K., Nagel W. E. The potential of diffusive load balancing at large scale, in *EuroMPI*, 2016, pp. 154–157.
19. Zhang X., Yan Y. Modeling and characterizing parallel computing performance on heterogeneous networks of workstations, *Parallel Distrib. Comput.*, pp. 25–34, Oct. 1995.
20. Zheng G., Bhatelé A., Meneses E., Kalé L. V. Periodic hierarchical load balancing for large supercomputers, *Int. J. High Perform. Comput. Appl.*, vol. 25, no. 4, pp. 371–385, Nov. 2011.

**БЕЙНЕЛЕРДЕГІ ДОМИНАНТТЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ БӨЛУ****МУХАМЕТЖАНОВА Б.О., КАЗАНЦЕВ И.Г., СЕЙПИШЕВА Э.К.**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті  
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті*

***Аңдатпа:** Қазіргі уақытта бейнелерді өңдеу – деректерді өңдеудің ең жылдам дамып келе жатқан салаларының бірі. Бейнелерді сандық өңдеу және көрнекі бейнелерді тану есептерінің өзгеру алгоритмі ұсынылады. Сандық бейнелерді өңдеудің маңызды міндеттерінің бірі бейненің бұрыштық нүктелерін анықтау алгоритмін жасау, өйткені оны таңдау әртүрлі тапсырмаларды шешудің негізгі кезеңі болып табылады. Сондықтан бейненің бұрыштық нүктелерін табу алгоритмін жасау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті. Жылжымалы фрагменттерді немесе терезелерді дәстүрлі әдісте қолдану үшін бейнелердегі бұрыштарды бөлудің жаңа маскалары қарастырылған.*

***Түйінді сөздер:** сандық бейнелер, бұрыштар, шекаралар, маскалар, бейнені өңдеу*

**ВЫДЕЛЕНИЯ ДОМИНАНТНЫХ СТРУКТУР НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

***Аннотация:** В настоящее время обработка изображений - одна из самых быстрорастущих отраслей обработки данных. Рассматривается алгоритм изменения задач цифровой обработки изображений и распознавания визуальных изображений. Одной из важных задач обработки цифровых изображений является разработка алгоритма определения угловых точек изображения, так как его выбор является основным этапом решения различных задач. Поэтому разработка алгоритма нахождения угловых точек изображения актуальна с научной и практической точки зрения. Для использования переносных фрагментов или окон в традиционном методе предусмотрены новые маски распределения углов в изображениях.*

***Ключевые слова:** цифровые изображения, углы, границы, маски, обработка изображений*

**HIGHLIGHTING DOMINANT STRUCTURES IN IMAGES**

***Abstract:** Image processing is currently one of the fastest growing data processing industries. An algorithm for changing the tasks of digital image processing and visual image recognition is considered. One of the important tasks of digital image processing is the development of an algorithm for determining the angular points of an image, since its selection is the main stage of solving various problems. Therefore, the development of an algorithm for finding angular image points is relevant from a scientific and practical point of view. For the use of portable sections or Windows in the traditional method provided by the new mask of the distribution of angles in images.*

***Key words:** digital images, angles, borders, masks, image processing*

Сандық бейнелерді сандық есептеу машиналары (компьютерлер) арқылы өңдеуді сандық бейнелерді өңдеу деп аталады. Сандық бейнелер әрбір нақты жерде орналасқан және белгілі бір мәнді қабылдайтын элементтердің соңғы санынан тұрады. Бұл элементтер бейнелер элементтері немесе пиксельдер деп аталады. Көру – біздің сезім органдарының ең кемелдісі, сондықтан көрнекі бейнелер адам қабылдауында маңызды рөл атқарады. Адамдарға қарағанда электромагниттік сәулеленуді көрінетін диапазонда ғана қабылдауға қабілетті, бейнелерді машинамен өңдеу гамма-сәуледен радиотолқынға дейінгі барлық электромагниттік спектрді қамтиды. Өңделетін бейнелер адам үшін байқалатын бейнелермен ерекше байланысқан көздер тудыруы мүмкін. Осылайша бейнелерді сандық өңдеуді кең және әртүрлі салаларында қолданады. Кескіндерді өңдеуден машинаға дейінгі барлық диапазонда нақты шек жоқ, дегенмен, онда төмен, орташа және жоғары деңгейдегі компьютерленген процестерді ажыратуға болады.

Сандық бейнелерді өңдеу алгоритмдері адам қызметінің түрлі салаларында ғылыми және пайдаланбалы зерттеулерде кеңінен қолданылады. Сандық бейнелерді өңдеудің маңызды міндеттерінің бірі бейненің бұрыштық нүктелерін анықтау алгоритмін жасау, өйткені оны таңдау сан түрлі тапсырмаларды шешудің негізгі кезеңі болып табылады. Сондықтан бейненің бұрыштық нүктелерін табу алгоритмін жасау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті. Жылжымалы фрагменттерді немесе терезелерді дәстүрлі әдісте қолдану үшін бейнелердегі бұрыштарды бөлудің жаңа маскалары қарастырылады. Бұрыштық нүктелер бейненің маңызды жергілікті ерекшелігі болып саналады және доминантты, ерекше немесе қызығушылық нүктелері деп аталады. Бұрыштар айналуға және жарықтандыру жағдайларының өзгеруіне инвариантты. Бұрыштарды анықтаудың бөгетсіз және тиімді алгоритмдерін жасауға қызығушылық онжылдықтар бойы бар, жасалатын әдістердің көздері болып көптеген ғылым салалары, сандық өңдеуден бастап

суреттер мен оптиканың дифференциалды және интегралды геометрияға дейін қызмет етеді. Бейнелердің өңдеуінде бұрыштың жақтарын құрайтын тура шекаралар деп аталады, өйткені бейненің бір бөлігінің екінші жағынан айырмашылығын сипаттайтын жарықтықтың басым өзгерістері ретінде визуалды қабылданады. Сондықтан бұрыштарды іздеуге кең таралған тәсілдердің бірі шекаралар мен бинаризацияны бөлуден және бейненің бинарлық аналогында табудың келесі рәсімдерінен тұрады. Әдістің негізінде нүкте төңірегіндегі бейненің жарықтығын екінші туынды нөлге теңдігіне және белгінің шекараға нормаль бағытында өзгертілуіне байланысты зерттеу жатады. Осы әдіс үшін ұсынылған көптеген градиентті маскалар белгілі [1]-[7]. Әдебиетте бұрыштарды талдаудың аналитикалық және практикалық аспектілері, атап айтқанда электр желілерін тексеру және бақылау, машиналық оқыту әдістері туралы көптеген мақалалар бар. Жеке өзекті проблема қазіргі уақытта бетті тану болып табылады, онда жергілікті екілік шаблондар әдісі қолдану үшін айрықша орын тапты.

Алгоритмдердің екінші тобы шектерді және бинаризацияны шығармайды, ал оның элементтерін жергілікті шеңбермен сканерлеу және бейненің фрагментінің корреляциясын есептеу арқылы тікелей жартылай тонды бейнемен жұмыс істейді бұрыштық құрылымның бағдарламалау моделі. Бұрыштың ішкі аймағы жақынырақ плато болып табылады деп болжануда. Маска өлшемі тақ, бейнені сканерлеу кезінде оның орталық элементі зерттелетін бейне элементіне орналастырылады. Бейненің әрбір элементі үшін масканың әрқилы айналуында орталық элементтің жанында корреляция шамалары есептеледі. Олардың ең жоғары абсолюттік мәні нүктеде бұрыштың бар өлшемі ретінде қалдырылады. Әдетте, маскалар тікелей бұрыштарды бөлу үшін құрастырылған. Практикада тура бұрыштардың маскасы 90 градустан аз бұрыштарды жақсы қадағалайды. Дәстүрлі әдіспен маскаларды есептеудің екі мысалын келтірейік.

5×5 элементтердің дәстүрлі маскасын қарастырайық (1 сурет) 90 градус болатын бұрышты бөлуге арналған. Оның 25 элементтерінің мәндері мынадай түрде есептеледі. Бұрышқа 3×3=9 оң элемент, теріс 25-9=16 элемент қалады. Маска дифференциалды болуы үшін оның элементтерінің сомасы нөлге тең болуы керек. Сондықтан бұрыш аймағы +16 мәні бар тоғыз элементпен, Фон аймағы – (-9) мәні бар он алты элементпен толтырылады. Бұдан 9\*(+16)+16\*(-9)=0.

$$W = \begin{matrix} \begin{matrix} ? & & & \dots & & & ? \\ & -9 & -9 & -9 & -9 & 16 & \\ & -9 & -9 & -9 & 16 & \vdots & \\ \vdots & \vdots & -9 & 16 & 16 & \vdots & \vdots \\ & -9 & -9 & -9 & 16 & \vdots & \\ & -9 & -9 & \dots & -9 & 16 & \\ ? & & & \dots & & & \end{matrix} \end{matrix}$$

1 сурет – Маска 5×5 бұрышын таңдау 90 градуста

Тікелей бұрыштар үшін 7×7 элементтердің маскасын қарастырайық (2 сурет). Оның 49 элементтерінің мәні ұқсас есептеледі. Бұрышқа 4×4=16 оң элементтер, теріс 49-16=33 элементтер қалады. Оның элементтерінің сомасы нөлге тең болуы үшін бұрыш аймағы +33 мәндерімен он алты элементпен толтырылады, фон аймағы – (-16) мәндерімен отыз үш элементпен толтырылады. Бұдан 16\*(+33)+33\*(-16)=0.

$$U = \begin{matrix} \begin{matrix} -16 & \dots & -16 & 33 & \dots & \dots & 33 \\ & & \vdots & \vdots & & & \vdots \\ & & \vdots & 33 & & & \vdots \\ \vdots & & -16 & 33 & 33 & \dots & 33 \\ & & -16 & -16 & \dots & \dots & -16 \\ & & & & & & \\ -16 & & & \dots & & & -16 \end{matrix} \end{matrix}$$

2 сурет – Маска 7×7 бұрышын таңдау 90 градуста

Қаралған детекторлар бірқатар кемшіліктерге ие. Олар жоғары шу коэффициенті бар және иерархиялық есептеулерді ұйымдастыру үшін қажетті қасиеттерге ие емес. Мысалы, 5×5 масканы сканерлеу деректерін үлкен өл-

шемдегі маскаларға есептеу үшін пайдалану қиын. Ретті ұлғаятын өлшемдердің маскалары бар есептеулер сызықтық және көлемдік параметрлер және бұрыштың фон аймағына өту сәті туралы ақпарат береді. Сондықтан иерархиялық немесе масштабталу қасиеттеріне ие маскаларды құрастыруға әрекет жасалды. Мұндай маскалар, егер бұрыштық құрылым мен фон арасындағы шекара W және U матрицаларында сияқты олардың жалпы шекарасы бойынша екі көрші пиксельдер арасында емес, бір пиксельдің ішінде өтеді деп болжаса алынады. Содан кейін фон және бұрыш орналасқан пиксельдің үлесін есептеймізде, масканың әрбір элементі үшін және оларды жалпы бөлгішті пайдалана отырып, бүтін мәндерге келтіре отырып, S және T матрицаларын алуға болады (3 және 4 сурет).

$$S = \begin{matrix} \begin{matrix} -1 & & & \dots & & -1 & 1 \\ & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 3 \\ & -1 & -1 & -1 & 1 & 3 & 3 \\ \vdots & -1 & -1 & 0 & 3 & 3 & 3 \\ & -1 & -1 & -1 & 1 & 3 & 3 \\ & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 3 \\ -1 & & & \dots & & -1 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

3 сурет – Иерархиялық маска 5×5 және 7×7 бұрышын таңдау 90 градуста

$$T = \begin{matrix} \begin{matrix} -1 & \dots & -1 & 3 & 7 & 7 & 3 \\ & -1 & -1 & 3 & 7 & 3 & -1 \\ & & -1 & 3 & 3 & -1 & \\ \vdots & \vdots & -1 & 0 & -1 & \vdots & \vdots \\ & & -1 & -1 & \dots & & \\ & -1 & & \dots & & -1 & \\ -1 & & & \dots & & & -1 \end{matrix} \end{matrix}$$

4 сурет – Иерархиялық маска 5×5 және 7×7 бұрышын таңдау 45 градуста

Жаңа маскалар шамамен бұрыш шекарасында маңызды екенін көру оңай оның ішінде 2 есе аз. Бұл бұрыштың шулы шекарасындағы сызылған бейнедегі кескін фрагментінің мәнін бағалауда тегістіктің қасиетін ораудың осындай ядросына береді. Маскалар айналуға инвариант болып табылады. S матрицасы та-

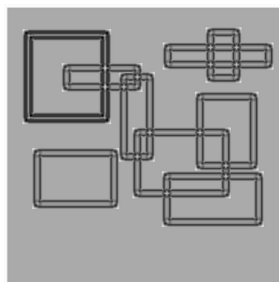
разысының бірдей мәндері бұрылған нұсқаларда да (Q матрицасы, 5 сурет).

$$Q = \begin{matrix} \begin{matrix} -1 & \dots & -1 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ & -1 & -1 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ & & -1 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ \vdots & \vdots & -1 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ & & -1 & -1 & \dots & \dots & -1 \\ & -1 & \dots & & \dots & -1 & \vdots \\ -1 & & & \dots & & & -1 \end{matrix} \end{matrix}$$

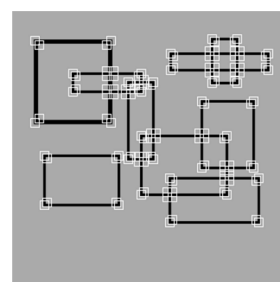
5 сурет – Иерархиялық маска 5×5 және 7×7 бұрышын таңдау 90 градуста

Масканың басқа қызықты қасиеті-перифериялық немесе жиектеуші элементтер, сондай-ақ тұтас барлық ядро сияқты дифференциалды әсер етеді. T матрицасының шеткі элементтері (4 сурет), мысалы, нөлге тең сомада:  $3+7+7+3+20*(-1) = 0$ . Бұл барлық матрицаларға қатысты. Есеп пиксель ішіндегі рұқсат ету немесе бұрыштық құрылымдар ондаған пиксельге өлшемдері бар жоғары рұқсаттары бар бейнелерді өңдеу кезінде, әсіресе иерархиялық масштабталатын маскаларды пайдалану тиімді. Алынған детекторлар орталық нөлдік элементті бір бірлікке ауыстыру арқылы жартылай өңдеу үшін оңай өзге-

реді. Бейненің бұрышты анықтау алгоритмі ұсынылды. Оның негізін бұрыштың бинарлық бейнесін анықтау алгоритмі құрайды. Алгоритмдерді салыстыру қиын көп факторлы міндет болып табылады. Бұл жұмыста біз Кирша маскалары мен жаңа маскаларды салыстырамыз [7].



6 сурет – Q критерийінің мәндерін визуализациялау



7 сурет – Кирша маскаларын және жаңа маскаларды бөліп алу

Қорыта келгенде, масштабталатын детекторларды құрастыруға ыңғайлы қасиеттері бар бұрыштарды бөлуге арналған маска матрицалары қарастырылған. Доминантты және бұрыштық нүктелердің және белгілі детекторларымен салыстырмалы талдау ұсынылған, есептеу эксперименттері жүргізілді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072.
2. Vineeta Vishwakarma, Jigyasha Maru. A Review Paper On Different Corner Detection Techniques // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2016. – Vol. 5 (4). – P. 1058-1062.
3. Козловский А.Н. Алгоритм распознавания простых объектов на разновременных аэрокосмических изображениях по их форме // Шестой Белорусский космический конгресс. – Минск, – 2014. – Т. 1. – С. 323-326.
4. Козловский А.Н. Детектор угловых точек на основе аппроксимации контуров объектов изображения // Информатика. – 2010. – Т. 28. – № 4. – С. 36-47.
5. Борисенко Д.И. Методы поиска угловых особенностей на изображениях // Молодой ученый. – 2011. – Т. 1. – № 5. – С. 120-123.
6. Shen F., Wang H. Corner detection based on modified Hough transform // Pattern Recognition Letters. – 2002. – Vol. 32 (8). – P. 1039-1049.
7. Golightly I, Jones D. Corner Detection and Matching for Visual Tracking during Power Line Inspection // Image and Vision Computing. – 2003. – Vol. 21. – P. 827-840.

**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ  
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДСИСТЕМОЙ  
СИНХРОНИЗАЦИИ СКОРОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**ПЕТРОВ П.А., ИВЕЛЬ В.П., ГЕРАСИМОВА Ю.В.,  
АУБАКИРОВА Г.Ф., МОЛДАХМЕТОВ С.С., ГАГОЛИНА О.С.**

*Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева*

**Аннотация:** *Статья посвящена методике разработки энергоэффективной системы управления двухдвигательным механизмом вращения крупногабаритных объектов, где два асинхронных двигателя работают по принципу «ведущий» – «ведомый». Блок управления представляет собой синтез микроконтроллера ATmega 2560 и компьютерной Simulink-модели двухдвигательного асинхронного электропривода. Адаптивность системы обусловлена идентификацией электромеханической постоянной времени каждого двигателя, что наравне с использованием прецизионных датчиков углового перемещения позволяет осуществить точную подстройку количества оборотов обоих двигателей.*

**Ключевые слова:** *асинхронный электропривод, микроконтроллерное управление, Simulink-модель, адаптация, оптимизация, подсистема регулятора скорости, автоматизированная система управления*

**ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR THE ROTATION MECHANISM  
OF LARGE-SIZED OBJECTS WITH A COMPUTER SUBSYSTEM FOR  
SYNCHRONIZING THE SPEEDS OF ASYNCHRONOUS MOTORS**

**Abstract:** *The article is devoted to the method of developing an energy-efficient control system for a two-motor rotation mechanism OF large objects, where two asynchronous motors operate on the "master" – "slave" principle. The control unit is a synthesis of an ATmega 2560 microcontroller and a computer Simulink model of a two-motor asynchronous electric drive. The adaptability of the system is BASED ON the identification of the Electromechanical time constant of each engine, which, along with the use of precision angular displacement sensors, allows for accurate adjustment of the number of ROTATIONS of both engines.*

**Key words:** *asynchronous electric drive, microcontroller control, Simulink model, adaptation, optimization, speed controller subsystem, automated control system.*

**АСИНХРОНДЫ ҚОЗГАЛТҚЫШТАРДЫҢ ЖЫЛДАМДЫҚТАРЫН  
СИНХРОНДАУДЫҢ КОМПЬЮТЕРЛІК ІШКІ ЖҮЙЕСІМЕН ІРІ КӨЛЕМДІ  
ОБЪЕКТІЛЕРДІҢ АЙНАЛУ МЕХАНИЗМІН БАСҚАРУДЫҢ АДАПТИВТІ ЖҮЙЕСІ**

**Аңдатпа:** *Мақала ірі габаритті объектілердің екі қозғалтқышты айналу механизмін басқарудың энергия тиімді жүйесін әзірлеу әдістемесіне арналған. Осы жүйеде екі асинхронды қозғалтқыш "жетекші" – "еруші" қазғидасы бойынша жұмыс жасайды. Басқару блогы екі қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің компьютерлік Simulink моделі мен atmega 2560 микроконтроллерінің синтезі болып келеді. Жүйенің бейімделуі әр қозғалтқыштың электромеханикалық уақыт тұрақтысын анықтауға байланысты, ол дәл бұрыштық қозғалыс датчиктерін қолданумен қатар, екі қозғалтқыштың айналу санын нақты реттеуге мүмкіндік береді.*

**Түйінді сөздер:** асинхронды электржетек, микроконтроллерлі басқару, Simulink-модель, бейімдеу, оңтайландыру, жылдамдықты реттегіштің кіші жүйесі, автоматтандырылған басқару жүйесі

### Введение

Системы двухдвигательных асинхронных электроприводов являются достаточно распространенными для производственных комплексов. Такие системы могут быть использованы в конвейерных установках, лифтовых системах или устройствах поворотов крупных объектов. В работе [1] представлены методики проектирования таких систем.

В работе [2] рассмотрен такой способ на основе бездатчиковых систем управления. Этот метод основан на составлении математической модели исполнительного механизма (электродвигателя). Такой способ является достаточно сложным, т.к. он основан на определении скоростей роторов на основе системы дифференциальных уравнений.

В работе [3] используется датчик определения угловой скорости ротора «ведущего» электропривода. Скорость ротора «ведомого» электропривода управляется на основе измеренной скорости ротора «ведущего» электропривода. Такой метод достаточно удобен, но усложнен фактом, что затрачивается большее время на синхронизацию скоростей роторов двухдвигательной системы. Это приводит к тому, что переходный процесс стабилизации скоростей становится большим.

Существует и третий способ управлением скоростей роторов двухдвигательного асинхронного электропривода [4]. Данный способ также основан на принципе синхронизации двух асинхронных двигателей по системе «ведущий» – «ведомый». Однако такая система обладает недостаточным быстродействием и не позволяет осуществить точную синхронизацию количества оборотов роторов двух двигателей. Это происходит из-за отсутствия прецизионных цифровых датчиков углового смещения роторов обоих двигателей.

Таким образом возникает необходимость разработки адаптивной системы асинхронного двухдвигательного электропривода. Основа разрабатываемого метода заложе-

на в дополнительных блоках регулирования и синхронизации скоростей. Также разработанная система будет использовать метод эталонной модели асинхронного электропривода. Подобный метод рассмотрен в работе [5].

На рисунке 1 изображена функциональная схема разработанной адаптивной системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения крупногабаритных объектов. Анализ работы такой системы приводился авторами в работе [6].

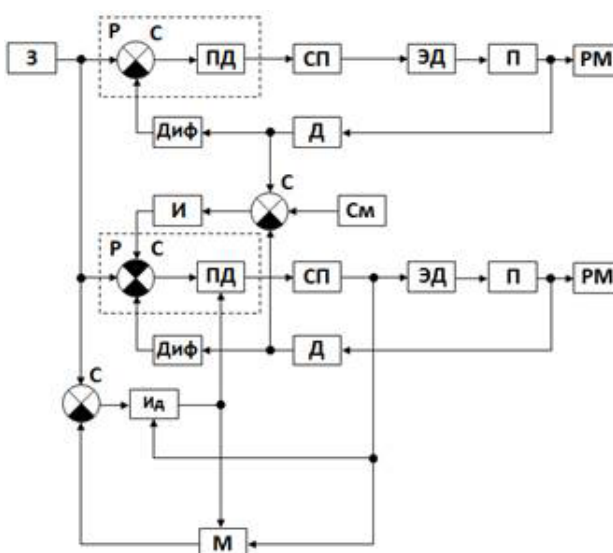


Рис. 1 – Функциональная схема адаптивной системы двухдвигательного электропривода

На приведенной схеме присутствуют следующие сокращения:

З – общий задатчик скорости двух электроприводов; Р – системы регуляторов скорости для двух электроприводов; С – сумматоры; ПД – пропорционально-дифференцирующие звенья; СП – силовые преобразователи; ЭД – асинхронные электродвигатели; П – передаточные механизмы (редуктора); РМ – рабочие механизмы; Д – прецизионные датчики углового смещения; Диф – дифференциаторы; См – задатчик углового смещения; И – интегратор; Ид – идентификатор математической модели асинхронного электропривода.

вода;  $M$  – эталонная математическая модель асинхронного электропривода.

Работа данной функциональной схемы основана на следующем алгоритме. Объектами управления являются два взаимосвязанных электродвигателя, один из которых является «ведущим», другой «ведомым». Скорости первого и второго ротора задаются общим задатчиком скоростей на входе системы. Прецизионные датчики фиксируются на обоих роторах и измеряют их угловые перемещения. Дифференциаторы выполняют роль преобразователей углового перемещения в угловые скорости. Измеренные угловые скорости вычитаются из программно-заданной скорости на входе системы. Это позволяет вычислить отклонение скорости первого и второго ротора. На основе этих отклонений пропорционально-дифференцирующими блоками корректируются скорости обоих электродвигателей.

После прохождения через силовые полупроводниковые преобразователи, сигналы отклонений поступают на каждый электродвигатель. Вращение выходных валов посредством редукторов передаются на роторы каждого электродвигателя.

Точная синхронизация количества оборотов роторов обоих электродвигателей обеспечивается задатчиком углового смещения. При вращении крупных объектов это соотношение задается равным 0 в целях устранения дополнительных динамических нагрузок.

Также в систему введен блок сумматора, вычисляющий разность в углах поворота обоих роторов и заданным значением:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_{ЗД}. \quad (1)$$

Сигнал на выходе задатчика углового смещения интегрируется, а затем поступает на другой сумматор, входящий в состав регулятора второго электропривода. Таким образом реализуется отрицательная обратная корректирующая связь по разнице угловых перемещений первого и второго роторов. Работа этих блоков поддерживает высокую точность при регулировании заданного

отклонения угла поворота ротора «ведомого» электродвигателя.

Включение дополнительных блоков идентификации и адаптации позволяет повысить быстродействие переходных процессов и точность управления в установившихся режимах.

Зависимость между напряжением питания (выход корректирующего звена)  $U$  и скоростью вращения ротора  $\omega$  можно представить следующим линеаризованным дифференциальным уравнением:

$$T_{ЭП} \frac{d\omega}{dt} - \omega = kU, \quad (2)$$

где  $T_{ЭП}$  – электромеханическая постоянная времени электропривода (параметр идентификации);

$U$  – управляющее напряжение (ШИМ-сигнал);

$\omega$  – угловая скорость ротора электродвигателя;

$k$  – пропорциональный коэффициент усиления (определяется экспериментально).

С помощью преобразований передаточную функцию каждого электропривода как объекта управления можно представить в следующем виде:

$$W_{ЭП}(p) = \frac{k}{T_{ЭП}p + 1}, \quad (3)$$

где  $p = \frac{d}{dt}$  – оператор дифференцирования Лапласа. При этом необходимо добиться компенсации инерционности каждого электропривода. Для этого корректирующие звенья выбирают именно пропорционально-дифференцирующими. Такие звенья определяются следующей передаточной функцией:

$$W_K(p) = T_K p + 1, \quad (4)$$

где  $T_K = T_{ЭП}$ . В данной адаптивной двухдвигательной системе предусмотрена автоматическая настройка параметра  $T_K$ . Настройка осуществляется в передаточной функции (4) с помощью математических моделей электроприводов и блока идентификации. Математическая модель, используемая в схеме 1, представляет собой выражение (3).

Очевидно, что необходима идентификация параметра электромеханической постоянной времени ТК. Этот параметр в дальнейшем необходим для его подстройки под аналогичный параметр ТЭП. Все это позволит изменять передаточную функцию пропорционально дифференцирующего звена (4). Таким образом с достаточной достоверностью достигается приближение передаточной функции системы управления к пропорциональному звену. В дальнейшем это позволит осуществить точную синхронизацию скоростей двух электродвигателей и повышение быстродействия системы.

**Экспериментальная часть**

Функциональную схему (рисунок 1) можно реализовать в программе MatLab 2013. Подобная Simulink-модели представлена в работе [7]. На рисунке 2 представлена ком-

пьютерная модель, полностью отражающая вышеописанный алгоритм.

На рисунке 2 пропорционально-дифференцирующие блоки реализованы звеньями gain1, derivate и gain2, derivate1. 10 – пропорциональный коэффициент усиления блока gain интегрированной разности углового смещения (подобран экспериментально). Speed reference – общий задачник скоростей. Load torque и load torque1 – задачики электромеханического момента на оба электропривода. С помощью блоков Scope и Scope2 можно наблюдать осциллограммы изменения количества оборотов роторов RPM и нагрузочный момент M.

Space Vector PWM – подсистемы регуляторов скорости на основе идентификации электромеханической постоянной времени каждого электропривода (рисунок 3).

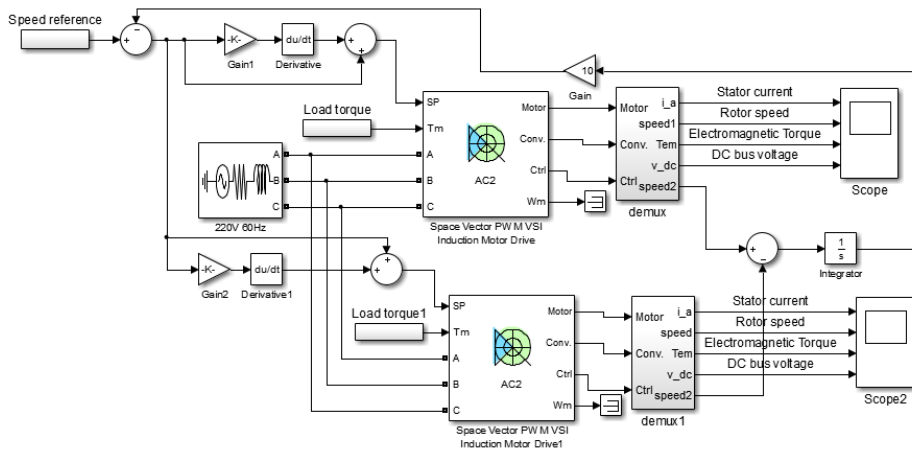


Рис. 2 – Система двухдвигательного электропривода с корректирующей обратной связью на основе пропорционально-дифференцирующих звеньев

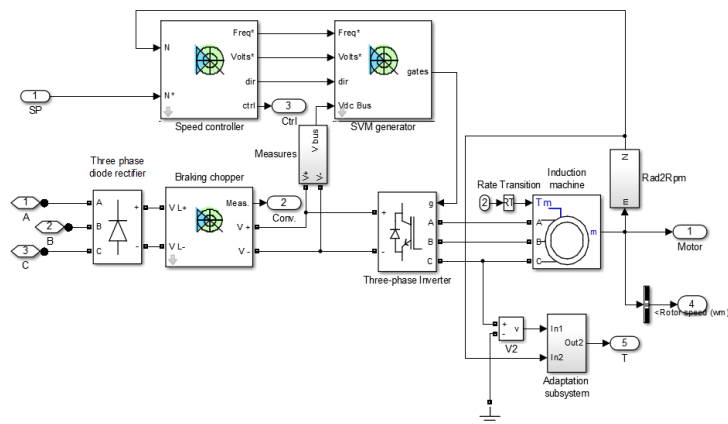


Рис. 3 – Подсистема регулятора скорости, идентичная для обоих электроприводов

Метод регулирования скоростей в данном случае основан на пространственно-векторной модуляции. Такой метод рассмотрен в работе [8]. Этот метод основан на генерации векторов напряжений для коммутации полупроводникового трехфазного инвертора. С выхода инвертора управляющий сигнал поступает на обмотки электродвигателя (induction machine). На рисунке 3 подсистема адаптации позволяет определить электро-механическую постоянную времени каждого электропривода и использовать ее в настройке математической модели электродвигателей в выражении (3). Подсистема идентификации интегрирована в подсистему регулятора скорости каждого электропривода. На вход In1 подается однофазное напряжение питания электродвигателя, а на вход In2 – число оборотов ротора электродвигателя. Выходным параметром является электро-механическая постоянная времени электропривода Т.

Компьютерные модели на рисунках 2 и 3 можно использовать в качестве графического программного кода для 8-разрядного микроконтроллера ATmega 2560. Данный микроконтроллер оснащен встроенным 10-битным аналого-цифровым преобразователем и 54 цифровыми входами-выходами. Такая архитектура позволяет реализовать данный алгоритм регулирования скоростей. То есть микроконтроллер будет осуществлять управление системой, а элементами управления являются два взаимосвязанных асинхронных электродвигателя. В качестве модуля управления можно использовать плату Arduino Mega 2560, которая поддерживает коммуникацию с MatLab 2013. Плата Arduino Mega 2560 можно использовать в качестве управляющего объекта с загруженной Simulink-моделью. Такой подход основан на возможности MatLab 2013 интерпретации графического кода в язык C++. Подобный подход был реализован в работе [9].

В качестве прецизионных датчиков углового смещения в проекте использовались ЛИР-390А,Ф. Эти датчики представляют собой оптические инкрементные энкодеры.

Внешний вид ЛИР-390А,Ф изображен на рисунке 4.



Рис. 4 – Внешний вид датчика ЛИР-390А,Ф

Разработанный стенд для эксперимента представляет собой синтез следующих элементов: плата Arduino Mega 2560 в качестве управляющего контроллера, установленных на обоих роторах энкодеров, силовых преобразователей, редукторов и поворотной рамы для крепления объекта вращения. В качестве макета крупногабаритного объекта используется вагон, закрепленный на поворотной раме. Питание электродвигателей осуществляется с помощью отдельного блока на 220В с полупроводниковым преобразователем частоты. Управление может осуществляться как от персонального компьютера (для введения значений начальной скорости и начального нагрузочного момента), так и автономно. В качестве экспериментальных электродвигателей выбраны маломощные (20 кВт) асинхронные двигатели 4АХ80А4У3. Такие электродвигатели позволяют осуществить энерго-эффективный режим.

На рисунке 5 изображена разработанная экспериментальная установка.



Рис. 5 – Разработанный стенд с поворотной рамой

На рисунках 6 и 7 изображены результаты моделирования для двухдвигательного электропривода с подсистемой идентификации электромеханической постоянной времени  $T$  и подсистемой адаптации к изменяющимся параметрам электромеханической системы. Осциллограммы сняты с блоков Scope и Scope 2 на рисунке 2.

Как видно из рисунков 6 и 7 время переходного процесса (окончательная синхронизация количества оборотов обоих роторов, примерно 1390 оборотов в минуту) состав-

ляет около 2 секунд. Такой результат обусловлен тем, что программа MatLab (при управлении от компьютера) обращается к большому количеству пакетов данных и драйверов, что затормаживает систему. При этом регистрируются перепады электромагнитного динамического момента на «ведущий» электропривод, что может привести к перегрузке всей системы. Это может привести к опрокидыванию вращаемого объекта. Чтобы увеличить быстродействие системы и устранить колебания электромагнитного момен-

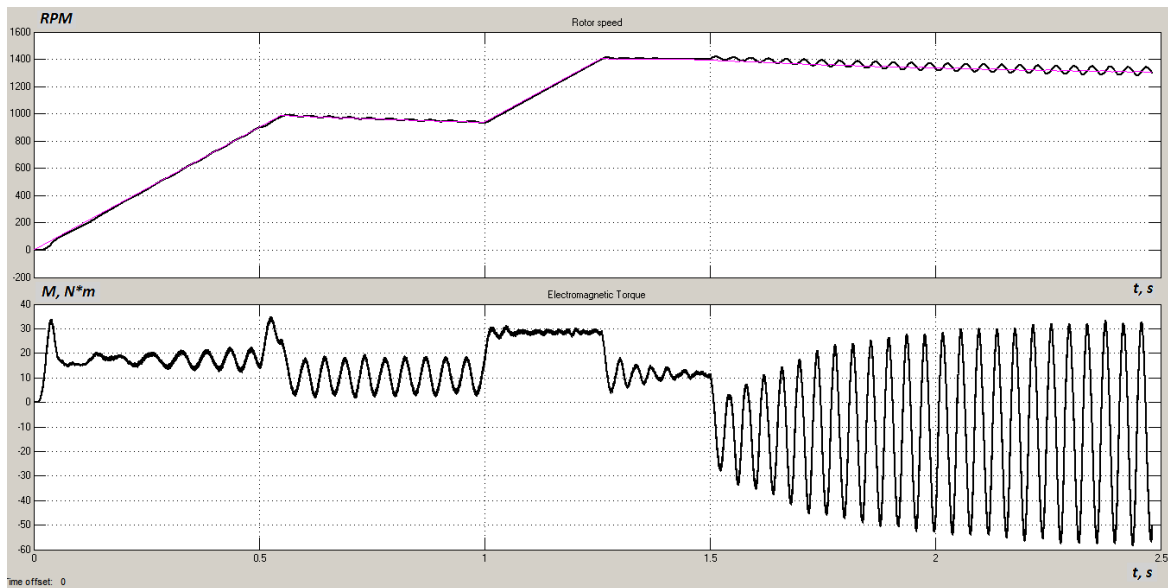


Рис. 6 – Результаты моделирования работы «ведущего» электродвигателя адаптивной системы управления

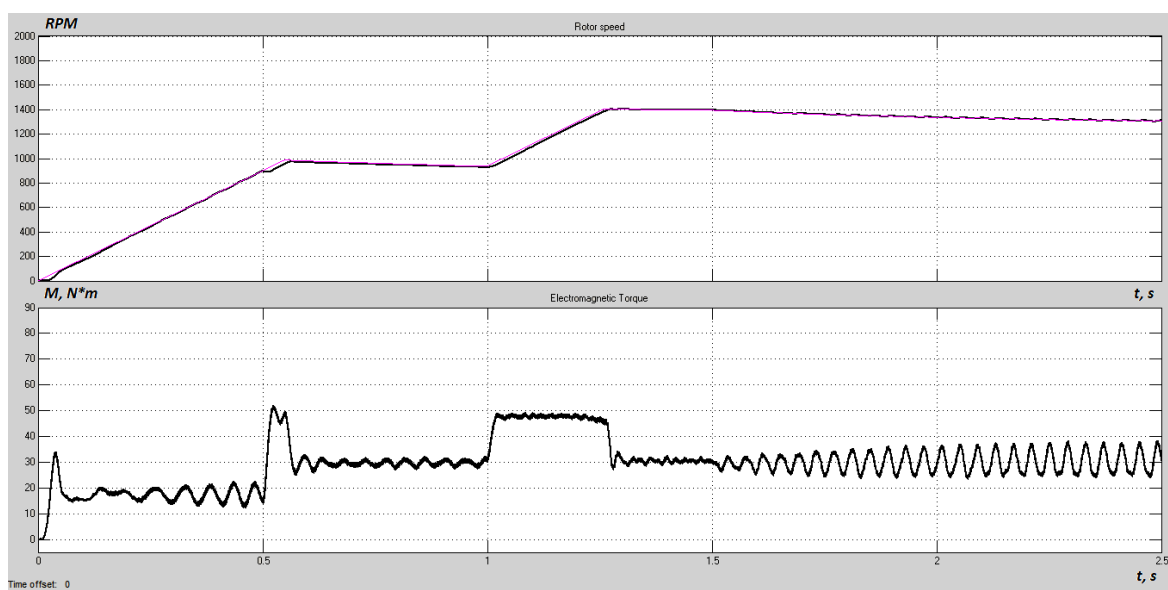


Рис. 7 – Результаты моделирования работы «ведомого» электропривода адаптивной системы управления

та предполагается в дальнейшем использовать более мощные микропроцессоры с наличием 12-битного АЦП в качестве блока управления.

### Результаты и обсуждение

Приведенные в статье теоретические выкладки подтвердились экспериментальным путем. Было доказано, что для эффективной синхронизации скоростей и количества оборотов роторов двух взаимосвязанных электродвигателей необходимо идентифицировать постоянную электромеханическую времени обоих электроприводов. Этот параметр в дальнейшем используется в качестве переменной в математической модели асинхронного двигателя. Такой подход позволяет определить отклонение между обоими роторами и добиться относительно быстрого переходного

процесса синхронизации скоростей обоих асинхронных двигателей.

### Заключение

Микроконтроллер AtMega2560 не позволяет добиться необходимого быстродействия (0,5 – 0,6 секунд) для синхронизации количества оборотов двух роторов в двухдвигательной системе. 10-битный АЦП ATMega2560 не дает высокоточного измерения угловых перемещений двух роторов.

В качестве оптимизации работы системы управления двухдвигательным асинхронным электроприводом стоит использовать микропроцессор SAM3X8E ARM Cortex-M3 с 12-битным АЦП в наличии. Результаты моделирования системы на основе SAM3X8E ARM Cortex-M3 были рассмотрены авторами в статье [6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Schier, M. Hubner, N. Kevlishvili, A. Dietz and S. Hörlin, "Methodical approach for designing electric propulsion systems containing two motors," 2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, 2017, pp. 1-9, doi: 10.1109/EVER.2017.7935893.
2. H. He and J. Xing, "Design of Induction Motor Speed-Sensorless Vector Control System," 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), Xi'an, 2016, pp. 563-566, doi: 10.1109/IS3C.2016.145.
3. A. Hingmire and B. B. Pimple, "Simulation and Analysis Studies of Speed Control of Brushless DC Motor Using Hall Sensors," 2018 International Conference on Smart Electric Drives and Power System (ICSEDPS), Nagpur, 2018, pp. 384-387, doi: 10.1109/ICSEDPS.2018.8536062.
4. S. P. Das and R. K. Gupta, "Direct torque control (DTC) of interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM) with and without speed/position sensors," India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010), New Delhi, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/IICPE.2011.5728122.
5. J. Soltani and B. Mizaeian, "Simultaneous speed and rotor time constant identification of an induction motor drive based on the model reference adaptive system combined with a fuzzy resistance estimator," 1998 International Conference on Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1998. Proceedings., Perth, WA, Australia, 1998, pp. 739-744 Vol. 2, doi: 10.1109/PEDES.1998.1330693.
6. Petrov, P., Gerasimova, Y., Ivel, V. and Moldakhmetov, S. "System of lifting and rotation of railway cars". ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, pp. 714-717 Vol 13(2).
7. A. Dumitrescu, D. Fodor, T. Jokinen, M. Rosu and S. Bucurenciu, "Modeling and simulation of electric drive systems using Matlab/Simulink environments," IEEE International Electric Machines and Drives Conference. IEMDC'99. Proceedings (Cat. No.99EX272), Seattle, WA, USA, 1999, pp. 451-453, doi: 10.1109/IEMDC.1999.769143.

8. H. Purnata, M. Rameli and A. K. R. Effendie, "Speed control of three phase induction motor using method hysteresis space vector pulse width modulation," 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, 2017, pp. 199-204, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124080.
9. S.K. Guha, S. Bhattacharya, P. Y. Nabhiraj and C. Nandi, "Design and Development of Atmega 2560 AVR Microcontroller Based Control and Monitoring System of a Two Jaw Slit," 2019 3rd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech), Kolkata, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEMENTech48150.2019.8981123.

## ОЦЕНКА ПСИХИЧЕСКОЙ ЭНТРОПИИ

РУСТАМОВ Н.Т., АБДРАХМАНОВ Р.Б., САПАРХОДЖАЕВ Н.П.,  
ЖУНИСОВ Н.М., АМАНОВ А.А.*Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави*

**Аннотация:** В данной работе предлагается математическая модель оценки психической энтропии, связанной с силой, неблагоприятно воздействующей на сознания, так называемый психический беспорядок. Такая модель в этой работе строится на основе формализации психического потенциала человека, мощности этого потенциала и психической энергии. При этом утверждается, что именно потенциал психики определяет степень энтропии, т.е. степень психического беспорядка. Всякий раз, когда входящая информация нарушает упорядоченность нашего сознания, подвергая опасности существующую структуру психического потенциала, мы оказываемся в состоянии внутреннего беспорядка или психической энтропии. Исходя из этого определения, принимая за основу связи между «Я-концепции», фантазии  $\Phi$ , и силы воли  $C_e$ , характеризующие потенциал психики индивида, предложена аналитическая формула для оценки психической энтропии. Что интересно, численно оценивая эти параметры психики индивида можно определить для них масштаб измерения, выражающий степень психической энтропии. На основе понятия мощности и энергии психики оценивается минимальная психическая энергия, нужная человеку для минимизации психической энтропии. Анализируя результаты исследований, проведенных на людях, достигших высших результатов в области своей деятельности, доказываемая практическая предложенных соотношений между психологическими параметрами индивида «Я-концепция», фантазия  $\Phi$ , и силы воли  $C_e$ .

**Ключевые слова:** психический беспорядок, психическая энтропия, фрактал, фрактальная психика, потенциал психики, психическая энергия, мощность психики, минимальная психическая энергия

## ASSESSMENT OF MENTAL ENTROPY

**Abstract:** In this paper, we propose a mathematical model for assessing mental entropy associated with power adversely affecting consciousness, the so-called mental disorder. Such a model, in this work is built on the basis of formalization of a person's mental potential, the power of this potential and mental energy. Moreover, it is argued that it is the potential of the psyche that determines the degree of entropy, i.e. degree of mental disorder. Whenever the incoming information violates the ordering of our consciousness, endangering the existing structure of mental potential, we find ourselves in a state of internal disorder or mental entropy. Based on this definition, taking as a basis the connection between the "I-concept", fantasy  $\Phi$ , and the willpower  $C_e$  characterizing the potential of the individual's psyche, an analytical formula is proposed for evaluating mental entropy. Interestingly, numerically evaluating these parameters of the individual's psyche, one can determine for them the scale of measurement, expressed by the degree of mental entropy. On the basis of the concept of power and energy of the psyche, the minimum mental energy of the person needed is estimated to minimize mental entropy. Analyzing the results of the study conducted on people who have achieved the highest results in the field of their activity, the practicality of the proposed relationships between the psychological parameters of the individual "I-concept", fantasy  $\Phi$ , and the willpower of  $C_e$ .

**Key words:** mental disorder, mental entropy, fractal, fractal psyche, potential of the psyche, mental energy, mental power, minimal mental energy

## ПСИХИКАЛЬҚ ЭНТРОПИЯНЫ БАҒАЛАУ

*Аңдатпа:* Бұл жұмыста психикалық тәртіпсіздік деп аталатын санаға қолайсыз әсер ететін күшпен байланысты психикалық энтропияны бағалаудың математикалық моделі ұсынылады. Мұндай модель, адамның психикалық әлеуетін, осы әлеуеттің қуатын және психикалық қуатты формализациялау негізінде құрылады. Бұл ретте психиканың әлеуеті энтропия дәрежесін, яғни психикалық тәртіпсіздік дәрежесін анықтайды. Кіріс ақпарат психикалық әлеуеттің қазіргі құрылымына қауіп төндіре отырып, біздің сананың реттілігін бұзса, онда ішкі тәртіпсіздік немесе психикалық энтропия жағдайында көрсетілетін. Осы анықтамаға сүйене келе, "Я-концепция", фантазия  $\Phi$  және жеке тұлғаның психикасының әлеуетін сипаттайтын  $S_e$  ерік күші арасындағы байланысты негізге ала отырып, психикалық энтропияны бағалауға арналған аналитикалық формула ұсынылды. Бір қызығы, адам психикасының осы параметрлерін сандық жағынан бағалап, олар үшін психикалық энтропияның дәрежесін көрсететін өлшем ауқымын анықтауға болады. Психиканың қуаты мен энергиясы ұғымының негізінде психикалық энтропияны азайту үшін адамға қажетті ең аз психикалық энергия бағаланады. Өз қызметі саласында жоғары нәтижелерге жеткен адамдарға жүргізілген зерттеу нәтижелерін талдаумен бірге, индивидтің "Я-концепция" психологиялық параметрлері,  $\Phi$  қиялдары мен  $S_e$  ерік күші арасындағы ұсынылған арақатынастың тиімділігі дәлелденеді.

*Түйінді сөздер:* психикалық тәртіпсіздік, психикалық энтропия, фрактал, фракталдық психика, психика әлеуеті, психикалық энергия, психика қуаты, ең төменгі психикалық энергия

**Введение.** Одной из главных сил, неблагоприятно воздействующей на сознание, является так называемый психический беспорядок, информация, вступающая в конфликт с уже существующими намерениями и отвлекающая нас от их выполнений. Мы называем подобную ситуацию разными словами в зависимости от того, что мы переживаем. Боль, страх, тревогу и ревность. Все эти разновидности беспорядка заставляют внимание переключаться на нежелательные объекты, лишая нас свободы использовать психическую энергию по своему усмотрению [1]. Психическая энергия теряет подвижность и становится неэффективной. Сознание приходит в состояние беспорядка по разным причинам тогда, когда упорядоченность нашего сознания нарушается. Как правило, события развиваются по той же одной базовой схеме. В сознании появляется некая информация и вступают в конфликт уже имеющиеся в индивиде цели [2]. В зависимости от того насколько важна для человека реализация этой цели и насколько велика создаваемая новая информация, угроза бережет некоторый объем внимания, чтобы устранить проблемы. Всякий раз, когда входящая информация нарушает упоря-

доченность нашего сознания, подвергая опасности существующую структуру цели и приоритетов, мы оказываемся в состоянии внутреннего беспорядка или психической энтропии –  $P_e$ .

Продолжительное пребывание в таком состоянии может только ослабить личность, лишить человека способности управлять своим вниманием и достигать цели. В этом случае для устранения  $P_e$  человеку потребуется дополнительная психическая энергия. В этом случае естественно возникает вопрос, как оценить эту энергию.

**Целью работы** является численная оценка степени психической энтропии и оценка необходимой психической энергии для устранения этого беспорядка, изучение психологического взаимовлияния индивидов на основе фрактальных соотношений компонентов потенциала психики.

**Метод решения.** В работе [3] говорится, что по своей природе психика человека имеет силу и сопротивляемость, на базе этих свойств она влияет на окружающую ее среду. Именно эти два свойства психики человека выражаются через ее потенциал. Тогда па-

раметры потенциала психики человека взаимосвязаны между собой следующим образом:

$$U \approx "Я" (C_\epsilon \cdot \Phi) \quad (1)$$

где  $U$  – потенциал психики, "Я" – «Я концепция»,  $C_\epsilon$  – сила воли,  $\Phi$  – фантазия. По своему содержанию  $(C_\epsilon \cdot \Phi)$  – выражает сопротивляемость психики на психическую энтропию, "Я" – выражает силу психики человека. Как известно общественное содержание индивида выражается в его целях [2], а в "Я" сосредоточено содержание цели человека, тогда, несомненно, "Я" выражает силу психики человека. С другой стороны для достижения своей цели человек с помощью своей  $\Phi$  фантазии и  $C_\epsilon$  силы воли устраняет психическую энтропию ( $P_j$ ). Следовательно,  $(C_\epsilon \cdot \Phi)$  – выражает сопротивляемость психики человека [4, 5, 6], т.е. оценивает возможность психики человека к устранению  $P_j$ .

При формировании такого потенциала у психики человека существенную роль играют следующие случаи [7]:

1) Случай когда  $U \approx "Я"$  по содержанию соответствуют друг другу (рис.1,а). В этом случае человек с большей вероятностью может полностью реализоваться в социуме где он находится, т.е. человек с большей определенностью знает свое место в социуме.  $P_j$  фактически не влияет на его деятельность. В этом случае сопротивляемость –  $(C_\epsilon \cdot \Phi)$  психики определяет деятельность индивида. Такой случай может тогда, когда  $C_\epsilon \approx \Phi$  здесь знак  $\approx$  выражает равенства этих параметров психики по тестовым значениям.

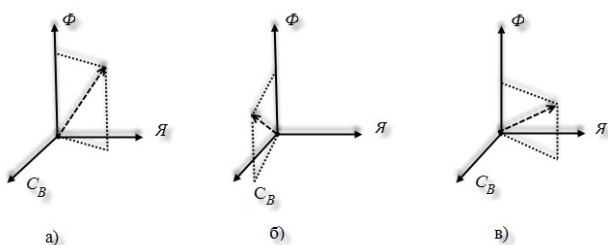


Рис.1 – Варианты ориентации психики человека

2) Случай когда потенциал психики  $U$  по содержанию больше чем содержание ее "Я" (рис.1,б). Тогда будем говорить, что потенциал  $U$  опережает свой "Я". В этом слу-

чае наблюдается  $C_\epsilon > \Phi$ . Человек является скромным, целеустремленным. У него выражается устойчивость к достижению цели. Всегда стремится увеличить свой психический потенциал  $U$ . Деятельность человека будет ориентирована к достижению поставленной цели. В этом случае он может устранить  $P_j$  любой степени.

3) Если "Я" по содержанию больше, чем содержание  $U$ , тогда  $C_\epsilon < \Phi$  и будем говорить, что "Я" опережает свой потенциал  $U$  (рис. 1,в). В таких ситуациях человек всегда опирается своему "Я", не учитывая свой психический потенциал: у него выявляется необоснованная высокомерность. У таких людей всегда не будет хватать психической энергии для устранения  $P_j$ .

На основе на этих концепций мы можем формализовать многие свойства психики человека, оценивающие его деятельность, т.е. можем численно оценивать способность устранению  $P_j$ . Это на практике имеет большое значение. Что интересно, когда  $C_\epsilon \approx \Phi$  "Я" и  $U$  по содержанию соответствуют друг другу, то деятельность будет созидательной. Когда  $C_\epsilon > \Phi$  человек склонен к увеличению потенциала своей психики, т.е. потенциал  $U$  всегда по содержанию опережает содержание "Я". В этом случае деятельность будет интенсивной, человек может достигать вершины своей цели.

Если  $\Phi > C_\epsilon$ , наоборот по содержанию "Я" опережает содержание  $U$ . В этом случае у человека возрастает "Я". При этом деятельность может приобретать разрушительную форму [7].

Что интересно в формуле (1), когда психика человека фрактальная [8], то потенциал психики имеет фрактальную зависимость от Я-концепции, т.е. в этом случае зависимость потенциала психики от «Я-концепции» будет степенным.

$$U(r) \approx Я^{1-D} \cdot (C_\epsilon \cdot \Phi) \quad (2)$$

Здесь  $D$  выражает фрактальную размерность потенциала психики и скорости психики способность устранению  $P_j$ . С другой стороны, эта размерность характеризует меру устранения  $P_j$  используя "Я". Когда

$D=1$  приходим к формуле (1). Это соответствует устойчивому состоянию психики. Уникальность человека можно различать с помощью  $D$ . Формула (2) подобна формуле Б. Мандельброта (Mandelbrot В.В ) [9].

При проведении эксперимента с формулой (2) выяснилось то, что человек оказывается психологически сходными, либо отличными друг от друга в зависимости от значения  $U$ . По своей природе  $U$  индивида имеет глобальные и локальные свойства [10], так как потенциал психики является признаком, характеризующим человека, находящегося в социуме [11]. В чем суть глобального и локального свойства психики человека? Ниже дадим определения этим свойствам.

*Определение 1.* Глобальным свойством  $U$  является такое свойство психики, благодаря которому каждый из людей, отдельно взятый, необходим, а все вместе взятые достаточны, чтобы с их помощью отличить данного человека от всех остальных по той величине  $U$  которая выражает его содержание психики, распознав эту сторону, можно измерить его силу влияния.

*Определение 2.* Локальным свойством  $U$  является такое свойство психики, благодаря которому определяется внутреннее содержание психики человека, необходимая для распознавания величины " $Я$ ", причем эта величина выражается в зависимости от конкретной деятельности человека.

Человек, имеющий психику, совпадающую с глобальными и локальными свойствами, имеет фрактальность, и у него большие возможности достичь успехов в жизни [12]. Поэтому с практической точки зрения определения таких людей дают возможность заранее прогнозировать *состояния социума* где он находится.

*Взаимовлияние.* Теперь рассмотрим процесс когда два психических поля индивидов взаимовлияет друг на друга. Так как этот процесс является основой оценки минимальной психической энергии для устранения  $Π_3$ .

Как уже отметили, потенциал психики человека  $U = "Я" \cdot (C_ε \cdot Φ)$ . Когда человек психически влияет на другого человека, то

он отдает определенную психическую энергию. Этот процесс описывается следующим уравнением [12]:

$$U = U' + \frac{dψ}{dt} = "Я" (C_ε \cdot Φ) = U' + \frac{dψ}{dt} \quad (3)$$

где  $U'$  – потенциал индивида, подвергаемый влиянию.

Если в (3) умножить обе части на " $Я$ "  $dt$ :

$$("Я")^2 \cdot (C_ε \cdot Φ) dt = U' "Я" dt + "Я" dψ \quad (4)$$

Левая часть уравнения (4) представляет собой психологическую энергию, влияющую на индивида, а правая часть выражает потенциал психики человека, подвергнувшегося влиянию, и плюс психическая энергия – " $Я$ "  $dψ$ , потраченная на влияние, за время  $dt$ , полученное из  $("Я")^2 \cdot (C_ε \cdot Φ) dt$ .

Теперь численно оценим психологическую энергию для устранения  $Π_3$ . Ее обозначим как:

$$dw_M = "Я" dψ \quad (5)$$

Тогда

$$w_M = \int_0^{\psi_w} "Я" dψ \quad (6)$$

где  $\psi_w$  – максимальная энергия для устранения *психической энтропии*.

Введем коэффициент психологической восприимчивости человека –  $k$ .

Изменчивость потенциала  $U$  зависит от " $Я$ ", такую связь обозначим как:

$$ψ = k "Я", \quad dψ = k d"Я" \quad (7)$$

Тогда психологическая энергия для устранения  $Π_3$  оценивается как:

$$w_M = \int_0^1 "Я" dЯ = \frac{k ("Я")^2}{2} \quad (8)$$

Предел интеграла выражает, где происходит процесс влияния или устранения  $Π_3$ . Коэффициент  $k$  выражает насколько индивид поддается  $Π_3$ . Этот коэффициент обратно пропорционален изотропности социума, т.е. изотропность  $Π_3$  происходит трудно.

Таким образом, чтобы попасть под влияние  $Π_3$ , нужна следующая психологическая энергия, т.е.  $Π_3$  превращается в психическую энергию:

$$w_M = \frac{(C_{ε_1} \cdot Φ_1) \cdot (Я)^2}{16π} \approx 0.02 (C_{ε_1} \cdot Φ_1) \cdot (Я_1)^2 \quad (9)$$

Если обозначить как  $k \approx 0.02(C_{\varepsilon_1} \cdot \Phi_1)$ , то формулу (10) можно переписать следующим образом:

$$w_M \approx k \cdot (A_1)^2 \quad (10)$$

По содержанию  $k$  – выражает способность человека попаданию под влияние  $P_j$ . Чем больше  $k$ , тем больше требуется психическая энергия для влияния, т.е. тем меньше подверженность психическому влиянию и наоборот. С другой стороны с помощью этого коэффициента можно будет оценить способность индивида устойчивости к  $P_j$ .

### Выводы

То, что потенциал психики определяет возможности человека к устойчивости на  $P_j$  и направляет его деятельность, не вызывает сомнений. На сегодняшний день более важно оценивать  $P_j$  и прогнозировать ее устранения, чем нейтрализовать ее. Оценивая психическую энергию индивидов можно определить степень устойчивости социума на  $P_j$ . Это на сегодняшний день очень актуальная

проблема. Здесь важнее всего развитие и формирование фрактальной социальной психологии. В свою очередь такая психология формируется из личностной психологии индивидов этого социума. Фрактальность потенциала психики индивида дает нам возможность глубже понять процедуру  $P_j$ , происходящих явлений в сознании человека. Оценка фрактальной размерности психики индивида характеризует эти процедуры. Все это зависит от *глобальных* и *локальных* свойств психики индивида. Поэтому управлять своей деятельностью человек может, ориентируясь на свой психологический потенциал и на психологическую мощь. А результативность деятельности зависит от психологической энергии, устраняющей  $P_j$ . В свою очередь, работу этих психологических механизмов можно оценивать с помощью психологических свойств характера человека таких как: «Сила воли», «Фантазии» и «Я-концепция». С помощью общепринятых тестов, численно оценивая эти параметры, можно прогнозировать изменчивость психики от  $P_j$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов Е.И. Выбор профессии: Становление профессионала. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 336с.: ил.-(Азбука психологии).
2. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. – СПб: Питер, 2003. – 720 с.
3. Рустамов Н.Т. Математическая модель потенциала психики человека. // Вестник МКТУ им. Х.А. Ясауи. – № 3. – 2012. – С.3-8.
4. Рустамов Н.Н., Худияров Г.Б., Рустамов Е.Н. Отбор претендующих на спорт высших достижений. Монография. – Ташкент:«Fan va texnologiya», 2016. – 136 с.
5. Бобылев С.В., Рустамов Н.Н. Спортивная синестезия и ее инфологическая модель. Вопросы физического воспитания в высшей школе. Сб. Мат. Межвузовской нуч.-практ. конф., МГТУ-МАМИ, Москва. – 2010. – С.63-68.
6. Бобылев С.В., Рустамов Н.Н. Анализ синестезии спортсменов высокой квалификации. – М. Теория и практика физ.культуры. – 2012. – № 9. – С.37-38.
7. Рустамов Н.Т. Алгоритмизация оценки энергетических свойств психологии человека. Вестник МКТУ им. Х.А. Ясауи (Серия математика, физика, информатика). – 2018. – №2(5). – С.52-62.
8. Рустамов Н.Т. К вопросу фрактальности психики человека // Доклады республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». – Ташкент, 2017. – С.175-180.
9. Балханов В.К. Ведение в теорию фрактальных исчислений. – Улан-Удэ.: Изд. Бурятского гос. ун-та, 2001. – 58 с.
10. Рустамов Н.Т. Прикладное распознавание. – Туркестан: Туран 1999. – 84 с.

11. Rustamov N., Dosanov N., Rustamov Y. – Sofia: Graph models of social mobility on the background of stratification. International Journal of Pure and Applied Mathematics. Volume 105, No.3, 2015, 451 – 457.
12. Рустамов Н.Т., Кибिशов А. Эвристическая модель психического влияния человека и его измерения. // Вестник МКТУ им. Х.А. Ясави. – 2014. – № 1. – С.71-77.
13. Дадабаев О.Ж., Рустамов Н.Н. Спортивная синестезия и ее влияние на спортивные результаты. // Педагогические науки. – 2012. – № 2. – С.51-54.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И СИСТЕМЫ  
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**САЛИМХАНОВА А.С.**

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

**Аннотация:** Эффективная защита нашей окружающей среды во многом зависит от качества доступной информации, используемой для принятия соответствующего решения. Проблемы возникают, когда объем доступной информации огромен и неоднороден (то есть поступает из множества различных дисциплин или источников), а их качество невозможно определить заранее. Другой связанный с этим вопрос - это динамический характер проблемы. Компьютеры занимают центральное место в современной защите окружающей среды при выполнении таких задач как мониторинг, анализ данных, обмен данными, хранение и поиск информации, поэтому было естественно попытаться интегрировать и улучшить все эти задачи с помощью методов искусственного интеллекта, основанных на знаниях.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, СППР, экологические проблемы, нейронные сети, глубинное обучение

**USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION SUPPORT SYSTEMS  
IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**Abstract:** Effectively protecting our environment is highly dependent on the quality of the information available to guide decision making. Problems arise when the amount of information available is huge and heterogeneous (that is, it comes from many different disciplines or sources), and its quality cannot be determined in advance. Another related issue is the dynamic nature of the problem. Computers are central to today's environmental protection for tasks such as monitoring, analyzing data, exchanging data, storing and retrieving information, so it was natural to try to integrate and improve all of these tasks using knowledge-based artificial intelligence techniques.

**Key words:** artificial intelligence, EDSS, ecological problems, neural networks, deep learning

**ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ САЛАСЫНДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ  
ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОРҒАУ ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУ**

**Аңдатпа:** Бізге қоршаған ортаны тиімді қорғау көбінесе нақты бір шешім қабылдауға қажетті қол жетімді ақпараттың сапасына байланысты екені сөзсіз. Ақпарат көлемі үлкен және де гетерогенді (яғни әрқелкі ақпарат көзінен түсетін) және түскен ақпараттың сапасын алдын ала анықтау мүмкін емес, сондықтан бірден шешім қабылдаудың қиындық тудыратындығы да рас. Сондай-ақ осы мәселелердің динамикалық сипаты бар екендігін де ескерген жөн. Қазіргі таңда компьютерлер мониторинг, талдау мәлімет алмасу, сақтау және іздеу бойынша кеңінен қолданылатындығы баршаға аян, сол себептен де қоршаған ортаны қорғау барысында туындайтын мәселелердің шешімін табуды білімдер базасына негізделген жасанды интеллектке интеграциялауды ұсынамыз.

**Түйінді сөздер:** жасанды интеллект, ШҚҚЖ, экологиялық мәселелер, нейрондық желі, тереңдетіп оқыту

## Вступление

Прогресс в человеческом развитии становится все более зависимым от окружающей природной среды и может быть ограничен ее ухудшением в будущем. Рост населения, урбанизация и индустриализация, с которыми наша планета столкнулась в этом столетии, заставили общество задуматься о том, изменяют ли человеческие существа сами условия, необходимые для жизни на Земле [1]. Наука об окружающей среде – это междисциплинарная область, изучающая влияние человека на экологические процессы, и, как таковая, она привлекает во внимание деятельность человека, а также экологические процессы [2]. Воздействие человека на окружающую среду часто называют «загрязнением» в самом широком смысле [3].

Как указывали несколько авторов, окружающая среда представляет собой сложную и динамичную систему, в которой различные аспекты могут привести к одному и тому же воздействию (например, выбросу газов глобального потепления), в то время как другие действия могут сочетаться синергетически для создания воздействия, которое намного больше, чем то, что можно было бы предсказать, используя редуционистский подход (например, диоксид азота и углеводороды могут реагировать с образованием тропосферного озона). Таким образом, требуется дальнейший анализ для оценки вероятных воздействий, которые будут иметь важные аспекты [4].

Проблема глобальных изменений сложна по своей природе и может быть представлена различными взаимодействиями, действующими в разных пространственно-временных масштабах. Решение этих проблем требует комплексного рассмотрения соответствующих взаимодействий между людьми и окружающей средой [4]. Информационные технологии играют все более важную и центральную роль в планировании, прогнозировании, наблюдении и контроле экологических процессов во многих различных масштабах и в различных временных промежутках. В то же время организации, отрасли (напри-

мер, ISO14001, европейский стандарт EMAS и т.д.). И правительства начали брать на себя больше проактивные отношения с окружающей средой путем принятия соответствующего законодательства, призывающего к явному учету воздействия на окружающую среду в процессе планирования и принятия решений по крупным проектам. В течение последних двух десятилетий быстрое развитие информационных технологий и быстрое развитие нового и более быстрого оборудования сделали возможным и очень плодотворным установление междисциплинарных исследовательских связей между учеными-экологами и компьютерными специалистами.

## Цели и методы

Цель данной статьи – показать, как искусственный интеллект в частности и информационные технологии в целом преуспели в разработке адекватных инструментов для моделирования, проектирования, моделирования, прогнозирования, планирования и поддержки принятия решений в области управления и защиты окружающей среды. Многие экологические проблемы, такие как нанесение ущерба биосфере, локальное загрязнение воздуха, распространение вредных веществ в воде и глобальные климатические изменения, не могут быть изучены экспериментально. Следовательно, математические модели и компьютерное моделирование используются как подходящие средства для получения более глубокого понимания.

Мы сгруппируем наш обзор методов искусственного интеллекта, применяемых к проблемам окружающей среды, по трем широким категориям.

- Методы интерпретации и интеллектуального анализа данных включают в себя проверку данных для выявления закономерностей, выявления потенциальных проблем или возможностей, или выявления сходства между текущими и прошлыми ситуациями.

- Методы поддержки принятия решений включают оценку альтернатив для изучения их возможных последствий, сравнения их от-

носительных затрат и выгод и рекомендаций соответствующих планов действий.

### Искусственный интеллект и проблемы окружающей среды

Искусственный интеллект применялся для решения проблем управления окружающей средой, как, например, при использовании экспертных систем, консультирующих группы реагирования в чрезвычайных ситуациях о том, как бороться с промышленными авариями [5], при использовании экспертных систем для оказания помощи в предоставлении разрешений на размещение опасных отходов [6], в моделирование качества воды и многие другие приложения для инженерии окружающей среды [7]. Первые приложения экспертных систем к проблемам окружающей среды появились в восьмидесятих годах. В последнее время исследования в области искусственного интеллекта были ориентированы на разработку систем, основанных на знаниях, когда применяется к вопросам окружающей среды, получают различные наименования, такие как системы поддержки принятия решений.

Системы поддержки принятия решений по окружающей среде или системы поддержки принятия решений с множеством целей или интеллектуальные помощники (см. рис. 1). Среди этих имен мы выбрали «Системы поддержки принятия решений в области окружающей среды» – это интеллектуальная информационная система, которая улучшает время, в течение которого могут быть приняты решения, а также последовательность и качество решений, выраженных в характерных величинах области применения.

Идеальные инструменты принятия решений для обоснованных рекомендаций по управлению земельными, водными ресурсами и окружающей средой должны включать количественные и аналитические компоненты; должны охватывать и интегрировать физические, биологические, социально-экономические и политические элементы принятия решений. Они также должны быть удобными для пользователя и напрямую соответствовать потребностям клиентов [8].

Ясно, что область применения является центральной для этой точки зрения. Важной особенностью этих систем является то, что



Рис. 1 – Системы поддержки экологических решений

они позволяют использовать и фиксировать специализированные знания из широкого спектра естественных наук. Эти специализированные знания могут включать среди прочего: а) эмпирические знания об организмах и окружающей их среде; б) ситуационные знания о местных условиях окружающей среды и их возможных отношениях с глобальной окружающей средой; в) субъективное знание человеческих убеждений, намерений, желаний и приоритетов; г) теоретические знания о биологических, физических и химических явлениях и т.д.

Существует четкое понимание того, что СППР в области окружающей среды, способный работать со всеми этими видами знаний, может быть полезен в процессе экологического менеджмента, который обычно состоит из четырех действий в следующем порядке. 1. Идентификация опасностей, которая включает критерии фильтрации и отбора, а также обоснование рассматриваемой деятельности. 2. Оценка риска, которая включает разработку количественных и качественных измерений опасности. Системы поддержки принятия экологических решений могут включать использование числовых и/или качественных моделей, которые могут производить оценки степени потенциальной опасности. 3. Оценка риска. После того, как потенциальные риски были оценены, можно ввести оценочные суждения относительно степени обеспокоенности определенной гипотезой. 4. Принятие решения о вмешательстве. Система нуждается в соответствующих методах контроля или снижения рисков. Система также требует знания контекста, в котором происходит деятельность, и должна уметь интерпретировать ее результаты, а также знания о методах балансировки риска и пользы. Идентификация опасностей связана в основном с интерпретацией данных и интеллектуальным анализом данных. Оценка риска связана с фазой диагностики проблемы [9]. Принятие решения о вмешательстве связано с методами поддержки принятия решений. СППР в области окружающей среды играет важную роль в снижении рисков, возникающих в результате взаи-

модействия человеческих обществ и их естественной среды.

### 3. Системы поддержки принятия экологических решений

В соответствии с классификацией, предложенной Риццоли и Янгом, системы поддержки принятия экологических решений можно разделить на две четко отделенные категории: СППР в области окружающей среды для конкретных проблем и СППР в области окружающей среды для конкретных ситуаций и проблем. СППР для конкретных задач предназначены для относительно узких экологических проблем (или областей), но они применимы к широкому кругу различных мест (или ситуаций). СППР для конкретных ситуаций и проблем адаптированы как к конкретной экологической проблеме, так и к конкретному месту. СППР EDSS не могут быть легко применены в новом месте, как многие KBS.

Кроме того, в той же статье Риццоли и Янг определяют набор желательных функций для идеального СППР, которые являются классическими в любой системе, основанной на знаниях:

- способность приобретать, представлять и структурировать знания в изучаемой области;
- способность базы знаний (или базы предметной области) отделять данные от моделей (для повторного использования модели и создания прототипов).

1. Умение работать с пространственными данными (компонент ГИС).
2. Способность предоставлять экспертные знания в интересующей области.
3. Возможность эффективного использования для диагностики, планирования, управления и оптимизации.
4. Умение помочь пользователю в постановке задачи и выборе методов решения.

СППР в области окружающей среды можно описать как многослойную систему, связывающую пользователя, возможно, ученого-эколога, с экологической системой или процессом. См. рис. 1, где изображена диаграмма СППР в области окружающей среды.

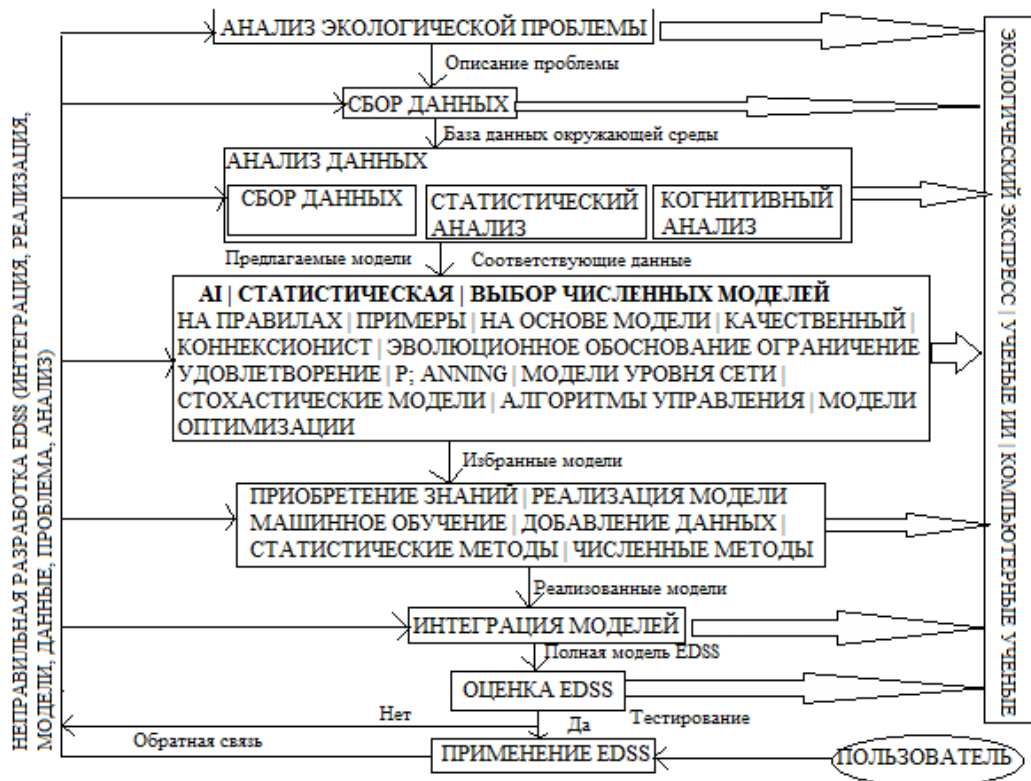


Рис. 2 – СППО в области окружающей среды.

Разработка СППО как сложной интегрированной базы знаний опирается на идею уточнения модели [11].

#### 4. Использование и обучение многослойной нейронной сети

Создание СППО для решения экологических задач требует детального анализа всей информации. Одной из главных задач, стоящих перед нами – это обучить нейросеть принимать наиболее правильное решение на основе имеющихся данных. Глубинное обучение – это по сути техника обучения нейросети, которая использует множество слоев для решения сложных проблем (например, распознавания речи) с помощью шаблонов [12]. Если рассматривать машинное обучение как ответвление или вариант работы искусственного интеллекта, то глубинное обучение – это специализированный тип такого ответвления. То есть, для достижения цели этого мы предлагаем использовать нейронные сети, использующие обучение с учителем. Во время прямого прохода все синаптические

веса сети фиксированы. Во время обратного прохода все синаптические веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок, а именно: фактический выход сети вычитается из желаемого, в результате чего формируется сигнал ошибки. Этот сигнал впоследствии распространяется по сети в направлении, обратном направлению синаптических связей. Отсюда и название – алгоритм обратного распространения ошибки. Синаптические веса настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому.

Введем следующие обозначения:  $X_i$  – входной вектор,  $Y_i$  – выходной вектор,  $w_{i,j}^k$  –  $i$ -ый весовой коэффициент  $j$ -го нейрона  $k$ -го слоя,  $b_i^k$  – порог  $i$ -го нейрона  $k$ -го слоя,  $d_i$  – эталонное выходное значение  $i$ -го нейрона. Выходное значение  $j$ -го нейрона  $k$ -го слоя вычисляется по формуле:

$$Y_j^k = F \left( \sum w_{i,j}^k Y_i^{k-1} - b_j^k \right)$$

Выходное значение  $j$ -го нейрона выходного слоя вычисляется по формуле:

$$Y_j = F \left( \sum w_{i,j} Y_i^{n-1} - b_j \right)$$

Функционал ошибки сети равен  $E = \frac{1}{2} \sum_j (Y_j - d_j)^2$ , где  $\gamma_j = Y_j - d_j$  ошибка j-го нейрона выходного слоя. Ошибка j-го элемента k-го скрытого слоя

$$\begin{aligned} \gamma_j^k &= \frac{\partial E}{\partial Y_j^k} = \sum_j \frac{\partial E}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial Y_j^k} \\ &= \sum_j \frac{\partial E}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial S_j} w_{i,j} \\ &= \sum_j (Y_j - d_j) F'(S_j) w_{i,j} \\ &= \sum_j \gamma_j F'(S_j) w_{i,j} \end{aligned}$$

Градиенты ошибок равны

$$\frac{\partial E}{\partial w_{i,j}} = \frac{\partial E}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial w_{i,j}} = \gamma_j F'(S_j) Y_j^k$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_j} = \frac{\partial E}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial b_j} = -\gamma_j F'(S_j)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_{i,j}} = \sum_j \frac{\partial E}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial Y_j^{k-1}} \frac{\partial Y_j^{k-1}}{\partial S_j^{k-1}} \frac{\partial S_j^{k-1}}{\partial w_{i,j}^k} = \gamma_j F'(S_j^k) Y_j^k$$

Весовые коэффициенты и смещения нейронов вычисляются по формулам:

$$w_{i,j}^k(t+1) = w_{i,j}^k - \alpha \gamma_j^k F'(S_j^k) Y_j^k$$

$$b_j^k(t+1) = b_j^k - \alpha \gamma_j^k F'(S_j^k)$$

Алгоритм обучения многослойной НС. 1. Задаются шаг обучения  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) и желаемая среднеквадратичная ошибка сети  $E_m$ . 2. Инициализируются случайным образом весовые коэффициенты  $w_{i,j}^k$  и пороговые  $b_j^k$  значения НС. 3. Подаются последовательно образы из обучающей выборки на вход нейронной сети. При этом для каждого образа выполняются следующие действия: а) производится фаза прямого распространения входного образа по нейронной сети. Вычисляется выходное значение всех нейронов  $Y_j^k$ ; б) вычисляются ошибки  $\gamma_j$  нейронов выходного и скрытого слоев; в) производится изменение

весовых коэффициентов и порогов нейронных элементов для каждого слоя нейронной сети. 4. Вычисляется суммарная ошибка нейронной сети  $E$ . 5. Если  $E > E_m$ , то происходит переход к шагу 3, иначе выполнение алгоритма завершается.

### Заключение

В этой статье рассказывается как методы искусственного интеллекта применялись для решения экологических проблем и как они открыли новые возможности для разработки и применения инструментов искусственного интеллекта, а именно систем поддержки экологических решений. Многие из этих систем были специально применены для оценки воздействия на окружающую среду.

Количество приложений СППР растет очень быстро, и это касается не только традиционных аппаратных устройств. Несмотря на это положительное впечатление, приложения ИИ для решения экологических проблем уступают системам ИИ в других областях, таких как медицина или производство. С появлением Интернета возможности подключения машин и датчиков позволяют распределять вычисления, открывая новые и дешевые способы эффективного решения проблем. Использование Интернета и/или интрасети упрощает доступ к хранимой информации, что позволяет лучше контролировать последствия действий и решений; также сократится время для принятия и утверждения решений. Более того, коллективная память организации могла бы лучше поддерживаться и быть более полезной в качестве базы случаев или базы знаний.

По мере того как СППР становится более удобной для пользователя, время изучения их функций сокращается, поэтому больше людей могут участвовать - на своем уровне ответственности - в процессе принятия решений. Важность местных решений возрастает за счет использования кооперативных систем. По мере того, как местные и глобальные решения могут приниматься и совместно использоваться быстрее, ожидается, что эффективность действий будет расти.

Ключом к полезным компьютерным системам поддержки принятия решений является интеграция. Базовая концепция интеграции признает, что в любой данной программной системе для реальных приложений несколько источников информации, более од-

ного представления или модели проблемы, различные методы решения проблем и, наконец, многогранный и проблемно-ориентированный интерфейс должны быть объединены в общую структуру, чтобы обеспечить реалистичную и полезную информационную базу.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Дж. Томсон. Искусственный интеллект и экологическая этика. *AI Applications*, vol. 11. – Вып. 1. – 1997. – С. 69-73.
2. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. - Москва: СИНТЕГ, 2017. – 224 с.
3. С.Э. Йоргенсен и И. Йонсен. Принципы экологической науки и технологий. //Исследования в области наук об окружающей среде. Elsevier, vol. 33, 1989, ISBN 0-444-43024-5.
4. Дж. Харт, И. Хант и В. Шанкараман. Системы управления окружающей средой – роль ИИ?. В *Workshop Binding Environmental Sciences and Artificial Intelligence (BESAI'98)*. – Под редакцией У. Корте. 's and M. Sa'nchez-Marre', 1998. – С. 1-10.
5. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /Леонид Нахимович Ясницкий. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
6. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
7. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
8. Сюдов А., Роуз Х. и Руфегер О. Устойчивое развитие и комплексная оценка. *Ercim News*, vol. 34, 32, 1998.
9. Остром Э. Управление общинами: эволюция институтов коллективных действий, Cambridge University Press, 1991, ISBN 0-521-37101-5.
10. Ф.Дж. Радермахер, В.Ф. Рикерт, Б. Пейдж и Л.М. Хилти. Тенденции в обработке экологической информации. //Тринадцатый Всемирный компьютерный конгресс 94. – Под редакцией К. Брунштейна и Э. Раубольда, 1994. – Т. 2. – С. 597-604.
11. Г. Стефанопулос и К. Хан. Интеллектуальные системы в технологическом процессе: обзор. *Computers Chem. Engng.*, Vol. 20, №№ 6/7, 1996. – С. 743-791.
12. Н.М. Авурис и Б. Пейдж (ред.). Экологическая информатика: методология и приложения обработки экологической информации, Kluwer, 1995, ISBN 0-7923-3445-0.
13. Робертсон Д., Банди А., Мютцельфельдт Р., Хаггит М., Ушольд М., Eco-Logic. Логические подходы к экологическим моделям, MIT Press, 1991, ISBN 0-262-18143-6.

## РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА БАЗЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ HONEYWELL

САМИГУЛИН Т.И.<sup>1,3</sup>, ШИРЯЕВА О.И.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет

<sup>2</sup>Институт информационных и вычислительных технологий

<sup>3</sup>Satbayev University

**Аннотация:** В статье рассматривается вопрос оптимального управления сложным МИМО объектом на основе современных методов роевого интеллекта. В качестве типового объекта управления выбрана дистилляционная колонна для процесса очистки газа, на базе которого реализуется интеллектуальное управление. Для решения задач оптимального синтеза промышленных регуляторов предлагается использовать метаэвристические алгоритмы на основе поведения стрекозы и оптимизации серого волка. В статье обосновывается перспективность внедрения разработанных методов для системы автоматического управления технологическим процессом в среде Experion PKS на базе оборудования компании Honeywell. Реализована стратегия управления интеллектуального ПИ-регулирования для программируемого логического контроллера С300, сконфигурирована станция управления и операторский экран, отображающий мнемосхему технологического процесса.

**Ключевые слова:** управление сложным МИМО объектом, промышленные регуляторы, метаэвристические алгоритмы роевого интеллекта, алгоритм стрекозы, оптимизация серого волка

## HONEUWELL КОМПАНИЯСЫНЫҢ ЖАБДЫҚТАРЫ ЖӘНЕ ҮЙІРЛІ ИНТЕЛЛЕКТІҢМЕТАЭВРИСТИКАЛЫҚАЛГОРИТМІНІҢНЕГІЗІНДЕГІКҮРДЕЛІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ ОҢТАЙЛЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ

**Аңдатпа:** Мақалада үйірлі интеллекттің заманауи әдістеріне негізделген күрделі МИМО объектісін оңтайлы басқару мәселесі қарастырылады. Типтік басқару объектісі ретінде газды тазарту процесіне арналған дистилляциялық баған таңдалды, оның негізінде интеллектуалды басқару жүзеге асырылады. Өнеркәсіптік реттегіштердің оңтайлы синтездеу мәселелерін шешу үшін инеліктің мінез-құлқына және сұр қасқырды оңтайландыруға негізделген метаэвристикалық алгоритмдерді қолдану ұсынылады. Мақала Honeywell компаниясының жабдықтарына негізделген Experion PKS ортасында технологиялық процестерді автоматты басқару жүйесі үшін жасалған әдістерді енгізу перспективасын негіздейді. С300 бағдарламаланатын логикалық контроллері үшін интеллектуалды ПИ-реттегіш басқару стратегиясы жүзеге асырылды, технологиялық процестің мнемосхемасын бейнелейтін басқару станциясы мен оператор экраны конфигурацияланды.

**Түйінді сөздер:** МИМО Smart-жүйе, күрделі нысандарды басқару, эволюциялық алгоритмдер, био-пайдаланылған алгоритмдер, ыдырау процедурасы, PI-реттегіші

**DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR A COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESS BASED ON METAHEURISTIC ALGORITHMS OF SWARM INTELLIGENCE AND INDUSTRIAL EQUIPMENT OF THE HONEYWELL COMPANY**

***Abstract:** The article discusses the issue of optimal control of a complex MIMO object based on modern methods of swarm intelligence. A distillation column for the gas purification process was chosen as a typical control object, which was implemented by intelligent control. It is proposed to use metaheuristic algorithms based on the behavior of a dragonfly and optimization of a grey wolf to solve the problem of optimal synthesis of industrial controllers. The article introduces the prospects for the implementation of the developed methods for an automatic process control system in the Experion PKS environment based on Honeywell equipment. The intelligent PI control strategy has been implemented for the C300 PLC, the control station and the operator screen has been configured for the technological process.*

***Key words:** control of a complex MIMO object, industrial controllers, metaheuristic algorithms of swarm intelligence, Dragonfly algorithm, Grey wolf optimization*

**Введение**

В настоящее время разработка и внедрение в промышленное производство искусственного интеллекта (ИИ) является первоочередной задачей для реализации программы «Индустриализация 4.0». Мировые лидеры по созданию распределённых систем управления и промышленного оборудования повсеместно внедряют результаты научных исследований в области ИИ в свои технологии. Перспективными направлениями являются системы анализа и прогнозирования больших данных, технологии цифровизации предприятий и разработка систем управления на основе биоинспирированных алгоритмов оптимизации [1].

Простота реализации, высокое быстродействие и производительность являются основными качествами ИИ по сравнению с классическими методами управления. Существует множество научных трудов, в которых обосновывается применение методов и алгоритмов искусственного интеллекта для решения оптимизационных задач [2], связанных с различными технологическими процессами, в том числе и нефтегазовой отрасли.

Предлагается следующая структура статьи: в разделе 2 рассматривается сложный объект управления – дистилляционная колонна; раздел 3 посвящён постановке задачи исследования; методы и алгоритмы ИИ представлены в разделе 4; результаты моде-

лирования и экспериментов приведены в разделе 5; раздел 6 посвящён реализации системы интеллектуального управления на оборудовании компании Honeywell и в заключении (раздел 7) представлены основные выводы по работе.

**1. Технологический процесс очистки газа в дистилляционной колонне**

В исследовании в качестве объекта управления выбрана дистилляционная колонна (ДК), представляющая собой многомерный и многосвязный (Multi Input Multi Output, MIMO) объект.

Сложность управления процессом характеризуется наличием перекрёстных связей в контурах управления, негативно влияющих на качество процесса.

Математическое описание ДК рассматривается в работах [3,4] и имеет следующий вид:

$$G(s) = \frac{1}{75s + 1} \begin{bmatrix} 87.8 & -86.4 \\ 108.2 & -109.6 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $G(s)$  – передаточная функция многомерного объекта управления,  $s$  – оператор Лапласа.

Предложенная L-V структура объекта (рис. 1) содержит две входные переменные: L – скорость потока рефлюксной жидкости, V – скорость потока пара с ребойлера.

Выходными сигналами являются концентрации дистиллята  $X_d$  и концентрации продуктов с нижней части колонны  $X_b$ .

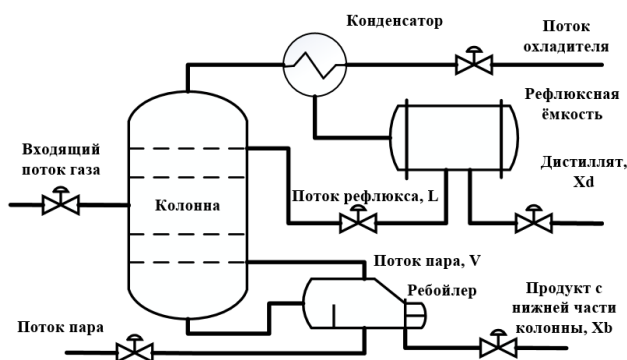


Рис. 1 – Технологическая схема дистилляционной колонны

Для стабилизации режимов работы выходных сигналов необходимо синтезировать два управляющих регулятора.

### 3. Постановка задачи

Целью исследования является разработка автоматизированной системы для оптимальной настройки промышленных ПИ-регуляторов на основе интеллектуального алгоритма стрекозы (Dragonfly algorithm, DA) и алгоритма оптимизации серого волка (Grey Wolf Optimization, GWO) для сложного многомерного объекта управления – дистилляционной колонны. Оптимальный подбор коэффициентов регулятора должен обеспечивать минимум интегрального квадратичного критерия качества по времени (Integral of time multiply squared error, ITSE) следующего вида:

$$I_{ITSE} = \int_{t=0}^n t(\hat{y}(t) - y(t))^2 dt, \quad (2)$$

где  $I_{ITSE}$  – критерий качества,  $\hat{y}(t)$  – желаемое значение переменной,  $y(t)$  – текущее значение,  $t = \overline{0, n}$  – время моделирования.

В качестве структуры регулятора предлагается использовать ПИ-закон регулирования:

$$u(t) = K_p e(t) + \int_0^t K_i e(t) d(t), \quad (3)$$

где  $K_p, K_i$  – коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющей регулятора,  $e(t)$  – ошибка рассогласования между уставкой и показанием с датчиков,  $u(t)$  – сигнал управления.

Далее нужно произвести сравнительный анализ алгоритмов DA и GWO и выбрать наилучшее решение, удовлетворяющее критерию качества (2). Синтезированные регуляторы необходимо реализовать на промышленном контроллере фирмы Honeywell.

### 4. Разработка оптимальной системы управления на основе метаэвристических алгоритмов роевого интеллекта

Для решения многопараметрической задачи поиска оптимальных коэффициентов регуляторов с наложенными ограничениями используются алгоритмы DA и GWO.

#### 4.1. Оптимизация с помощью алгоритма DA

Алгоритм на основе поведенческой реакции стрекозы является одним из современных методов роевого интеллекта, в основе которого заложена особенность перемещения роя стрекоз при переселении большими группами и процесса охоты на мелких насекомых [5]. Во время охоты рой стрекоз разделяется на группы в определённом участке окружающей среды с целью поиска источников пищи. Выделяют пять манер поведения одиночной особи стрекозы [6].

Алгоритм DA имеет следующий вид:

1. Сепарация. Процесс отделения особи от роя.

$$s = - \sum_1^N X - X_i, \quad (4)$$

где  $N$  – количество окружающих особей,  $X$  – вектор расположения особи на текущей итерации,  $X_i$  – вектор расположения соседней особи на текущей итерации.

2. Выравнивание скорости движения стрекозы в рое:

$$A = \frac{1}{N} \sum_1^N V_i, \quad (5)$$

где  $V_i$  – скорость движения соседней особи на текущей итерации,  $A$  – стабилизация скорости движения особи на текущей итерации.

3. Совокупное движение роя стрекоз (Cohesion):

$$C_i = \frac{1}{N} \sum_1^N X_i - X. \quad (6)$$

4. Передвижение  $i$ -ой стрекозы к найденному источнику пищи:

$$F_i = F_{loc} - X, \quad (7)$$

где  $F_{loc}$  – расположение источника пищи.

5. Защитная реакция  $i$ -ой особи от нападения хищников:

$$E_i = E_{loc} + X, \quad (8)$$

где  $E_{loc}$  – место расположения хищника.

Суммарный шаг корректирующего движения стрекозы для каждой итерации имеет вид:

$$\Delta X_{(t+1)} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + \omega X_t \quad (9)$$

где  $s, a, c, f, e, \omega$  – весовые коэффициенты каждой составляющей.

Следующая позиция стрекозы в пространстве просчитывается при помощи формулы:

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_{t+1} \quad (10)$$

Структурная схема алгоритма DA изображена на рис.2.

Алгоритм стрекозы подходит для решения бинарных и многокритериальных задач оптимизации, а также имеет высокую скорость сходимости [7]. Достоинствами являются устойчивость и простота реализации [8], что позволяет использовать алгоритм DA для различных приложений.

4.2. Оптимизация с помощью алгоритма GWO

В алгоритме оптимизации серого волка рассматривается поведение стаи волков во

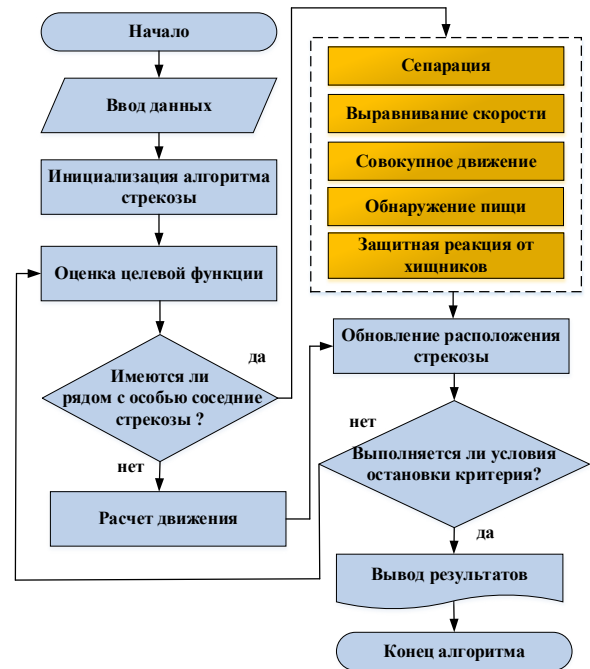


Рис. 2 – Структурная схема DA

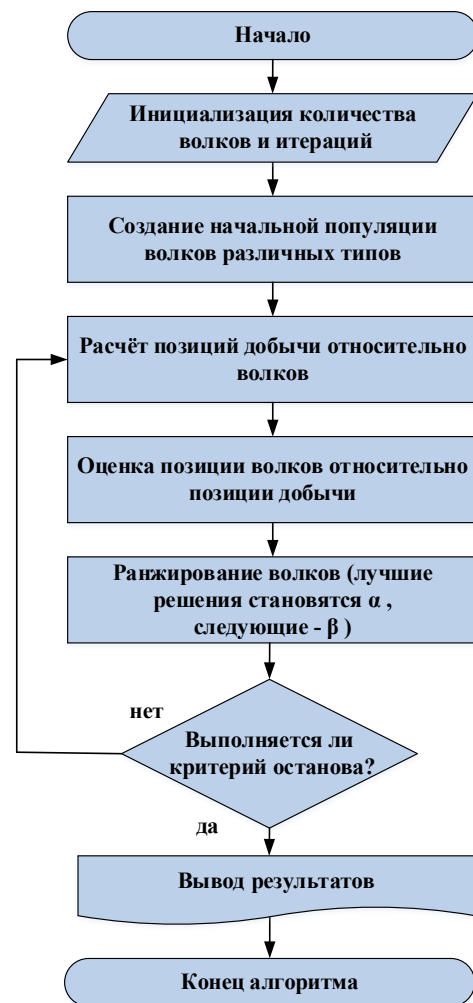


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма оптимизации серого волка

время охоты. Существует четыре типа волков:  $\alpha$  – принимает решение об охоте и координирует движение других волков;  $\beta$  – выдвигается в роли помощника  $\alpha$  при принятии решений;  $\delta$  и  $\omega$  подчиняются по иерархии вышестоящим типам волков [9]. Структурная схема алгоритма представлена на рис. 3.

Стая волков сначала окружает добычу (что является оптимальным решением) и преследует её до тех пор, пока жертва не устанет, только потом волки атакуют. Таким образом, появляется возможность охотиться на больших особей.

Математическая модель алгоритма представлена ниже [10]:

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \times \vec{D}, \quad (11)$$

где  $\vec{X}(t+1)$  – позиция волка на итерации t+1,  $\vec{X}_p$  – позиция волка на итерации t,  $\vec{A}$  – коэффициент уровня разведки,  $\vec{D}$  – дистанция между добычей и волком.

Дистанция высчитывается следующим образом:

$$\vec{D} = |\vec{c} \times \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)|, \quad (12)$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \times \vec{r}_1 - \vec{a}, \quad (13)$$

$$\vec{c} = 2 \times \vec{r}_2, \quad (14)$$

где  $\vec{a}$  – параметр для определения уровня разведки,  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$  – случайные элементы, генерируемые в области от 0 до 1.

Параметр  $a$  изменяется в зависимости от текущей итерации и определяется по формуле:

$$a = 2 - t \left( \frac{2}{T} \right), \quad (15)$$

где t – текущая итерация, T – максимальное количество итераций.

Основными преимуществами алгоритма оптимизации серого волка являются высокая скорость и точность поиска, по сравнению с алгоритмами роя частиц, стрекозы, метода гравитационного поиска, а также простота реализации [11].

### 5. Результаты моделирования и экспериментов

Осуществлено моделирование процесса очистки газа в дистилляционной колон-

не с интеллектуальными ПИ-регуляторами, настроенными с помощью алгоритмов DA и GWO (табл. 1).

Общие параметры настройки для алгоритмов оптимизации: количество поисковых переменных – 4, количество итераций – 100, нижние границы коэффициентов регулятора – 0,01, верхние границы – 30.

Начальные параметры для алгоритма стрекозы: максимальное количество итераций – 100, количество поисковых агентов – 25; для алгоритма серого волка количество агентов – 100.

**Таблица 1 – Рассчитанные коэффициенты ПИ регуляторов**

Алгоритм ИИ	Первый контур управления		Второй контур управления	
	$K_{p1}$	$K_{i1}$	$K_{p2}$	$K_{i2}$
DA	20,867	0,278	25,768	16,059
GWO	7,192	0,137	30,00	2,292

Для анализа динамики системы на входы каждого контура управления подано единичное ступенчатое воздействие  $u(t) = 1$ . Через 40 секунд моделирования повторно подается сигнал  $u(t) = 1.5$ . На рис. 4 представлены результаты моделирования процесса очистки газа с учётом регуляторов, настроенных с помощью алгоритмов DA и GWO.

Процент перерегулирования для первого контура управления следующий: DA – 0.0025%, GWO – 2,8%. Для второго контура управления: DA – 28,6%, GWO – 9,6%.

Время установившего переходного процесса для первого контура регулирования: DA – 36,06 секунд, GWO – 41,39 секунд. Для второго контура 33,5 и 27,87 секунды соответственно.

Результаты моделирования показали, что лучшим алгоритмом для настройки сложного многомерного объекта ДК при помощи ПИ-регуляторов для критерия ITSE является алгоритм GWO. Настроенные данным методом контроллеры имеют допустимый уровень перерегулирования и быстроедействие.

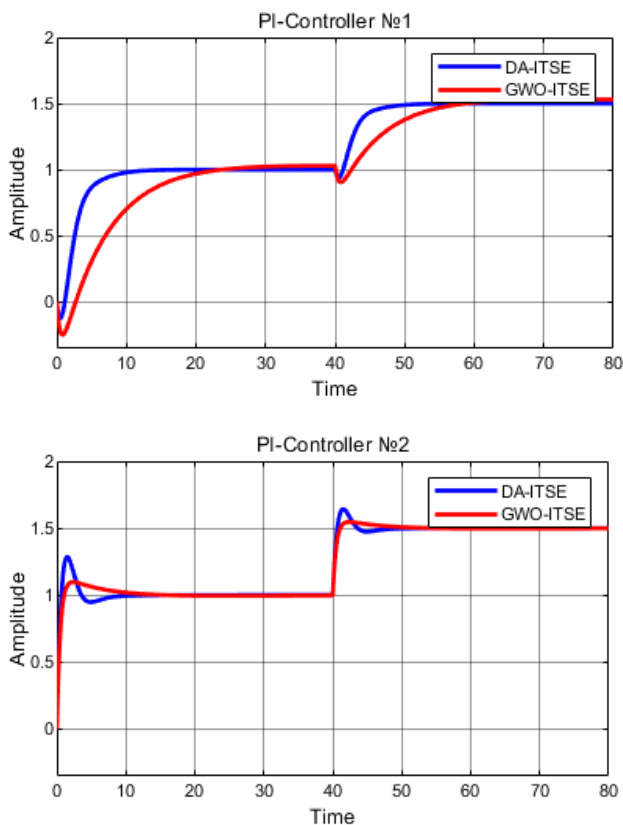


Рис. 4 – Моделирование переходных процессов ДК с интеллектуальными ПИ-регуляторами

### 6. Программная реализация на оборудовании компании Honeywell

Полученная оптимальная система управления сложным объектом ДК на основе интеллектуальных ПИ-регуляторов реализована с помощью программируемого логического контроллера Honeywell C300. Разработано программное обеспечение для распределённой системы управления Honeywell Experion PKS и создана мнемосхема технологического процесса ДК (рис. 5). Операторский дисплей позволяет в режиме реального времени следить за состоянием системы инженерам на флекс-станции управления.

Исследования выполнены в рамках проекта №AP09258508: «Разработка интеллектуальной технологии управления сложными объектами на основе унифицированной искусственной иммунной системы для промышленной автоматизации с использованием современной микропроцессорной техники».

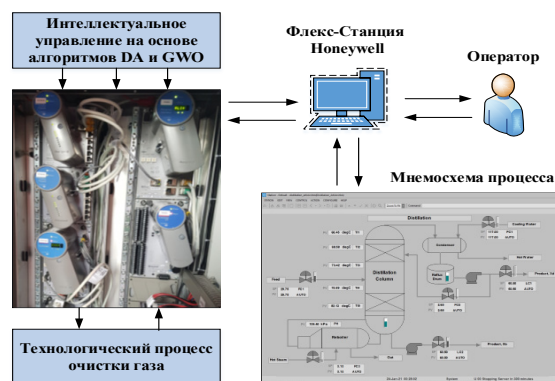


Рис. 5 – Структура системы управления, реализованной на промышленном оборудовании Honeywell для Experion PKS

Технической базой для реализации аппаратной части программного обеспечения и выполнения моделирования ДК является лаборатория «Honeywell» Казахстанско-Британского технического университета.

### Заключение

В работе представлена автоматизированная система оптимальной настройки промышленных регуляторов на основе метаэвристических алгоритмов оптимизации DA и GWO. Синтезированы интеллектуальные ПИ-регуляторы для контуров управления дистилляционной колонны, эффективно минимизирующие критерий качества ITSE.

Таким образом, применение метаэвристических алгоритмов роевого интеллекта на современном промышленном оборудовании фирмы Honeywell открывает широкие перспективы по созданию высокоэффективных интеллектуальных распределённых систем управления сложными объектами нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Darwish A. Bio-inspired computing: algorithms review, deep analysis, and the scope of applications // *Future Computing and Informatics Journal*. – 2018. – Vol.3, №2. – P. 231-246.
2. Koroteev D., Tekic Z. Artificial intelligence in oil and gas upstream: trends, challenges, and scenarios for the future // *Energy and AI*. – 2021. – Vol. 3. – 10 p.
3. Skogestad S., Morari M. LV-control of a high-purity distillation column // *IFAC Proceeding Volumes*. – 1987. – Vol. 20, №5, - P. 387-396.
4. Skogestad S., Postlethwaite I. *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. – 2005.
5. Zolghadr-Asli B., Bozorg-Haddad O., Chu X. Dragonfly Algorithm (DA) // *Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms*. – Springer, Singapore. – 2017. – P. 151-159.
6. Magarja M., Heidari A., Faris H., Mirjalili S., Aljarah I. Dragonfly algorithm: Theory, Literature Review, and Application in Feature Selection // *Nature-Inspired Optimizers, Studies in Computational Intelligence*. – 2020. – Springer Nature, Switzerland AG.
7. Mirjalili S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems // *Neural Computing and Applications*. – Vol. 27, №4. – 2015. – P. 1053-1073.
8. Rahman C., Rashid T. Dragonfly algorithm and its applications in applied science-survey // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2019. – 21 p.
9. Malik H., Srivastava S., Sood Y. R., Ahmad A. Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering // *Advances in intelligent systems and computing*. – Springer Nature Singapore. – Vol. 698. – 2019. – P. 501 – 507.
10. Mirjalili S., Dong J. Multi-objective Grey Wolf Optimizer // *Multi-Objective Optimization using Artificial Intelligence Techniques*. – Springer, Cham. – 2019. – P. 47-58.
11. Wang J., Li S. An Improved Grey Wolf Optimizer Based on Differential Evolution and Elimination Mechanism // *Scientific Reports*. – 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43546-3>

INFORMATION SYSTEMS FOR MACHINE INTELLIGENCE  
TO AUTOMATED SOFTWARE TESTING

SERALINA N.

*Kazkh-British Technical University*

**Abstract:** *The methods of development software develop rapidly. The testing of software has a great role in developing a good product. Many technologies assembled into all aspects of performance, based on software testing. Many advanced automation tools use in a set of test design and validation tests based on the artificial intelligence. The important thing is to focus on changes, to work on basis of collective reasoning of the test command and other commands analogues. The methods of the quality testing are based on the information provided in the modern digital world. The business is relying on new fast processes to provide automatic testing of software. Applying approaches of solutions to financial organization allows increase the transparency of all steps of software development. These steps can help systems show more percentage of the test case rate, can save time and money, but also effectively solves the problem of scaling the process and errors.*

*In this paper, we research information systems for machine intelligence to automated software testing. The aim is divided to tasks: the importance of artificial intelligence, the necessary stage of Software Development - Testing and Quality Controlling System, research of main automation tools.*

*We concluded that use of intellectual intelligence and machine learning: allows automating the repeating process and usage of the database; delivers superb intellectual product; adapts to the progressive algorithm of learning; adds more depth analysis of multiple objects; allows retrieving the maximum amount of data from the databases.*

**Key words:** *artificial intelligence, machine learning, payment system, web services, software requirements, framework*

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАНЫ ТЕСТІЛЕУГЕ  
МАШИНАЛЫҚ ИНТЕЛЛЕКТКЕ АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

**Аңдатпа:** *Бағдарламалық жасақтама жасау әдістері қарқынды дамып келеді. Бағдарламалық жасақтаманы тестілеу жақсы өнімді жасауда үлкен рөл атқарады. Бағдарламалық жасақтаманы тестілеу негізінде көптеген технологиялар өнімділіктің барлық аспектілеріне жинақталған. Автоматтандырудың біршама жетілдірілген құралдарында жасанды интеллектке негізделген тестілік жиынтықтар мен тексеру тестілері қолданылады. Сынақ тобы мен басқа аналогтық топтардың ұжымдық пайымдаулары негізінде жұмыс жасау, өзгерістерге назар аудару маңызды. Сапаны қамтамасыз ету әдістері қазіргі цифрлық әлемде ұсынылған ақпаратқа негізделген. Бағдарламалық жасақтаманы автоматты түрде тестілеуге тез мүмкіндік беру үшін бизнес жаңа процестерге сүйенеді. Қаржы институтына шешім қабылдау тәсілдерін қолдану бағдарламалық жасақтама жасаудың барлық кезеңдерінің ашықтығын арттыра алады. Жасалған қадамдар жүйелерге сынақ жағдайларының жоғары пайызын көрсетуге көмектеседі, уақыт пен ақшаны үнемдейді, сонымен қатар процестің масштабталуы мен қателіктер мәселелерін тиімді шешеді.*

*Бұл мақалада біз автоматтандырылған бағдарламалық қамтамасыздандыруды тестілеуге арналған машиналық оқыту мен жасанды интеллектті қолданатын ақпараттық жүйелерді зерттейміз. Мақсат міндеттерге бөлінеді: жасанды интеллекттің маңыздылығы, бағдарламалық жасақтама жасау*

қажетті кезеңі – тестілеу және сапаны бақылау жүйесі, негізгі автоматтандыру құралдарын зерттеу. Шешілі: интеллектуалды интеллект пен машиналық оқытуды қолдану: қайталанатын процесті автоматтандыруға және мәліметтер базасын пайдалануға жағдай жасайды; жоғары интеллектуалды өнімді жеткізеді; прогрессивті оқыту алгоритміне бейімделеді; бірнеше объектілерді тереңірек талдауды қосады; мәліметтер базасынан мәліметтердің максималды көлемін алуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** жасанды интеллект, машиналық оқыту, төлем жүйесі, веб-қызметтер, бағдарламалық жасақтамаға қойылатын талаптар, құрылым

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПО

**Аннотация:** Методы разработки программного обеспечения стремительно развиваются. Тестирование программного обеспечения играет большую роль в разработке хорошего продукта. Многие технологии объединены во все аспекты производительности на основе тестирования программного обеспечения. Передовые инструменты автоматизации используют в наборе тестов и проверочных тестов на основе искусственного интеллекта. Важно сосредоточиться на изменениях, работать на основе коллективных рассуждений тестовой команды и других аналогов команд. Методы проверки качества основаны на информации, представленной в современном цифровом мире. Бизнес полагается на новые быстрые процессы для обеспечения автоматического тестирования программного обеспечения. Применение подходов решений к финансовой организации позволяет повысить прозрачность всех этапов разработки программного обеспечения. Эти шаги могут помочь системам показать больший процент от частоты тестовых случаев, могут сэкономить время и деньги, но также эффективно решают проблему масштабирования процесса и ошибок.

В этой статье мы исследуем информационные системы с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта для автоматизированного тестирования программного обеспечения. Цель разделена на задачи: важность искусственного интеллекта, необходимый этап разработки программного обеспечения – система тестирования и контроля качества, исследование основных средств автоматизации. Вывод: использование интеллектуального интеллекта и машинного обучения позволяет автоматизировать повторяющийся процесс и использование базы данных; поставляет превосходный интеллектуальный продукт; адаптируется к прогрессивному алгоритму обучения добавляет более глубокий анализ нескольких объектов; позволяет получить максимальный объем данных из баз данных.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинное обучение, платежная система, веб-сервисы, программные требования, фреймворк

### 1 Introduction

The methods of development software develops rapidly. It can be checked and used for software tools and technology development. In the first glance, this is the necessary amount of education, to increase the software product and the quality of the long-lasting product. The testing of software has a great role in developing a good product. To find potential solutions to address all of these challenges, extensive efforts have

been devoted to this field from many disciplines, including neuroscience, artificial intelligence, cognitive science, computational theory, statistics, computer science and engineering design and others [1].

The main purpose of work is to research information systems for machine intelligence to automated software testing. The aim is divided to tasks: the importance of artificial intelligence,

the necessary stage of Software Development - Testing and Quality Controlling System, research of main automation tools.

Many technologies are built into all aspects of performance, based on software testing. Many advanced automation tools use in a set of test design and validation tests based on the artificial intelligence (AI). The AI support for the quality test extracted in technical batches, which used to solve multiple problems when testing. The main purpose is to understand the functional application of a common user or tester's demands. The development stage should expect that the developers' team need careful usability and availability. It is important to focus on changes, to work on basis of collective reasoning of the test command and other commands analogues. Testing and Quality Controlling System (QCS) – widely developed and important task of software development stage. The optimal approach is automation of testing, many IT companies' according World Quality Report approximately 60% of commercial projects are used Agile methods workplace, only 16% uses automated QCS process. In process, the important role takes machine learning and AI methods. In the emerging digital economy, the main aim of commerce is to increase the credibility of justice. At Agile Development Agile subsets can be minimized the amount of time spent on product. The automation is based on the practical uniqueness of supporting high-speed processes, which is necessary for competition in modern markets. An important aspect of testing that separates it from other forms of code verification is that a test involves executing the code and examining the results instead of reviewing the code itself. Because of this feature, software testing is vital to finding unexpected errors and ensuring that the system functions correctly [2]. The methods of the quality testing is based on the information provided in the modern digital world. The business is relying on new fast processes to provide automatic testing of software.

According to [3] we build the model of web-based framework for financial organization. We offered logical architecture of payment system.

In developing of software can be used Model-Driven approach. The authors [4] demonstrate the key idea to apply Model-Driven QoS-aware approach to the wireless sensor network that are controlled by the network of “smart” controllers. They propose Model-Driven Architecture, the meta-model and its semantics, as the basis for an adaptation framework.

In developing of software there can be failures. The author [5] proposed a system that performs a dynamic selection of regressors to estimate the number of software failures. The author suggested a method of dynamic selection of regressors using instance grouping. In the study, it is mentioned that this regression area in failure prediction it is little explored, as more emphasis is placed on classification activities.

## 2 Main part

Applying AI and machine learning allows increase the transparency of all steps of software development. In addition, AI can produce tests that are just quick and easy. Controlled AI systems show more than a percentage of the test case rate, can save time and money, but also effectively solves the problem of scaling the process and errors. AI can reflect and predict typical problems, which reflected in the double-sided analysis. In an effort to deal with the increasing complexity of software systems that have to operate in dynamic, unpredictable, and heterogeneous environments, Agent-Oriented Software Development has been put forward [6]. There are several examples of testing tools.

### Selenium

Programmers and testers in software web application testing processes use selenium. It is famous with open source framework code. The testing tool can be integrated with other tools such as Katalon Studio, Watir, Protractor and Robot Framework. That is the main feature in meeting requirements of testers and users. It is important to users to define necessary values, test scripts and nondrug test jobs. The Selenium testing tool has maintenance in basic operating systems: Windows, Mac, Linux. It can support main browsers, such as Chrome, Firefox, Internet

Explorer, and Headless. The used programming tools are Java, Groovy, Python, C #, PHP, Ruby and Perl. Industrial automation systems are relatively static and deterministic with only small changes to them during their operation. This can be used as an advantage when designing the security for the industrial automation systems. Any information known about the operation of the industrial automation systems can be used when designing the security for them [7].

### **Katalon Studio**

Programmers, testers to test web, API, mobile and desktop test automation, use Katalon Studio. It deploy on operating systems: Windows, Mac and Linux. The main feature is that tool can be used to beginners of codeless beginners and can infinite testing extension for experts. It can integrates with other testing tools, such as Selenium, Appium, QTest, JIRA, Jenkins, and Git. Katalon. The most important feature is Analytics, which shows the tester or user to access the full prediction of the testing process. There can be used custom metrics, screen displays, and video metrics, charts, and graphs. Testing methods have improved a lot from the early days of programming and more tools are introduced to help to automate the processes. Proper tooling and habits lead to faster execution times, better analytics and more fluent reliable shipping of software. [8]. It reduce potential risks: broken links, navigation, web security and other risks. Katalon Studion is used in many companies over that 160 countries. There are hundreds of GitHub repositories and online courses.

### **Unified Functional Testing (UFT)**

UFT / QTP is an automated functional testing tool by Micro Focus. The programmers, testers uses that in alpha and beta tests to identify bugs. It was earlier known as QTP (QuickTest Professional). QTP was originally designed by the company Mercury Interactive which was acquired by Hewlett Packard (HP) in 2006. In 2011 there was implementation of version 11.5, QTP was renamed to UFT. In Sep 2017, was designed, supported and maintained by Micro Focus. The main feature of tool is that it is used

for functional, regression and service testing. It helps to improve user actions on a web or client based computer application and test and identify bugs on the same actions for different users, different data set, on various Windows operating systems and/or different browsers[9].

### **IBM Rational Functional Tester**

IBM RFT – is a platform for the functional data testing and regression software. It supports the testing spectrum of the application spectrum, defined in different programming languages, including .Net, Java, SAP, Flex and Ajax. RFT supports Visual Basic .Net and Java in script language formats. RFT has the unique function of Storyboard testing. It also combines with automatic testing of the degree to which users are stored and visualized in the video of the subsequent image - screenshots of the application in different stages of greater testing. The latest single-band RFT platform provides enhanced integration with IBM Jazz custom cycle management systems (printers, IBM Rational Team Concert and Rational Quality Manager) [10]. Likewise, each one of them has its own unique tool, which is unique for resolving the post-processing tasks by means of automatic testing software. There can be used tools that allows integrating the necessary tests and integrations, as well as effectively processing the test and printing tasks from the application [11].

### **SOAPUI**

Free product for functional testing with a software code derived from SOAP and REST. It was built on the core Java programming language. Mostly is used for direct and functional loading testing based on multiple multifunctional parameters. The graphical interface is user-friendly and has a simple design and use. Some testing function features allow user to protect the website from hackers and viruses [12].

### **3 Conclusion**

According examples of testing tools can be concluded that use of intellectual intelligence and machine learning:

- Allows automating the repeating process and usage of the database;

- Delivers superb intellectual product;
  - Adapts to the progressive algorithm of learning;
  - Adds more depth analysis of multiple objects;
  - Allows retrieving the maximum amount of data from the databases.
- In future, in our research work we will develop analyzing and usage of self-adaptive systems for machine intelligence.

## REFERENCES

1. Haibo He. Self-adaptive systems for machine intelligence, John Wiley & Sons, 1-2, 2011.
2. Elona Wallengren Robin S. Sigurdson, Machine Intelligence in Automated Performance Test Analysis, Gothenburg, Sweden, 4 page, 2018.
3. Seralina N. A model for the web-services based framework. ICINCO 2020 Final program and book of abstracts. 17th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Portugal. Online streaming, July 2020 , 26 page (<https://www.insticc.org/node/technicalprogram/icinco/2020> )
4. Akzhalova A., Alexeev M., Sarsembayev B. Model-Driven Architecture for the QoS-Based Adaptive Sensor Network System. Springer International Publishing Switzerland, Book Chapter, Business Modeling and Software Design, 43-61 page, 2015.
5. Santosh Singh Rathore and Sandeep Kumar. An approach for the prediction of number of software faults based on the dynamic selection of learning techniques. IEEE Transactions on Reliability, 68(1):216-233, 2019.
6. A. Sturm and O. Shehory. Agent-Oriented Software Engineering: Revisiting the State of the Art. In O. Shehory and A. Sturm, editors, Agent-Oriented Software Engineering, pages 13–26. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
7. R. Zurawski, M. Naedele, Integration Technologies for Industrial Automated Systems – IT Security for Automation Systems, CRC Press 2006, pp. 23-1 – 23-15.
8. H. Mohanty, J. Mohanty, and A. Balakrishnan, Trends in Software Testing, ISBN: 9789811014147. DOI: 10.1007/978-981-10-1415-4. [Online]. Available: <https://link-springer-com.ezproxy.utu.fi/content/pdf/10.1007%7B%5C%%7D2F978-981-10-1415-4.pdf>.
9. Graham Smith. The intelligent solution: automation, the skills shortage and cyber-security. Computer Fraud & Security. Volume 2018, Issue 8, August 2018, Pages 6-9.
10. Maria José Sousa, Álvaro Rocha. Digital learning: Developing skills for digital transformation of organizations. Future Generation Computer Systems. Volume 91, February 2019, Pages 327-334
11. Adriana Giret, Emilia Garcia, Vicente Botti. An engineering framework for Service-Oriented Intelligent Manufacturing Systems. Computers in Industry. Volume 81, September 2016, Pages 116-127.
12. Graham Smith, The intelligent solution: automation, the skills shortage and cyber-security. Computer Fraud & Security, Volume 2018, Issue 8, August 2018, Pages 6-9.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

УСЕРБАЕВА Б.А.<sup>3</sup>, ТЛЕУОВА С.Т.<sup>1</sup>, ТЛЕУОВ А.С.<sup>1</sup>,  
ТАУБАЕВА А.С.<sup>1</sup>, УЛБЕКОВА М.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский педагогический университет

**Аннотация:** В статье приведены результаты экспериментальных исследований и математическое описание процесса сорбционной очистки сточных вод производства фосфора и нефтепереработки от минеральных примесей и нефтепродуктов. Экспериментальные исследования сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов и минеральных составляющих проводили на лабораторной установке с программным контролированием расхода исследуемой жидкости 1-4 л/мин, в температурном интервале 20-70°C.

Для разработки математической модели использовали графические зависимости экспериментальных и теоретических данных, отражающих отклонения показателей степени извлечения углеводов от сточных вод при адсорбции. Вычисленный критерий Фишера меньше найденного табличного значения, что характеризует адекватность полученных зависимостей.

Анализ трехмерных графических данных очистки сточных вод фосфорного производства от содержания примесей  $P_2O_5$ ,  $CaO$  и  $Al_2O_3$  показал, что максимальное значение степени очистки более 60%, достигается при pH 4,4-4,6.

Полученные данные экспериментальных исследований сорбционной очистки сточных вод переработки нефти от нефтепродуктовых примесей наиболее эффективно проводить при температуре 40°C и расходе исследуемой жидкости 2,5-3 л/мин, обеспечивающей степень извлечения до 99,5%.

**Ключевые слова:** фосфор, бентониты, сорбенты, математическое описание, сточные воды, степень очистки

## ХИМИЯЛЫҚ ӨНДІРІСТЕРІНІҢ АҒЫНДЫ СУЛАРЫН СОРБЦИЯЛЫҚ ТАЗАРТУ ПРОЦЕСІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

**Аңдатпа:** Мақалада тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері фосфор және мұнай өңдеу өндірісінің ағынды суларын минералды қоспалар мен мұнай өнімдерінен сорбциялық тазарту процесінің математикалық өрнектеуі келтірілген. Ағынды суларды мұнай өнімдері мен минералды компоненттерден сорбциялық тазартуды тәжірибе жүзінде зерттеулерде сұйықтықтың шығынын 1-4 л/мин, 20-70°C температуралық арақашықтықта бағдарламалық бақылаумен зертханалық қондырғыда жүргізілді.

Математикалық модельді жасау үшін адсорбция кезінде ағынды сулардан көмірсутектерді алу деңгейінің көрсеткіштерінің ауытқуын көрсететін тәжірибелік және теориялық мәліметтердің графикалық тәуелділігі қолданылды. Фишер критерийі арқылы алынған тәжірибелік тәуелділіктердің сипаттамасы кестелік мәнімен салыстыру бойынша тәуелділіктер адекватты екені айқындалды.

Фосфор өндірісінің ағынды суларын  $P_2O_5$ ,  $CaO$  және  $Al_2O_3$  қоспаларынан тазартудың үш өлшемді графикалық деректерін талдау тазарту дәрежесінің максималды мәні pH 4,4-4,6 кезінде 60%-дан

асатындығын көрсетті. Мұнай өнімдері қоспаларынан мұнай өңдеудің ағынды суларын сорбциялық тазартудан алынған тәжірибелік зерттеулер деректері 40°C температурада және 99,5%-ға дейін алу дәрежесін қамтамасыз ететін, зерттелетін сұйықтықтардың шығыны 2,5-3 л/мин болған кезде анағұрлым тиімді екені анықталды.

**Түйінді сөздер:** фосфор, бентонит, сорбенттер, математикалық өрнектеу, ағынды сулар, тазарту дәрежесі

## MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF SORPTION TREATMENT OF WASTE WATER OF CHEMICAL PRODUCTIONS

**Annotation:** The article presents the results of experimental studies and a mathematical description of the process of sorption treatment of wastewater from phosphorus production and oil refining from mineral impurities and petroleum products. Experimental studies of sorption treatment of waste water from petroleum products and mineral components were carried out on a laboratory installation with program control of the flow rate of the test liquid 1-4 l/min, in the temperature range of 20-70°C.

To develop a mathematical model, we used graphical dependences of experimental and theoretical data that reflect deviations in the degree of recovery of hydrocarbons from wastewater during adsorption. The calculated Fisher criterion is less than the found table value, which characterizes the adequacy of the obtained dependencies.

The analysis of three-dimensional graphic data of wastewater treatment of phosphorus production from the content of impurities  $P_2O_5$ , CaO and  $Al_2O_3$  showed that the maximum value of the degree of purification of more than 60% is achieved at a pH of 4.4-4.6.

The obtained data of experimental studies of sorption treatment of oil refining wastewater from oil product impurities are most effectively carried out at a temperature of 40 °C and the flow rate of the test liquid is 2.5-3 l/min, which provides a recovery rate of up to 99.5%.

**Key words:** phosphorus, bentonites, sorbents, mathematical description, waste water, degree of purification

Рациональное использование водных ресурсов – одно из важнейших направлений в области охраны окружающей среды и оздоровления экологической обстановки в регионе. Быстрорастущая потребность в воде и ограниченность ее запасов, связанная с удорожанием процессов водоподготовки, приводит к необходимости создания новых технологий очистки промышленных сточных вод [1,2].

Производственные сточные воды имеют сложный состав и всегда содержат в своем составе по отдельности или в комплексе различные ядовитые и токсичные вещества. Сброс таких сточных вод в открытые водоемы или городские канализационные сети без соответствующей очистки чревата большими осложнениями.

Сорбционное извлечение токсичных веществ из сточных вод получило достаточно широкое распространение вследствие высокой эффективности и отсутствия вторичных загрязнений. Сорбенты на основе природных минералов поглощают из водных растворов токсичные вещества практически до любых остаточных концентраций.

При адсорбции из растворов наряду с поглощением нейтральных молекул может происходить адсорбция ионов, содержащихся в растворе. При этом ион, заряженный положительно, адсорбируется преимущественно на сорбентах с отрицательно заряженной поверхностью, и наоборот. Эти процессы обычно сопровождаются явлением обмена ионами между адсорбентом и раствором – так называемой ионообменной адсорбцией [2-4].

Чаще всего сорбционными методами производится доочистка загрязненных сточных вод.

Сорбция в динамических условиях осуществляется в адсорберах различной конструкции. Очистка воды на гранулированных сорбентах ведется в аппаратах с плотным, взрыхленным, движущимся и псевдосжиженным слоем.

Для практического использования сорбентов в процессах очистки воды важной характеристикой является степень извлечения адсорбтива.

Лабораторные исследования по сорбционной очистке сточных вод НДФЗ, ТОО «Казфосфат» и ТОО «ПетроКазахстанОйлПродактс» с использованием модифицированной бентонитовой глины были проведены на лабораторной установке с программным регулированием технологических параметров. Зависимость степени сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов и минеральных составляющих проводили при расходе исследуемой жидкости 1-4 л/мин в температурном интервале 20-40°C, которые представлены в таблице 1, 2.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что сорбент наиболее эффективно извлекает нефтепродукты в широком диапазоне концентраций при температуре 40°C. Так, при исходной концентрации

250 мл/л степень извлечения нефтепродуктов 99,5 и 98,5%.

Результаты очистки сточных вод от нефтепродуктов в динамических условиях представлены в таблице 3, где  $\alpha$  – степень извлечения нефтепродуктов,  $V$  – линейная скорость фильтрации,  $m$  – содержание алюмосиликатов в сорбентах.

Из данных таблицы 3 следует, что в активированном бентоните максимальная степень выделения нефтепродуктов наблюдается при  $m=80$  мг/г.

Таким образом, при содержании алюмосиликатных соединений в активированном бентоните 80 мг/г сорбент обладает лучшими сорбционными показателями.

На основании экспериментальных данных (табл.4) может быть построена кривая, отражающая зависимость степени извлечения углеводородов из сточных вод от времени адсорбции [4-6].

Для описания кривых использовано уравнение:

$$y = Cxy^{kx} \quad (1)$$

Если зависимость основана на экспериментальных данных, то применимо следующее уравнение:

$$\alpha = \alpha_0 + Cme^{km} \quad (2)$$

где  $m$  – расчетное содержание алюмосиликатов;

$\alpha$  – степень извлечения нефтепродуктов;

**Таблица 1 – Зависимость степени извлечения ( $\alpha$ ) нефтепродуктов от исходной концентрации нефтепродуктов при температуре 20°C**

Сисх, мл/л	25	50	100	250	300	350
C, мл/л	0,35	0,91	1,90	13,67	23,37	112,00
$\alpha$ , %	98,6	98,18	98,1	98,53	95,33	88,8

**Таблица 2 – Зависимость степени извлечения ( $\alpha$ ) нефтепродуктов от исходной концентрации при температуре 40°C**

Сисх, мл/л	25	50	100	250	500	1000
C, мл/л	0,083	0,167	0,333	0,35	0,48	3,27
$\alpha$ , %	98,9	99,1	99,3	99,5	98,3	97,6

**Таблица 3 – Сорбционные свойства активированного алюмосиликатного материала в зависимости от содержания нефтепродуктов**

m, мг/г	Динамическая емкость	$\alpha$ , %	V, мин
10	140	94,5	0,25
20	160	97,2	0,20
40	180	99,01	0,18
60	246	98,7	0,17
80	277	99,5	0,23
120	220	97,8	0,31
260	212	95,3	0,24
400	-	96,4	0,15

$\alpha_0$  – степень извлечения для исходного бентонита ( $\alpha_0=93\%$ ).

Производная от уравнения (2):

$$\alpha = C e^{km} + C k m e^{km} = C e^{km} (1 + km) \quad (3)$$

при  $m=80$  получим:

$$(1+km)=0; \quad k = -1/m = -1/80 = -0,025$$

$$\text{При } \alpha = 95, m=80, C = 0,091$$

$$\alpha = 93 + 0,09 m e^{1-0,025}$$

Сравнительные результаты экспериментальных данных с расчетными заключениями показали об адекватности полученной математической зависимости (таблица 4).

Адекватность полученной зависимости проверялась по критерию Фишера. На рисунке 1 представлен график полученной теоретической и экспериментальной зависимости степени очистки от времени сорбции.

Из рисунка 1 следует, что экспериментальные значения степени выделения нефтепродуктов из сточных вод в зависимости от содержания в них примесей имеют значительные отличия. Так при увеличении количества примесей в интервале 40-50 мл/л мак-

симальная степень выделения достигается – 98,3% при температуре 40°C и продолжительности 60 секунд.

Трехмерные графические зависимости очистки сточных вод фосфорного производства от двух независимых факторов – рН и продолжительности, а также от переменных показателей – содержания примесей  $P_2O_5$ , CaO и  $Al_2O_3$  приведены на рисунках 2-5.

Анализ полученных графических изменений показал, что степень очистки от  $P_2O_5$  достигает максимального значения при рН 4,4-4,6 соответствует более 60%.

Содержание оксида кальция после сорбционной очистки зависит от рН и массы образовавшегося осадка. При этом общее содержание оксида алюминия и оксида кальция зависит от массы образовавшегося осадка и рН исследуемого раствора после сорбционной очистки.

Результаты проведенных исследований очистки промышленных сточных вод ЖФ ТОО «Казфосфат» НДФЗ с применением сорбентов на основе бентонитовой глины с до-

**Таблица 4 – Сравнительные экспериментальные и теоретические показатели сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов**

t, c	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\alpha_{\text{оп}}$ , %	64,3	84,9	86,5	91,1	98,9	98,2	97,2	95,3	94,9
$\alpha_{\text{теор}}$ , %	65,1	85,2	87,3	92,6	98,2	97	96,1	93,2	93,7
$\Delta \alpha$	0,9	0,7	0,8	1,5	0,7	1	1,1	2,1	1,2
$\Delta \alpha^2$	0,81	0,49	0,64	2,25	0,49	1	1,21	4,41	1,44

бавкой 40% нефтешлама, при этом в условиях сорбционной очистки исследуемых сточных вод при температурах 50-60°C расходе исследуемой жидкости 2-4 л/мин а также рН 2-4,5 показали, что степень очистки достигает 86-92%.

Анализ полученных результатов показал, что при рН =2,0-4,5 содержания основных компонентов (кроме  $Fe_2O_3$ ) составляет от 0,5 до 2,2 г/л, что соответствует допустимой норме концентрации.

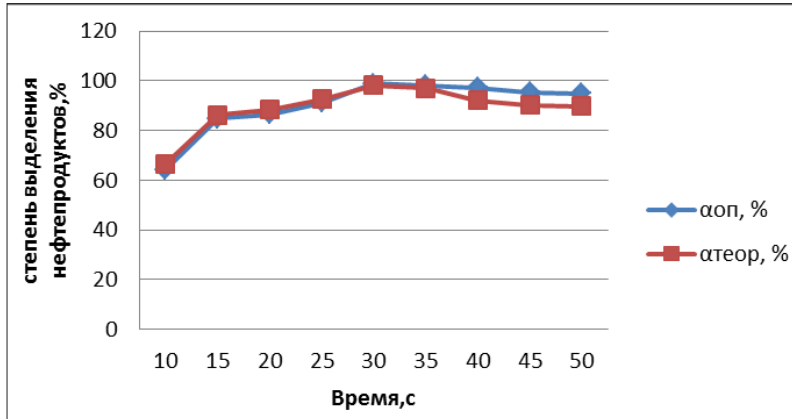


Рис. 1 – Зависимость степени выделения нефтепродуктов

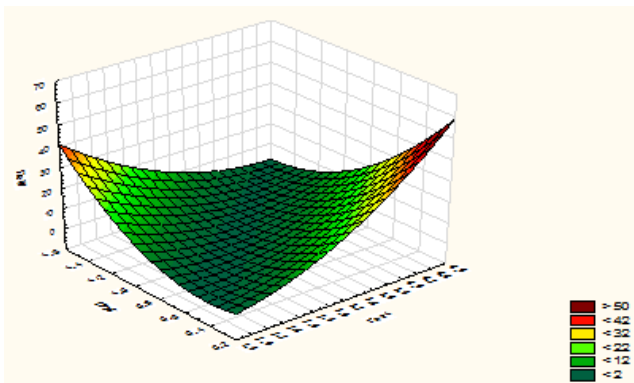


Рис. 2 – Объемное изображение поверхностей для  $P_2O_5$ , рН раствора и остаточный массы

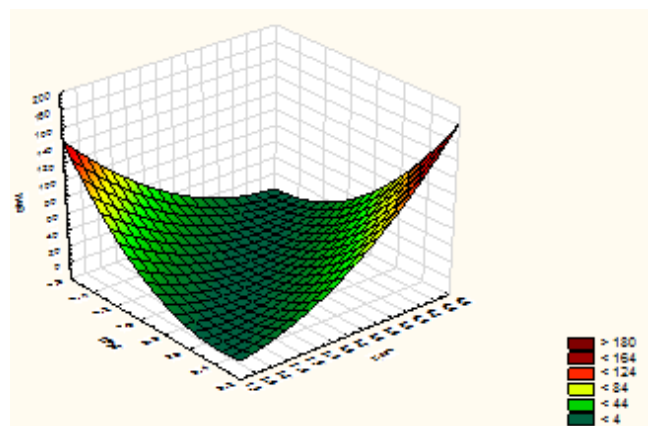


Рис. 3 – Объемное изображение поверхностей для CaO, рН и остаточной массы

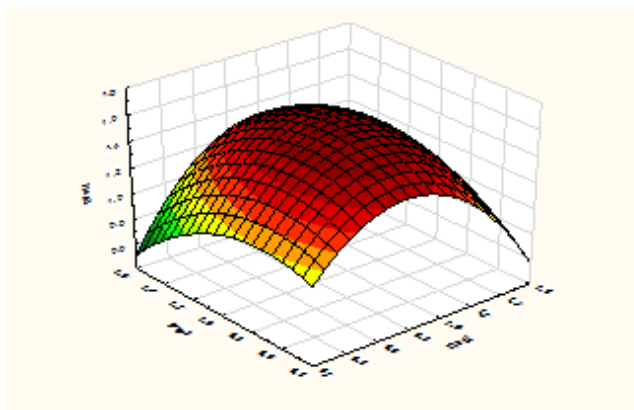


Рис. 4 – Объемное изображение поверхностей для  $Al_2O_3$ , CaO и остаточный массы

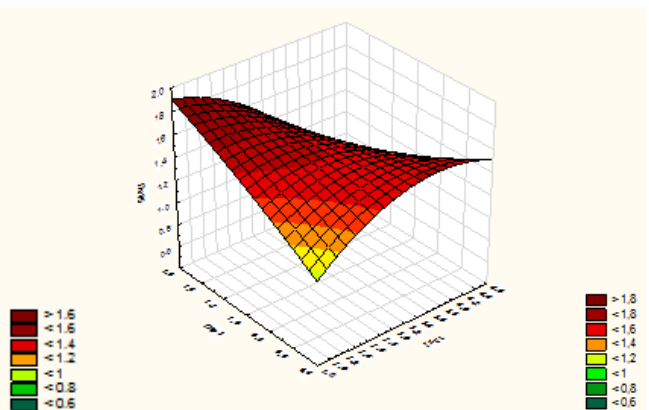


Рис. 5 – Объемное изображение поверхностей для  $Al_2O_3$ , CaO и рН раствора

### Вывод

На основе выполненных экспериментальных исследований сорбционной очистки сточных вод химических производств установлена возможность использования сорбентов на основе модифицированной бентонитовой глины с добавкой нефтяного шлама в количестве 30-40% от соответствующей массы смеси.

Математическое описание процесса сорбционной очистки сточных вод химических производств выполнены по экспериментальным и теоретическим данным с установлением адекватности зависимостей по критерию Фишера. При этом возможность со-

рбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов и минеральных составляющих обеспечивается при расходе исследуемой жидкости 1-4 л/мин в температурном интервале 20-40°C.

Трехмерные графические зависимости очистки сточных вод фосфорного производства показали, что степень очистки от  $P_2O_5$  достигает максимального значения при pH 4,6 соответствует 60%. При этом общее содержание оксида алюминия и оксида кальция достигает соответственно 1,86 и 1,6 при pH исследуемого раствора 4,6.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров А.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод сочетанием экстракционных и адсорбционных методов: Автореф. дис... канд. техн.наук. – Иваново, 2008. – 16 с.
2. Xiaobing L., Chunjuan Z., Jiongtian L. Adsorption of oil from wastewater by coal: characteristics and mechanism // Mining Science and Technology. – 2010. – V. 20. – P. 778-781.
3. Tleuov A.S., Tleuova S.T., Arystanova S.D., Altybayev Zh.M., Suigenbayeva A.Zh. Oriental journal of chemistry. Coden: ojcheg. 2016, vol. 32, (5) pg. 2577-2584.
4. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов. – М.:ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
5. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов. – М.:ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
6. Исмаилов Б.Р. Химиялық технология үрдістерінің математикалық моделдеу негіздері. ОҚМУ, 2016. Оқу құралы, 168 п.

**РАЗРАБОТКА ИТ-АРХИТЕКТУРЫ ДАТЧИКА БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ****УТЕПОВ Е.Б.<sup>1,2</sup>, ТУЛЕБЕКОВА А.С.<sup>1,2</sup>, КАЗКЕЕВ А.Б.<sup>1,3</sup>**<sup>1</sup>ТОО «CSI Research & Lab»<sup>2</sup>НАО Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева<sup>3</sup>НАО Государственный университет имени Шакарима

**Аннотация:** Рост конкуренции, а также нестабильность мировой экономики в отрасли вынуждает строительные компании снижать расходы при возведении зданий и сооружений, обеспечивая наиболее привлекательную цену за квадратный метр для потребителей. Для снижения расходов строительные компании применяют в своей практике современные цифровые технологии. На сегодняшний день наиболее эффективным и часто применяемым решением в мировой практике является применение датчиков зрелости, при помощи которых можно оптимизировать процесс заливки и распалубливания железобетонных конструкций. За счет точного и своевременного обнаружения момента прочности бетона сокращаются сроки строительства, снижаются трудозатраты и соответственно экономятся средства. Данная статья посвящена разработке усовершенствованной ИТ-архитектуры датчиков зрелости. На начальном этапе разработки был произведен опрос потенциальных пользователей, в результате чего были составлены основные технические требования к датчику. В ходе разработки была предложена схема обмена данными между ССД и БДМ по топологии «Звезда», а в качестве интерфейса беспроводной связи, выполняющей требования системы, была выбрана энергоэффективная сеть LPWAN с протоколом LoRaWAN. Это позволило решить основную проблему зарубежных аналогов датчиков зрелости – одновременная синхронизация данных с большого количества датчиков. Также LoRaWAN имеет больший радиус действия по сравнению с Bluetooth, который используется в зарубежных аналогах. В результате разработки ИТ-архитектуры были реализованы все основные технические требования, составленные во время опроса потенциальных пользователей. Так как в разработанной ИТ-архитектуре предусмотрен обмен и накопление информации с множества датчиков, в дальнейшей перспективе возможно создание больших данных (Big data).

**Ключевые слова:** ИТ-архитектура, датчик зрелости, LoRaWAN, неразрушающий контроль прочности, бетон

**ТЕМІР-БЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ БЕРІКТІГІН СЫМСЫЗ БАҚЫЛАУ ДАТЧИГІНІҢ ІТ-АРХИТЕКТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ**

**Аңдатпа:** Бәсекелестіктің өсуі, сондай-ақ саладағы әлемдік экономиканың тұрақсыздығы құрылыс компанияларын тұтынушылар үшін шаршы метрге ең тартымды бағаны қамтамасыз ете отырып, ғимараттар мен құрылыстарды салу кезінде шығындарды азайтуға мәжбүр етеді. Шығындарды азайту үшін құрылыс компаниялары өз тәжірибесінде заманауи сандық технологияларды қолданады. Бүгінгі таңда әлемдік тәжірибеде ең тиімді және жиі қолданылатын шешім бұл жетілу сенсорларын қолдану, олардың көмегімен темір-бетон конструкцияларын құю және сусыздандыру процесін оңтайландыруға болады. Бетонның беріктік сәтін дәл және уақтылы анықтауға байланысты құрылыс мерзімі қысқарады, еңбек шығындары азаяды және сәйкесінше қаражат үнемделеді. Бұл мақала жетілу сенсорларының жетілдірілген ИТ-архитектурасын дамытуға арналған. Дамудың бастапқы

бастапқы кезеңінде әлеуетті пайдаланушыларға сауалнама жүргізілді, нәтижесінде сенсорға негізгі техникалық талаптар жасалды. Әзірлеу барысында "Звезда" топологиясы бойынша МҚК мен БДМ арасында деректермен алмасу схемасы ұсынылды, ал LoRaWAN хаттамасымен LPWAN энергия тиімді желісі жүйенің талаптарын орындайтын сымсыз байланыс интерфейсі ретінде таңдалды. Бұл жетілу сенсорларының шетелдік аналогтарының негізгі мәселесін шешуге мүмкіндік берді – көптеген сенсорлармен деректерді бір уақытта синхрондау. Сондай-ақ LoRaWAN шетелдік аналогтарда қолданылатын Bluetooth-қа қарағанда үлкен ауқымға ие. IT-архитектурасын әзірлеу нәтижесінде әлеуетті пайдаланушылармен сауалнама жүргізу кезінде жасалған барлық негізгі техникалық талаптар іске асырылды. Әзірленген IT-архитектурада көптеген датчиктерден ақпарат алмасу және жинақтау көзделгендіктен, болашақтағы перспективада үлкен деректерді (Big data) құру мүмкіндігіне жол ашылады.

**Түйін сөздер:** IT-архитектурасы, жетілу сенсоры, LoRaWAN, бұзылмайтын беріктікті бақылау, бетон

## DEVELOPMENT OF AN IT ARCHITECTURE FOR A WIRELESS SENSOR FOR MONITORING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**Abstract:** Increased competition, as well as the instability of the global economy in the industry, is forcing construction companies to reduce costs when erecting buildings and structures, ensuring the most attractive price per square metre for consumers. To reduce costs, construction companies are using modern digital technologies in their practices. To date, the most effective and frequently used solution in global practice is the use of maturity sensors which can optimise the pouring and stripping process of reinforced concrete structures. By detecting the moment of concrete strength accurately and in good time, the construction period is reduced, labour costs are reduced and costs are saved accordingly. This paper focuses on the development of an improved IT architecture for maturity sensors. During the initial phase of development, a survey of potential users was carried out, resulting in the basic technical requirements for the sensor. In the course of development, a data exchange scheme was proposed between SSDs and PMs using Star topology, and an energy-efficient LPWAN with LoRaWAN protocol was selected as the wireless communication interface for the system fulfilling the requirements. This solved the main problem of foreign maturity sensor counterparts - simultaneous synchronisation of data from a large number of sensors. LoRaWAN also has a longer range than Bluetooth, which is used in foreign counterparts. As a result of the development of the IT-architecture, all the basic technical requirements drawn up during the survey of potential users were implemented. Since the developed IT architecture provides for the exchange and accumulation of information from multiple sensors, it is possible to create Big Data in the future.

**Key words:** IT architecture, maturity sensor, LoRaWAN, non-destructive strength testing, concrete

### Введение

В условиях нестабильности мировой экономики, усиления конкуренции и борьбы за потребителя строительные компании прибегают к последним достижениям современных цифровых технологий, обеспечивающих сокращение сроков строительства и снижения затрат. За счет снижения себестоимости строительства строительные компании могут предлагать более конкурентную цену за ква-

дратный метр и получать при этом большую прибыль [1]. Под себестоимостью строительных работ подразумеваются все затраты строительной организации на их производство и сдачу заказчику. Оптимальным решением является экономия за счет снижения косвенных расходов, представляющих из себя затраты на эксплуатацию и сервисное об-

служивание оборудования, электроэнергию и топливо, общепроизводственные расходы [2].

Наиболее эффективным решением для снижения накладных расходов является оптимизация цикла заливки железобетонных конструкций (далее – ЖБК) и снижение соответствующих трудозатрат [3-5]. Знание и понимание процессов, происходящих в теле бетона, позволяют добиться наивысшего качества и долговечности конструкции. При этом за счет своевременного обнаружения момента зрелости бетона и принятия дальнейшего решения о снятии опалубки и нагружении конструкции можно добиться сокращения накладных расходов: аренды техники, оборудования и площадей, затраты на сверхурочную работу работников, затраты на логистику и т.д. Помимо снижения накладных расходов таким образом сокращаются сроки строительства, что также положительно влияет на конечную стоимость объекта.

В мировой практике широкое применение в области контроля прочности бетона нашли так называемые «датчики зрелости» [6]. Неоспоримым преимуществом применения датчиков зрелости является автоматизация процесса определения прочности, при котором датчики закладываются в тело бетона и самостоятельно по заданному алгоритму производят замеры, и обеспечиваемая экономия времени и средств за счет своевременного обнаружения момента зрелости конструкции и оперативного принятия решения о ее дальнейшей нагрузке [7]. Однако, несмотря на все преимущества и потенциальные выгоды от использования датчиков, их применение в нашей стране ограничено ввиду относительной по сравнению с традиционными методами дороговизны и присутствия определенных проблем в IT-архитектуре, главным недостатком которой является невозможность синхронного контроля прочности бетона из-за ограничений Bluetooth. В результате этого работнику, производящему сбор данных, необходимо последовательно подключаться к каждому датчику по отдельности, что может быть крайне затруднительным при их большом количестве.

К сожалению, концепция применения датчиков зрелости в бетоне также малоизучена в нашей стране. Однако, работы в данном направлении все же ведутся. Так, например, авторами данной статьи был разработан прототип датчика для мониторинга ЖБК, описанный в статье [8], по которому получен патент [9]. Помимо разработки прототипа были подробно изучены схемы оптимального расположения датчиков в бетонных конструкциях. Так, было выявлено, что место размещения датчиков напрямую влияет на их количество, необходимое для конкретного монолитного каркаса здания [10]. Ввиду несовершенства IT-архитектуры существующих беспроводных датчиков зрелости, актуальной является разработка иной IT-архитектуры для датчиков, которая решала бы проблемы имеющихся на рынке датчиков зрелости.

Целью данной статьи является разработка усовершенствованной IT-архитектуры беспроводного датчика мониторинга железобетонных конструкций (далее – БДМ ЖБК).

Для достижения цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

- 1) сбор пользовательских историй;
- 2) составление технических требований БДМ ЖБК;
- 3) разработка IT-архитектуры БДМ ЖБК.

#### **Сбор пользовательских историй**

Для того, чтобы БДМ ЖБК, в частности разрабатываемая IT-архитектура, в конечном счете были эффективными, перед самой разработкой необходимо услышать мнение и видение потенциальных пользователей, из которых необходимо сформировать технические требования. Данный процесс принято называть сбором пользовательских историй и требований [11].

Сбор пользовательских историй и требований в виде интервью проводился в рабочее время прямо на строительной линии объекта, чтобы опрашиваемые могли наглядно показать, как они видят крепление устройств в теле бетона, желаемое расстояние между датчиками, способ размещения и количество дат-

чиков на вертикальную и горизонтальную конструкцию, показать скорость и силу потока бетонной смеси при заливке в форму будущей конструкции, показать расстояние от куда и кто должен получать сигнал от датчиков, показать высотность возводимого объекта и прочие факторы, которые можно увидеть и наглядно показать на строительном участке, а не в офисном помещении.

В процессе интервью была получена обратная связь от членов команды проектов на предмет внедрения БДМ ЖБК, по которым можно сделать следующие выводы:

- 1) датчик должен выдавать полную картину о том, что происходит в теле ЖБК;
- 2) датчик должен быть встраиваемым;
- 3) датчик должен быть беспроводным, т.е. иметь в корпусе батарею;
- 4) для получения степени затвердевания датчику понадобятся данные о температуре и влажности в теле бетонных и железобетонных конструкций;
- 5) пользователь должен получить данные о состоянии прочности бетона в необходимый для него момент времени, используя мобильное устройство или персональный компьютер;
- 6) датчик должен иметь функцию физической активации;
- 7) датчик должен иметь световой индикатор активации;
- 8) датчику необходимы идентификаторы для удобства отображения на карте объекта.

Также, был проведён онлайн опрос и сбор отзывов на предмет применения БДМ ЖБК командами проектов по строительству жилых комплексов в г. Нур-Султан различных классов жилья, таких как «комфорт» (ЖК «Capital Park»), «бизнес» (ЖК «Токуо», «НАК») и «премиум» (ЖК «Ray Residence»). Абсолютно все опрошиваемые были за сокращение сроков возведения монолитного каркаса и все за идею мониторинга состояния бетона изнутри.

### **Технические требования**

Принимая во внимание пожелания и требования членов строительных команд проек-

тов после проведения интервью составлен список требований:

1. БДМ ЖБК должен: производить измерения температуры и влажности бетона с погрешностью не более 1%; дистанционно передавать данные об измерениях на Станцию сбора данных (ССД), которая в свою очередь передает их на сервер для дальнейшей обработки и визуализации через интерфейс мобильного устройства и (или) персонального компьютера; иметь гарантированную работоспособность в течение 1 месяца; должен состоять из: корпуса, кабеля датчика температуры, температурного датчика, датчика влажности, контроллера, модуля памяти, модуля беспроводной сети, модуля часов, источника питания, QR-кода, переключателя.

2. Кабель датчика температуры должен: соединяться с одной стороны – с контроллером, расположенным в корпусе БДМ, с другой – с датчиком температуры; быть стойким к воздействию агрессивной щелочной и кислотной сред; быть стойким к механическим воздействиям: удары, вибрация, давление (0,2 МПа); сохранять работоспособность при температурном диапазоне от -50 до +100°C; обеспечивать передачу данных от датчика температуры на контроллер.

4. Температурный датчик должен: производить замеры температуры в теле бетона в диапазоне от -50 до +100°C с заданной периодичностью; передавать данные об измерениях на контроллер посредством кабеля; быть стойким к воздействию агрессивной щелочной и химической сред; быть стойким к механическим воздействиям: удары, вибрация, давление (0,2 МПа); сохранять работоспособность при температурном диапазоне от -50 до +100°C.

5. Датчик влажности должен: помещаться внутри или снаружи корпуса БДМ и быть подключен к контроллеру; производить замеры влажности в теле бетона; передавать данные об измерениях на контроллер; быть стойким к воздействию агрессивной щелочной и химической сред; сохранять работоспособность при температурном диапазоне от -50 до

+100°C; не допускать проникновение пыли и влаги через себя.

6. Контроллер должен: иметь оптимальные размеры для размещения его внутри корпуса БДМ; быть защищен от механических воздействий, а также воздействий влаги и температуры; вмещать на себе все модули; иметь LED индикатор.

7. Модуль памяти должен: помещаться внутри корпуса БДМ и быть подключен к контроллеру; хранить информацию об измерениях температуры и влажности; иметь объем памяти, достаточный для хранения информации об измерениях на протяжении 1 месяца.

8. Модуль беспроводной сети должен: помещаться внутри корпуса БДМ и быть подключен к контроллеру; осуществлять синхронизацию данных с БДМ в ССД без потери и модификации данных.

9. Источник питания должен: помещаться внутри корпуса БДМ и быть подключен к контроллеру; обеспечивать работоспособность БДМ гарантированно на протяжении 1 месяца после активации БДМ.

10. Переключатель должен: иметь удобный механизм замыкания сети при вынимании диэлектрической пленки, которая должна быть клеящаяся на печатную бумагу; быть подключен к контроллеру.

11. Станция сбора данных (далее – ССД) должна: быть мобильной, для возможности переноса с объекта на объект; иметь поддержку беспроводного интерфейса для получения данных с БДМ ЖБК; отправлять полученные значения в облачное хранилище; иметь возможность питания от сети и от встроенной батареи; иметь возможность мгновенного переключения при отключении питания; иметь возможность уведомления на web-интерфейс персонального компьютера и в приложение сообщение об отключении внешнего питания; иметь внутреннюю память на хранение значений минимум 100 датчиков на протяжении последних 24 часов; иметь Wi-Fi модуль для связи с интернетом; сохранять работоспособность при температурном диапазоне от -50 до +50°C с возможностью подогрева корпуса изнутри; иметь пластиковый, ради-

опрозрачный, герметичный корпус; иметь внешнюю антенну.

12. Программное обеспечение (далее – ПО для БДМ ЖБК) должно: располагаться на сервере; устанавливаться и использоваться на платформах iOS и Android; использоваться на нескольких устройствах одновременно; иметь понятный и интуитивный интерфейс для пользователя; иметь возможность использования ПО для БДМ ЖБК на персональных компьютерах и иметь поддержку браузеров Chrome, Internet Explorer, Mozilla Firefox; получать данные с БДМ ЖБК и преобразовывать их в значения прочности железобетонных конструкций; хранить данные в течение минимум 2 лет; визуализировать графики всех значений; выгружать отчеты в форматах .pdf и .csv; иметь нумерацию от поступающих датчиков и иметь возможность переименования их под удобный учёт пользователем; иметь возможность сканирования индивидуальных QR-кодов БДМ ЖБК; иметь различные роли в системе администратор/пользователь для разграничения прав пользователей.

### Диаграмма компонентов UML

Исходя из требований на создание БДМ ЖБК, представляется принципиальная архитектура системы, представленная на рисунке 1. Передача данных с БДМ ЖБК требуется в небольшом количестве, однако БДМ должен быть компактным и иметь в корпусе своё автономное питание на продолжительный период времени. В качестве интерфейса беспроводной связи, выполняющей требования системы, была выбрана энергоэффективная сеть LPWAN с протоколом LoRaWAN. Для сбора данных с БДМ по выбранному протоколу будет использоваться Станция сбора данных (ССД), также именуемая в топологии сети как «шлюз». ССД будет обладать беспроводными интерфейсами приём-передачи LPWAN и Wi-Fi. Рядом с ССД будет находиться Wi-Fi точка доступа, обладающая интерфейсами 3G/4G для выхода в интернет. Узлом соединения, хранения данных, обработки запросов и отправки результатов будет виртуальный сервер на собственных

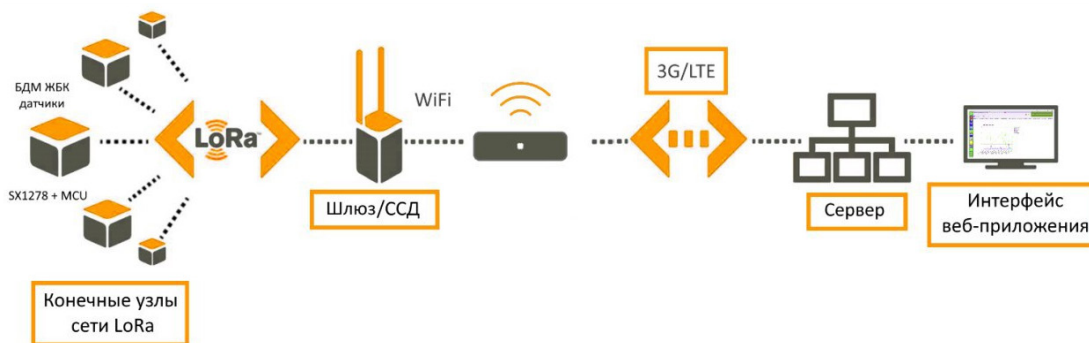


Рис. 1 – Принципиальная архитектура БДМ ЖБК

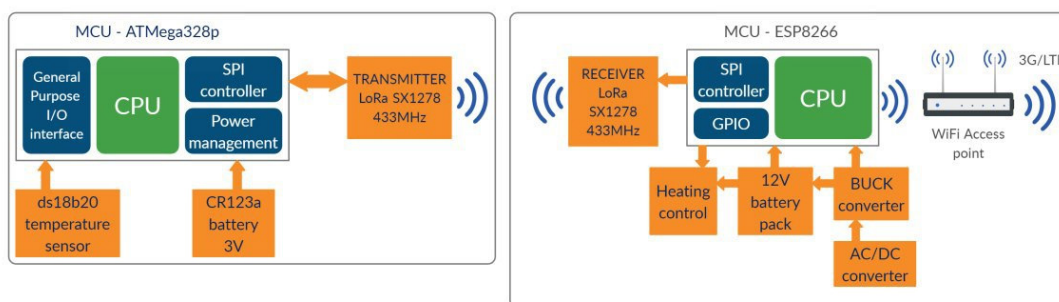


Рис. 2 – Архитектура компонентов узлов и шлюза БДМ ЖБК

или арендуемых мощностях, на которых будет располагаться веб-интерфейс для доступа с персонального компьютера и виртуальные порты и выходы для получения и передачи данных с мобильного приложения.

На рисунке 2 отображено подключение одного из узлов БДМ ЖБК к ССД, т.е. к шлюзу сети по протоколу LoRaWAN. Каждый БДМ ЖБК будет работать следующим образом: микроконтроллер ATmega328p с автономным питанием от 3В батарейки типа CR123A получает данные от внешних датчиков температуры и влажности, которые передаёт по интерфейсу SPI на передатчик Semtech SX1278. Далее данные модулируются и транслируются в эфир в диапазоне 433MHz с мощностью в 18dBm (63mW) по протоколу LoRaWAN. ССД (шлюз) принимает полученные данные, демодулирует их по SPI интерфейсу, передаёт на микроконтроллер ESP8266, который имеет модуль беспроводной связи Wi-Fi. ССД отправляет полученные данные от всех БДМ ЖБК в облако посредством точки доступа. Связующим звеном между облаком и шлюзом будет точка доступа. Шлюз будет иметь

возможность подогревать себя во время работы в температурах ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . Шлюз будет постоянно питаться от сети 230В и иметь возможность мгновенно переключаться на внутренний аккумулятор 12В при отключении сети 230В.

Было решено использовать обмен данными между ССД и БДМ по топологии «Звезда», то есть в сети имеется одна ССД и множество БДМ ЖБК и все они обращаются к ССД напрямую. Таким образом будет решена проблема существующих на рынке датчиков зрелости, где ввиду ограничений Bluetooth осуществление одновременной синхронизации все датчиков со смартфоном или компьютером было невозможным. Коэффициент распространения и пропускная способность протокола LoRaWAN будут сконфигурированы до начала сеанса связи. В части веб-интерфейса используется телеметрический транспорт запросов сообщений (MQTT). MQTT является известным протоколом связи «машина-машина» (M2M) во многих созданных устройствах Интернета Вещей (IoT). MQTT

является внутренним протоколом связи TCP/IP с низким уровнем передачи данных.

ESP8266 в шлюзе LoRaWAN будет публиковать данные, полученные от БДМ ЖБК, а установленное в облаке ПО Node-RED будет использоваться для отображения принимаемых пакетов от БДМ ЖБК при подписке на тот же MQTT хаб.

### Выводы

Разработанная IT-архитектура БДМ ЖБК представляет собой иной подход к передаче и хранению данных. В ней используется энергоэффективная сеть LPWAN с протоколом LoRaWAN, которая при практически идентичном энергопотреблении имеет больший радиус действия, чем Bluetooth, что является необходимым при применении датчиков на крупных строительных объектах. Предложенная в рамках IT-архитектуры Система сбора данных позволит производить одновременную синхронизацию множества датчиков зрелости, что значительно снизит трудоемкость процесса сбора данных. Также отличительной особенностью архитектуры

IT-архитектуры является непрерывный сбор данных о состоянии железобетонных конструкций, вплоть до разрядки аккумулятора, даже после окончания монолитных работ. Данная особенность способствует накоплению больших данных (Big Data) на сервере, представляющих из себя огромное количество различной количественной и качественной информации о скорости набора прочности железобетонных конструкций, составе бетонной смеси, условий окружающей среды и других параметрах. В дальнейшей перспективе на основе больших данных можно составлять аналитические отчеты о качестве инертных материалов бетона местных и зарубежных производителей, отчеты по надежности монолитного каркаса строительных объектов в регионах, давать рекомендации строительным компаниям по улучшению качества монолитных работ и многое другое. Также эти данные могут быть применены в информационном моделировании зданий (BIM) для формирования более точных и полных отчетов о состоянии монолитного каркаса зданий и сооружений.

### Финансирование

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP08052033).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Dixit S. et al. Evolution of studies in construction productivity: A systematic literature review (2006--2017) // *Ain Shams Eng. J. Elsevier*, 2019. Vol. 10, № 3. – P. 555-564.
2. Habibi M., Kermanshachi S., Safapour E. Engineering, procurement and construction cost and schedule performance leading indicators: state-of-the-art review // *Proceedings of Construction Research Congress*. 2018. – P. 2-4.
3. Duah D., Syal M.G.M. Direct and indirect costs of change orders // *Pract. Period. Struct. Des. Constr. American Society of Civil Engineers*, 2017. Vol. 22, № 4. – P. 4017025.
4. Domingues S., Almeidaand N., Sousa V. Gross margin risk assessment in construction projects: the influence of indirect costs deviations // *welcome to Deleg. IRC 2017*. 2017. – P. 731.
5. Chassiakos A.P., Sakellaropoulos S.P. Time-cost optimization of construction projects with generalized activity constraints // *J. Constr. Eng. Manag. American Society of Civil Engineers*, 2005. Vol. 131, № 10. – P. 1115-1124.
6. Hyari K., El-Mashaleh M., Kandil A. Optimal assignment of multiskilled labor in building construction projects // *Int. J. Constr. Educ. Res. Taylor & Francis*, 2010. Vol. 6, № 1. – P. 70-80.
7. Tsapko K.A., Alyaeva M.Y. Optimization of Construction Operations at Reduced Resource Intensity and Labor Costs // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. – P. 1271-1275.

8. Kasal P., Lorenc V., Wenighofer W. The Use of Maturity Method for Estimating In Situ Compressive Strength of Concrete // *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 309. – P. 103-107.
9. Badawi Y. et al. Use of maturity sensors to predict concrete compressive strength in different curing and compaction regimes // *Conference Proceedings Civil Engineering 2018*. 2018.
10. Utepov Y. et al. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures // *Comput. Concr. Techno-Press*, 2019. Vol. 24, № 2. – P. 95-102.
11. Khudaibergenov O. et al. Wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures: pat. 3575 USA. Kazakhstan, 2019.
12. Utepov Y.B. et al. Maturity sensors placement based on the temperature transitional boundaries. // *Mag. Civ. Eng.* 2019. Vol. 90, № 6. – P. 93-103.
13. Lucassen G. et al. Improving agile requirements: the quality user story framework and tool // *Requir. Eng. Springer*, 2016. Vol. 21, № 3. P. 383-403.
14. de Carvalho Silva J. et al. LoRaWAN – A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities // *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*. 2017. – P. 1-6.
15. Morin E. et al. Comparison of the device lifetime in wireless networks for the internet of things // *IEEE Access. IEEE*, 2017. Vol. 5. – P. 7097-7114.



### ӘДІЛ АХМЕТОВ: ұстаз, ғалым және кемел саясаткер

Әр адамның тарихы да, табиғаты да тылсым құбылыс. Жер бетіндегі 7-8 миллиард адамдардан бір-біріне жүз пайыз ұқсайтын, бірінің тағдырын бірі қайталайтын адамдарды кездестіру мүмкін емес екен. Тіпті оны айтасыз, бір ағашта өсіп тұрған сансыз жапырақтар да дәл солай, бір-біріне 100 пайыз ұқсамайтын көрінеді. Бұл – Шебер Жаратушының құдіреті екені анық. Ал енді сол 7-8 миллиард адамның баласы бірде өсіп, бірде кеміп тоқтаусыз қозғалыста, тоқтаусыз әрекетте. Өмірден өткендердің орнын, өмірге келгендер басып, Абай айтқандай: «алдыңғы толқын ағалар, кейінгі толқын інілер кезекпенен өлінер, баяғыдай көрінер...» дегендей, адам баласы тіршілікті баяғыдан осындай деп қабылдайды, өзі де, өзінің алдындағылар да жарық дүниеге уақытша келіп, өз миссиясын өтеп кететіндеріне кейде ой жіберіп, кейде аз ойланып «өмір» атты кемеңнің үстіне бір шығып, бір түсіп, кетіп жатады...

Бірақ сол миллиардтаған адамдарды бір-біріне жақындастыратын, ұқсас ететін бір заңдылық бар. Ол – адамдардың туған жері. Мысалы, өзіміздің Қазақстанды алайық. Батыстағы ағайындарда Махамбеттің өрлігі мен ерлігі, мінездегі ірілігі байқалады. Шығыстағы ағайында Абай мен Шәкәрімнің даналығы, ойлылық пен сабырлық қасиеттері кездесе, Солтүстіктегі ағайындарда Мәшһүр мен Қаныштың тереңдігі, ғылым-білімге бейімділігі, Оңтүстіктегі ағайында Төле би бабамыздың кемеңгерлігі мен Мұқағалидың

жібектей жұмсақ жыр табиғаты, өз табиғаты кездеседі. (Әрине, бұл да 100 пайыз емес).

Бір қызығы тіршілікте, адамның өзінің меншікті үйі, жары, бала-шағасы, т.б. меншігі болады. Бірақ туыс-жақынынан басқа бір бөтен адамды, мысалы ақынды, жазушыны, суретшіні меншіктей алмайды. Мысалы мен тірі жазушы, мен ол кісінің шығармашылығын өте жоғары бағаласам да, мысалы, Мағауинді «Менің Мұхтар Мағауинім» деп айта алмайтын сияқтымын. Себебі жұрт түсінбеуі мүмкін. (Мағауин де шошып кететін шығар). Ал енді Абайды, Мағжанды, Әуезовті, Мұқағали мен Шыңғыс Айтматовты миллион рет «Менің Абайым», «Менің Мағжаным», «Менің Мұқағалиым» деуге болады. Себебі олар менің рухани бабама, әкеме, досыма, (кейде махаббатыма) айналып кеткендер. Тіпті менің өлеңімнің ішінде де олар бар. Бір қызығы басқа бір достарың саған хабарласпай, біраз келмей кеткенде, Рух достарың сенімен мәңгілік бірге, тастап та кетпейді, сатып та кетпейді, бір сөзбен айтқанда, санандағы, жүректегі өз орын алған жерден ешқайда кетпейді. Олар жоғарыда айтқандай, менің кей-кейде жазатын өлеңімнің ішіне де емін-еркін кіріп, шығып жүре береді. Мысалы, мына өлеңнің ішінде:

*«... Жанымнан адаспайын деп,  
Үкілеп сезімді байладым.  
Жанымнан адаспайын деп,  
Абай, Мағжан, Мұқағалиымнан  
көз жазбадым...»*

Міне, олар менің жанымның бір бөлшегі сияқты...

Бұл эсседегі менің кейіпкерім ол кісінің тазалығына, табиғатына, кісілігі мен кішілігіне, өте еңбекқорлығына басымды иіп құрметтейтін асыл адам, менің Абайымның бүгінгі таңдағы Толық Адамы – Әділ аға Ахметов.

Ал енді қараңыз, Әділ Құрманжанұлы Ахметов... Бұл кісі ақын емес, жазушы емес. Әділ Ахметов – ірі ғалым, өзіндік ұстанымы, тұрақты тақырыбы бар, түрктанушы ірі ғалым, түрктанушы болғанда да, соның кілтін әр сөзінен іздеген, инемен құдық қазған, тапқан, таныған ғалым. Ал елшіліктегі еңбегі, содан кейін Қазақстан Республикасы Парламентінің Жоғарғы Палатасы Сенаттың депутаты болғанда, атқарған еңбектеріне қарап отырып: «Бар бол, Нар аға! Қазақ Дүниесін қирап кетуден сақтап тұрған дәл сіз сияқты халықтың байырғыдан бергі рухы мен намысын ділінде, жүрегінде сақтаған, пенделіктен биік тұрған, кісіліктің кемеліне жеткен азаматтары болар. Сіз, Әділ аға, сол азаматтардың алдыңғы шебіндесіз!» дегіміз келеді. Дәл солай!

Әділ ағаны ерекше құрметтеуімдегі екінші бір сыр... Ол – Әділ ағаның менің Мұқағалиымның туған ауылында туып, ауасын жұтып, суын ішіп, Хан-Тәңірге, Аспан тауға қарап өскендігі, екеуінің тағдырының ұқсас болуы. Екі ағамның да әкелері (Мұқағалидың әкесі Сүлеймен Мұқағали он жаста болғанда, Әділ ағаның әкесі Құрманжан баласы бірге де толмаған кезде) Ұлы Отан соғысына кетіп оралмағаны, екеуін де әжелері: Тиін (Мұқағалидың әжесі), Сәндібала (Әділ ағаның әжесі), аналары Нағиман (Мұқағалидың анасы), Қаныша (Әділ ағаның анасы) өсіргендігі. Мұқағали ақын 1931 жылы даланы аппақ қар басқанда, ақ қыраудан ағаштар сырға таққанда, ақпанның тоғызында дүниеге келсе, Әділ аға 1941 жылы дүние тегіс құлпырып, күркіреген аспаннан нұр жауған жиырма үшінші мамырда дүниеге келген екен. Менің екі алып ағамды Тағдыр әкесіз қалдырса да, жетім ете алмады, қатарынан қалдырып кем ете

алмады. Себебі олардың ұлы аналары болды, құт-берекесі бар, ынтымағы зор, айрандай ұйыған ұлы елі болды, оларды жақсы жолдан адастырмас елдің әдебі мен әдеті, салты мен дәстүрі болды. Атадан-балаға мирас болған генетикалық коды, тектілік қаны болды. Олай болмаса, қараңыз, екі жетім бала да ауылдағы мектепті өте жақсы бітіреді. Екеуі де өз ана тілінен басқа шет тілдерін білуге құлшынады... Бірі ақындықтың шыңын бағындырса, екіншісі ұстаздықтың, ғалымдықтың шыңын бағындырады. Дәл осы ауылдан шыққан тағы бір танымал тұлға бар. Ол – Бердібек Соқпақбаев. Прозадағы Бердібек Соқпақбаевтың жолы, мойындай білсек, ғаламдағы жалғыз жол.

Осыдан кейін еріксіз бір сыр іздейсіз. Ол – ТУҒАН ЖЕР. Ол – генетикалық код. Ол – Табиғат. Қарап тұрсақ, олардың туған жерге деген махаббаттары да, әке, ана, бауырға деген сағыныштары да, ел алдындағы жауапкершіліктері де ұқсайды.

«Асқар таулармен сырласып, Жасыл орманмен сырласып, Жалаң аяқпен қыр басып... Өнген гүлдерге жан салып, сонау сағымға тамсанып, ойға бататын едің...» («Тағдырластар» Мұқағали) Табиғаттан тазалықты бойларына сіңіріп, сұлулықтың үйлесімінен, үндестігінен сыр ұққан Хан-Тәңірдің перзенттері ешкімге, ешқашан қиянат жасамайды, олар бәрінен кіші, бәріне жанын құрбан етуге дайын. Олар: «Ортадан да, кішіден де кішімін, Ұлымын деп көрсетпеген қысымын. Ел басына екіталай күн туса, екі інімнің найзасының ұшымын» дейді. Мұқағалидың «Ақ қыздар, арым таза алдарында» деген өлеңі Әділ ағаға да тиесілі деп ойлаймын. Студенттік кезден кездесіп, бес жыл бірге оқып, өмірлік жар еткен Дариға Кінәзбек қызына деген сезіміне бүгінгі күнге дейін қылау түсірмеген, екеуінің арасындағы парасат әлемі, отбасылық мәдениеті – Әлемдік үлгі, адамзаттық өнеге. Апыр-ай, деймін де, қайран қаламын. Әділ ағамның ниетіне, тазалығына, Қаныша анасының ақ тілеу сұрауына Дариға апайды Алла сыйға бергендей. Дариға апай адал сүт емген, ана тілдің уызына жарыған, ұлттық тәрбиеден нәр алып

**Енді Әділ Ахметовтің  
«ҒАСЫР ҒИБРАТЫ» кітабы  
туралы біреп сөз**

өскен салтанаты бар, сымбаты бар, саналы жан, жүздің, мыңның пешенесіне бұйыра бермейтін қазақтың ару қызы. Әділ ағаның өзіне ғана емес, күллі әулетке Албан еліне, ең бастысы енесіне жаққан КЕЛПН. Ене мен келін арасындағы институт моделін Қаныша ене мен Дариға апайдың қарым-қатынасынан жасауға болады. Аmandық болса, ол кейінгі күндердің әңгімесі...

Бүгінгі күні Әділ Құрманжанұлы да Дариға Кінәзбекқызы да сексен деген асудың беліне шықты. Өмір белестерінде қаншама соқпақтар, асулар, шытырмандар, өрлеулер болды десеңізші! Екеуі сол баяғы қол ұстасқан қалыптарында, ұрпақтарының құрметі мен мақтанышы болып, тоқсанның тынымсыз тірлігіне бал арасы сияқты араласамыз деп, өздері ана тілдеріндей меңгеріп алған ағылшын тілі арқылы Әлем өркениетінің гүлдерінен Қазақ Елі үшін нәр жинап, қазақ тілінің сырлы, сұлу құдіреті арқылы қазақ жұртына, болашақ ұрпаққа жеткіземіз деп, азаматтық жолдарын өзгертпей кетіп бара жатыр.

Осы эссені жазу барысында сан қилы сезімге берілдім. Қандай ғажап ғұмыр, қандай еңбек жолы, қарапайым қазақ ауылынан шығып, Американың Аризона штатының құрметті азаматы болу, Ұлыбритания және Солтүстік Ирландия Құрама Корольдігіндегі Төтенше және Өкілетті Елшісі болу, сонымен қатар Ирландия Республикасындағы Норвегия және Швеция Корольдіктеріндегі қызметтері, Қазақстан Республикасы Парламентінің Жоғарғы Палатасы Сенаттың депутаты бола жүріп, мұсылман елдерінің мүддесін қорғаған парасатты саясаткер болуы, сондай-ақ сан алуан саяси қызметтерді атқара жүріп, ғылымын бір сәт те қалдырмаған, үлкен-үлкен, том-том ғылыми еңбектер жазған ғалым Әділ Ахметов туралы қазір эссе жазғаныммен, болашақта үлкен кітап жазылу керектігін түсіндім.

Әділ аға менің сүйікті де ұлағатты ұстазым! Ұстаздың өнеге жолы мәңгілік болатынына сенімдіміз, өйткені Ұстаз – Бәйтеректің тамыры қаншалықты тереңге кетсе, жапырақ шәкірттері де әлемнің жан-жағына тарап кетті.

Әділ Ахметов осы кітабында Әлем ғибратын таразыға салып өлшеп, қажетті байлығын таразының оң жағына, қажетсізін (зарарын) сол жағына салып отырған ұлы ойшыл безбеншіні көз алдымызға әкелгендей. Ғалымның бұл кітабын әрқайсымызға Жер Ананы, оның бар тіршілігін, тіршіліктің иесі адамды, оның санасын сақтаудың ем-дәрумені қызметін атқаратын «Ғасыр кітабы» десек қателеспейміз.

Кітаптың беташары Батыстың шығысты мойындауы, Ли Куан Ю туралы ағылшын тілінде шыққан кітап жайында. Екінші «Ізгілік иірімі» тақырыбындағы мақаласында Том Батлер-Боудонның «Ғұмырыңызды өзгертуге серпінді шабыт сыйлайтын классикалық 50 кітап» атты кітабын терең талдайды. «Нарық пен мораль» америкалық саясаткер Майкл Дж.Санделдің «Ақша не сатып ала алмайды?», «Сына қағылған сызат» Нобель сыйлығының лауреаты американдық экономист Джозеф Стиглицтің «Алапат сызат» атты сараптамалық туындысы туралы, «Америкада өткен Президент сайлауы» мақаласындағы автордың өз тұжырымы, жалпы 43 мақаладан тұратын бұл кітап ең аз дегенде, алдымыздағы елу жылға қазақ қоғамына азық болар, санасын өзгертуге септігін тигізетін оқу құралы деуге болады.

Кітапта қаншама ойлар қамтылған. Ғаламдық тәжірибеде жол да бар, қателесу де, артық кетіп, артық сөйлеу де бар, саяси қателіктр де бар, бәрі бар. Автор жас тәуелсіз қазақ елі үшін пайдасы болған соң жазып отыр, басқа ел жіберген қателікке соқпай, айналып өтер жол іздесін деп, біреудің кемшілігін көріп, өзі бойын түзесін деп, мықты ел болуға талпынсын, қазақ халқының да, жастардың да әлеуеті мықты екендігін де айта отырып, даналық жол нұсқайды. Оның ар жағында «жақсыдан үйрен, жаманнан жирен» деген ой жатқан сияқты.

**«Ғасыр ғибраты»** кітабындағы кейбір тұжырымды ойлардан, қалың қазақ оқырманы үшін үзінділер келтіруді жөн көрдік.

• **Ли Куан Ю:** «Мемлекеттің ұлылығы тек жер көлемімен ғана өлшенбейді. Ұлылықты жұдырықтай жұмылған халықтың жігері мен бірлігі, табандылығы мен тәртібі және сол мемлекетті тарихтың құтты мекеніне айналдыруға ұмтылған ұлтжанды көшбасшылары мен көсемдерінің сапасы ғана сомдайды».

• **Лао-цзы:** «Кемеңгер абыздар көптің ішінен ерекшеленіп тұрады, себебі олар өздерін бүтіннің бөлшегі деп есептейді. Олар көптің көзіне түсуге тырыспайды, сондықтан да олардың өңінен үнемі нұр төгіліп тұрады. Олар ұлы нысандарға қол жеткізеді. Себебі олар атақ-даңқ іздемейді. Бұл қасиет олардың тұла бойында тұнып тұрады».

• **Стивен Кови:** «Ой егіңіз. Ой ексеңіз, ізгілік әрекет орасыз. Ізгілік әрекет егіңіз. Ізгілік әрекет ексеңіз, әдет орасыз. Әдет егіңіз. Әдет ексеңіз, мінез орасыз. Мінез егіңіз, мінез ексеңіз, тағдыр орасыз».

• **Стивен Кови:** «Ең алдымен терең ойланып, өзіңізге ең маңызды басымдық не, соны айқындап алып, тек содан соң ғана таңдау жасаңыз».

• **Әділ Ахметов:** «Ар-намыссыз азамат өзгелердің көсегесі түгіл, өзінің көсегесін де көгерте алмайды».

• **Альберт Гор:** «Қолайсыз шындық». ... Себебі, фильм адамзат өркениетіне төніп тұрған ең басты қатердің қозғаушы күші де, негізгі себебі де адамзаттың өзі екендігіне көрерменнің көзін анық жеткізген-ді».

• **Альберт Гор:** «Адамзат өркениеті бүгін жол айырығында тұр. Екіге айырылған жолдың екеуінің де қайда апаратыны белгісіз. Бірақ олардың бірінің күллі адамзат тіршілігі тәуелді болып отырған климат тепендігінің бұзылуына, табиғи ресурстардың сарқылуына, теңдесі жоқ адамзат құндылықтарының кері кетуіне, немесе өз өркениетіміздің мүлде күйреп қалуына апаратыны – күмән тудырмайды. Ал екінші жол – болашаққа бастайды».

• **Әділ Ахметов:** «Орта Азияның тарихи мәдени мозаикасында азиялық та, еуропалық та сипат бар, сонымен қатар сол сипаттың өзегіне өркениетаралық, этносаралық, дін-аралық үнқатысу және мәдени-әлеуметтік сыйластық пен ынтымақтастықтың мызғымас үлгісі де қоса өрілген».

• **Әділ Ахметов:** «...Гуманистік шығармалары бүкіл әлемге танылған Шыңғыс

Айтматовтай ұлы дарын иесі атақ абыройын салып жүріп, өзі әрқашан пір тұтқан Мұхтар Әуезовтей ұлы ұстазының алдындағы парызын адалдықпен орындады. Сөйтіп 45 жыл бойы қатаң тыйым салынып келген, еркіндік идеясына толы шығарманың орысша нұсқасы адамзаттың Айтматовы атанған шоң Шықаңның кіріспе сөзімен алғаш рет 1972 жылы «Новый мир» журналының алтыншы санына «Лихая година» деген атпен басылып шықты».

• **Әділ Ахметов:** «...Шыңғыс аға, Манас пен Мұхтарды сіз қалай пір тұтсаңыз, зиялы қазақ қауымы да сізді пір тұтады, әрі мәңгі ұлықтап өтеді».

• **Әділ Ахметов:** «... Желтоқсан оқиғасы халқымыздың сағын сындыра алмады, керісінше, егемендікке деген ел құлшынысын бұрынғыдан бетер нығайта түсті және бұл қанды оқиға сонымен қатар алып Кеңес Одағының қабырғасын қақыратып, іргетасын шытынатып кетті».

• **Әділ Ахметов:** «Американдық конгресмендер мен өкімет мүшелерінің алдында үшінші болып сөз алған қазақстандық жеке өкіл ретінде мен де, ең әуелі, ЕҚЫҰ және АҚШ үкіметі келісе отырып қабылдаған бағдарламаға сәйкес, АҚШ-тағы мұсылман ұйымдары өкілдерімен көзбе-көз және алдын ала өткізген кездесулерім барысында бүгешігесіне дейін айқындалған мұсылмандарды кемсіту, ия болмаса шеттету әрекеттерінің, әсіресе 2001 жылғы 11 қыркүйекте Нью-Йорктегі Бүкіләлемдік сауда үйін мұсылман террористері жарды деген қауесет тараған сәттен бастап, мүлде ушығып кеткеніне, атап айтқанда, мұсылман мешіттерін өртеп кету, мектептерін қирату, Құранды жағу, мұсылмандарды өлтіріп немесе өлімші етіп сабап кету, сондай-ақ қатардағы мұсылмандардың зекет беруіне қатаң тыйым салу, сол сияқты пәтер алу, жұмысқа тұру, білім алу, емделу, балаларын балабақшаға немесе мектепке орналастыру секілді әлеуметтік мүмкіндіктерден ажырап қалғанына комиссия мүшелерінің назарын аудардым. Сосын АҚШ өкіметі мен Хельсинки комиссиясына жеткізуімді өтінген мұсылман ұйымдарының ең негізгі аманаты да осы болғандықтан, баяндамам аяқталған кезде қағазға түсірілген әлгі аманатты комиссияның тең төрағаларына бірден тапсырдым».

• **Әділ Ахметов:** «Дәл осы айтылғанның дәлеліндей, сенатор Дж. Вайновичтің «Қазақстан өнегесі басқа мемлекеттер үшін үлгі бола алады» деген пікірімен келісе отырып, Хельсинки комиссиясы басшыларының бірі сенатор Б.Карден «Қазақстан басшылығының дана саясатын толеранттықтың белгісі» деп атап өтті. Сосын аталмыш тыңдауға қатысты толыққанды ақпарат Хельсинки комиссиясының ресми сайты арқылы күллі әлемге тарап кетті». («Хельсинки комиссиясымен бетпе бет»).

• **Әділ Ахметов:** «Франк Альбо Қарағанды облысы аумағындағы көне дәуірде тұрғызылған пирамида қирандысының апайқын бейнесі мен Қостанай облысы аумағындағы жер бетіне ойып салынған сирек геоглифтің, нақтырақ айтқанда, қазақстандық азаматтардың өздері де біле бермейтін, ерекше свастиканың түрлі-түсті фотографияларын іздеп тауып, оны да өз туындысының өзегіне әдемі өре білген».

• **Әділ Ахметов:** «...Кітаптың соңғы нүктесін Франк Альбо үлкен сенімділікпен түйіндейді. Ол Қазақстанның байсалды лидер ретінде әлем тұрақтылығы мен өркендеуіне аса қажетті үш бағытты берік ұстанып отырғанын, атап айтқанда, діни экстремизммен күреске, ядролық қаруды таратпауға және күллі әлемде экологиялық тұрақтылықты сақтауға үлкен басымдық беріп отырған жалғыз мемлекет екенін ашып айтады».

**Әділ Ахметов:** «2015 жылы Қазақ ПЕН-клубының бастамасымен «Біз қазақпыз» атты іргелі жобаның аясында Америка Құрама Штаттарында Ұлы Дала елінің классик жазушылары қаламынан туған үздік шығармалар сериясының алғашқы легі жарық көре бастады. Олардың ішінен бірінші болып **Мұқағали Мақатаевтың** жыр жинағы топ бастаса, екінші болып, қазақ балалар әдебиетінің көшбасшысы атанған

**Бердібек Соқпақбаевтың «Менің атым Қожа»** атты әйгілі повесі ағылшын әлеміне жол тартты. Мұхит асқан қос шығарманың екеуін де АҚШ-тың Нью-Йорк қаласындағы «Metropolitan Classics» компаниясы шығарып, тұсауын кесті».

**Әділ Ахметов:** «Президент көтеріп отырған латын әліпбиіне көшу мәселесі елімізді рухани егемендікке апаратын тура жол, өйткені бұл – әлем өркениетінің басым көпшілігінің әліпбиі, одан да нақтырақ айтар болсақ, бұл әліпби озық білім мен ғылымның, заманауи технологиялар мен ақпараттық коммуникация құралдарының, қаржы мен банк жүйелерінің, сауда-саттық пен туризмнің, бүкіләлемдік ғаламтор мен интернеттің әліпбиі, демек, ең басты тиімді құралы».

**Әділ Ахметов:** «Ислам мен мұсылман әлемінің ұстанымы терроризммен де, экстремизммен де, фундаментализммен де үш қайнаса сорпасы қосылмайды. Мұсылмандардың киелі кітабы Құранда жамандықты уағыздайтын сүре немесе аят атымен кездеспейді»

Профессор, тумысынан елмен елді елдестіру миссиясындағы елші, қоғам қайраткері Әділ Құрманжанұлы Ахметов адамзаттық проблемаларға баса назар аудару, әрбір саналы адамның парызы екендігіне осы «Ғасыр ғибраты» атты кітабы арқылы да көзімізді жеткізіп отыр. Ғаламның сақталуы адамзаттың санасына, пейіліне, ізгілік әрекеттеріне тікелей байланысты екенін Әділ Құрманжанұлы осының алдындағы еңбектерінде де тынбай айтып, жазып келеді.

Ендеше, қазақтың Ізгілік арқалаған Абызы – Әділ Ахметовтің «Ғасыр ғибратына» ақ жол болсын дейміз!

**Г. С. Құрманбай – п.з. д., Назарбаев университетінің профессоры**

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 1 Асылханқызы А. докторант, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова
- 2 Абдрахманов Р.Б. к.т.н., и.о.доцента, Международный Казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави
- 3 Абылкасымова А.Б. преподаватель, Казахстанско-Британский технический университет
- 4 Аманов А.А. магистрант, Международный Казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави
- 5 Амирова С.А. магистрант, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 6 Апендина А.К. к.х.н., заведующая кафедрой, Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова
- 7 Асанов Т.Н. магистрант, Caspian University
- 8 Асылханова Д. бакалавр 4-го курса факультета химии и химической технологии, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби
- 9 Аубакирова Г.Ф. докторант кафедры "Энергетика и радиоэлектроника" НАО "Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 10 Ахаева Ж.Б. докторант, Международный университет Астана, Высшая школа информационных технологий и инженерий, Нур-Султан, Казахстан
- 11 Бектемысова Г.У. к.т.н., ассоц. профессор кафедры «Компьютерной инженерии и информационной безопасности», Обработка однородных и неоднородных данных, Международный университет информационных технологий
- 12 Бектурганова Г.К. к.х.н., доцент кафедры нефтегазового дела и отраслевых технологии, Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета
- 13 Билашев Б.А. к.т.н., профессор кафедры нефтегазового дела и отраслевых технологии, Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета
- 14 Бимбетова Г.Ж. к.т.н., ассоц. профессор, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова
- 15 Бузова О.В. старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология» Актюбинского регионального государственного университета им. К. Жубанова

- 16 Гаголина О.С. ст.преп.кафедры "Энергетика и радиоэлектроника" НАО Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 17 Гаголина О.С. ст.преп.кафедры "Энергетика и радиоэлектроника" НАО "Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 18 Герасимова Ю.В. к.т.н., доцент, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 19 Джолдасов С.К. к.т.н доцент, НАО Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати
- 20 Ермаханов М.Н. к.т.н., Заведующий кафедрой «Химия» Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова
- 21 Жанатауов Д.А. магистрант кафедры нефтегазового дела и отраслевых технологий Западно-Казахстанского технологического университета
- 22 Жантасов М.К. к.т.н., ассоц. профессор, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова
- 23 Жаңабай Н.Ж. к.т.н., доцент кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова
- 24 Жукабаева Т.К. Ассоц. профессор, Международный университет Астана, Высшая школа информационных технологий и инженерий, Нур-Султан, Казахстан
- 25 Жунисов Н.М. PhD, Заведующий кафедрой, Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави
- 26 Закирова А.Б. доцент, Международный университет Астана, Высшая школа информационных технологий и инженерий, Нур-Султан, Казахстан
- 27 Ибрагим Н. магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
- 28 Ивахненко А.П. доктор PhD, профессор, Казахстанско-Британский технический университет, IPES, Великобритания
- 29 Ивель В.П. профессор, д.т.н, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 30 Исахов А.А. доктор Ph.D., профессор кафедры математического и компьютерного моделирования, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
- 31 Казанцев И.Г. д.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 32 Казкеев А.Б. магистр технических наук, младший научный сотрудник отдела НИОКР, ТОО «CSI Research & Lab», Государственный университет им. Шакарима города Семей
- 33 Киргизбаева А.А. к.б.н., доцент кафедры «Биохимия» Казахского национального медицинского университета имени С. Асфендиярова
- 34 Кудайбергенова Р.М. PhD докторант, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 35 Кусынбек С.К. магистрант, Казахстанско-Британский технический университет
- 36 Лавров Б.А. Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
- 37 Мансурова М.Е. к.ф.-м.н., зав.каф искусственного интеллекта и Big data, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
- 38 Мархабатов Н. магистрант, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 39 Молдахметов С.С. ст.преп.кафедры "Энергетика и радиоэлектроника" НАО "Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
- 40 Мухаметжанова Б.О. магистр наук, докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева
- 41 Надиров К.С. д.х.н., профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова
- 42 Надиров Р.К. к.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби
- 43 Нажипқызы М. к.х.н., доцент факультета химии и химической технологии, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби
- 44 Нариков К.А. к.т.н., доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан агралық-техникалық университеті
- 45 Нуранбаева Б.М. к.х.н., ассоц.профессор, лидер программ специальности «Нефтегазовое дело» Caspian University
- 46 Нурлыбаева А.Н. PhD, д.х.н., доцент, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 47 Омарова М.Н. магистрант, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 48 Петров П.А. PhD, доцент, Северо-Казахстанский университет им. М.Козыбаева

- 49 Петропавловский И.А. д.т.н., профессор, РХТУ им. Д. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация
- 50 Рустамов Н.Т. д.т.н., профессор, РХТУ им. Д. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация
- 51 Рустем Е.И. докторант, НАО Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати
- 52 Садиева Х.Р. к.т.н. доцент, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 53 Сақтапбергенова А.А. магистрант, НОЦХИ, Казахстанско-Британский технический университет
- 54 Салимханова А.С. докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
- 55 Самигулин Т.И. MSc, сеньор-лектор, Факультет Информационных Технологий, Казахстанско-Британский Технический Университет, зав. лаб. «Лаборатория Ханивелл КБТУ
- 56 Сапарходжаев Н.П. PhD, доцент, декан факультета, Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави
- 57 Сагаева С.С. доктор PhD, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан агралық-техникалық университеті
- 58 Сагаева А.А. магистрант, НОЦХИ, Казахстанско-Британский технический университет
- 59 Саутпаева Э.С. магистрант, Казахстанско-Британский технический университет
- 60 Сейпишева Э.К. магистр, старший преподаватель кафедры ИВС Карагандинского государственного технического университета
- 61 Сейтбекова Г.А. к.т.н. доцент, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати
- 62 Сейтмагзимова Г.М. к.т.н., профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова
- 63 Сералина Н.Т. магистр техники и технологии по специальности Информационные системы, Информационные технологии, студент-докторант Казахстанско-Британского технического университета
- 64 Сулейменова Р.А. магистр, Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова
- 65 Таубаева А.С. PhD доктор, старший преподаватель, кафедры ХТНВ Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 66 Тимофеева О.И. магистрант Актюбинского регионального государственного университета им. К. Жубанова
- 67 Тлеуов А.С. профессор кафедры ХТНВ ЮКУ
- 68 Тлеуова С.Т. к.т.н. доцент кафедры ХТНВ ЮКУ
- 69 Толстова А.Р. магистрант, НОЦХИ, Казахстанско-Британский технический университет
- 70 Тулебекова А.С. PhD, доцент, старший научный сотрудник отдела НИОКР, ТОО «CSI Research & Lab», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан
- 71 Тургазинов И.К. доктор PhD, сеньор-лектор, Казахстанско-Британский технический университет
- 72 Уатбаев М.М. PhD докторант кафедры «Компьютерной инженерии и информационной безопасности», Разработка алгоритмов и методологий оптимизации нагрузки обслуживания единой дежурно-диспетчерской службы. Международный университет информационных технологий
- 73 Улбекова М.М. докторант, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова
- 74 Усербаева Б.А. Старший преподаватель, ЮКГПУ
- 75 Утелбаева А.Б. д.х.н., доцент кафедры «Химия» Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова
- 76 Утепов Е.Б. PhD, доцент, начальник отдела НИОКР, ТОО «CSI Research & Lab», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан
- 77 Хамзина Б.Е. доктор PhD, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан агралық-техникалық университеті
- 78 Хасанходжаева Б.Ш. магистр педагогических наук, преподаватель кафедры «Химия и биология» Silkway International university
- 79 Ширяева О.И. к.т.н., ассоц. профессор, Satbayev University
- 80 Янгиев А.А. д.т.н профессор, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ

**HERALD**  
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ответственный за выпуск	Есбергенов Досым Бектенович
Редакторы	Далабаева Айсара Касымбековна Садганова Эльмира Абуовна
Компьютерный дизайн и верстка	Елеманова Дана Каиркельдыевна

Подписано в печать 30.03.2021 г.  
Тираж 300 экз. Формат 60x84 1/16.  
Бумага тип. Уч.-изд.л. 15 Заказ №156.

Редакция журнала «Вестник КБТУ» не несет ответственность за содержание публикуемых статей. Содержания статей целиком принадлежат авторам, и размещаются в журнале исключительно под их ответственность.

Издание Казахстанско-Британского технического университета  
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59