



eISSN 2709-4766  
ISSN 2709-4758

№2 (143)

ҚазҰТЗУ  
**ХАБАРШЫСЫ**

КазННТУ  
**ВЕСТНИК**

KazNRTU  
**VESTNIK**



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ

---

---

ВЕСТНИК КазННТУ

---

VESTNIK KazNRTU

---

№ 2 (143)

eISSN 2709-4766

ISSN 2709-4758

**Главный научный редактор**  
**А.К. Тулешов – и.о. Ректора**

**Заместитель Главного научного редактора**  
**А.Х. Сыздыков – проректор по науке**

**Редакционная коллегия:**

**К.Б. Рысбеков** (Казахстан), **З.К. Туйебахова** (Казахстан), **Б.Р. Ракишев** (Казахстан),  
**Т.А. Енсеппаев** (Казахстан), **А.А. Бекботаева** (Казахстан), **А.Е. Абетов** (Казахстан),  
**Ж.Р. Уалиев** (Казахстан), **И.Н. Столповских** (Казахстан), **С. Азат** (Казахстан),  
**Ш.Н. Кубекова** (Казахстан), **Х.С. Рафикова** (Казахстан), **Б.С. Селенова** (Казахстан),  
**Р.И. Мухамедиев** (Казахстан), **Д.Б. Нурсеитов** (Казахстан), **Н.А. Сейлова** (Казахстан),  
**А. Калтаев** (Казахстан), **R. Selmann** (Великобритания), **Л. Евгений** (США), **В.Г. Лозинский**  
(Украина), **О.Н. Бодин** (Россия), **А.В. Сладковски** (Польша), **В.А. Зорин** (Россия),  
**А.Д. Кольга** (Россия), **В.П. Селяев** (Россия), **О.В. Атаманова** (Россия), **С.А. Монтаев**  
(Казахстан), **V.S. Rosa** (Великобритания), **F.V. Leticia** (Бельгия), **I. Vassilis**  
(Великобритания), **K. Nicolas** (Греция), **I. Galaev** (Нидерланды), **V. Bagher** (Иран),  
**С.А. Гнатюк** (Украина), **М.Н. Калимолдаев** (Казахстан), **О.Ж. Мамырбаев** (Казахстан).

**Учредитель:**

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

**Регистрация:**

Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан  
№ KZ22VPY00030188 от 15.12.2020г.

**Официальный сайт:** <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/>

**Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год**

**Адрес редакции:**

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22  
тел.: 292-63-46

**А.Е. Абетов, С.С. Құдайбергенова\*, В.А. Сидоров**  
Satbayev University, Алматы, Казахстан  
\*e-mail: sabina\_kudaybergenova@inbox.ru

## **СОЗДАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются аспекты геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов. Приведены основные факторы геодинамического риска – природные и техногенные. Кратко представлен зарубежный и отечественный опыт ведения геодинамических исследований, также проиллюстрированы формы проявления природно-техногенных геодинамических процессов. Обобщены сведения о геодинамических событиях и деформационных процессах на разрабатываемых месторождениях нефти и газа. Рассмотрены принципы создания геодинамических полигонов и технологии проведения геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов, включая аппаратуру и базовые методы мониторинга. Работы по созданию геодинамического полигона и проведению на нем геодинамического мониторинга должны состоять из нескольких основных взаимосвязанных этапов. Таким образом, в заключении сформулирована наиболее оптимальная и эффективная последовательность проведения геодинамического мониторинга на разрабатываемых месторождениях УВС.

**Ключевые слова:** современная геодинамика, сейсмо-деформационные процессы, просадки, горизонтальные сдвиги, мониторинг, геодинамический полигон.

**Введение.** Освоение углеводородных ресурсов – один из наиболее «агрессивных» видов техногенного воздействия на недра Земли, который имеет тенденцию к расширению и усилению, оказывает заметное влияние на изменяющееся во времени напряженно-деформированное состояние недр, включая системы и объекты инфраструктуры, среду обитания человека.

Иногда эти изменения приводят к катастрофическим последствиям в море, на поверхности земли и в атмосфере.

Достаточно вспомнить разливы нефти в Мексиканском заливе на месторождении Макондо в 2010г., когда через повреждения труб скважины на глубине 1500 метров за 152 дня вылилось около 5 миллионов баррелей нефти. Нефтяное пятно достигло площади 75 тысяч квадратных километров, что составляет около 5% площади всего Мексиканского залива.

Другой пример - возникновение сильных и катастрофических природных и техногенно-индуцированных геодинамических явлений в районах с развитой нефтегазодобычей, которые «провоцируются» процессами разработки месторождений углеводородов, нарушающих природное неустойчивое напряженно-деформированное равновесие среды [1].

К таким явлениям относят обширные проседания и сдвиги земной поверхности, высокую активность разломов различного типа и порядка (в том числе и на дневной поверхности), сейсмические процессы достаточно широкого диапазона магнитуд.

Оценка роли и масштабов проявления этих процессов базируются на новых представлениях о существенной значимости геодинамического фактора при расчётах промышленного и экологического рисков эксплуатации месторождений УВ.

Этому способствовало существенное расширение в середине XX века исследований по изучению различных форм проявления природных и природно-техногенных геодинамических процессов в различных регионах мира на геодинамических полигонах разного целевого назначения: а) прогностических в сейсмоактивных районах; б) на территориях АЭС и крупных ГЭС; в) на особо ответственных объектах; в) в горных выработках при добыче полезных ископаемых.

**Современная природная геодинамика недр.** Традиционно считалось, что активные геодинамические процессы происходят преимущественно в пределах подвижных регионов и смежных с ними областей.

Развитие наблюдательных сетей и проведение длительных инструментальных наблюдений на обширных платформенных территориях привели к радикальному изменению представлений о современном геодинамическом состоянии недр этих территорий, суть которых сводится к тому, что как для платформенных, так и для сейсмоактивных регионов основные пространственно-временные характеристики аномальной современной активности разломов идентичны.

Перемещение блоков земной коры происходит по древним глубинным разломам, которые продолжают быть активными в современную эпоху.

Так в равнинно-платформенной части США скорости вертикальных движений оставляют в среднем 3-5 мм/год, а в западной орогенной части они возрастают до 1-2 см/год. Примерно такие же значения характерны для Восточно-Европейской платформы - от -5-6 мм/год до +1,5-2,0 мм/год. В пределах Карпатского и Кавказского регионов значения скоростей возрастают до 1,0-2,0 см/год [2].

В Казахстане по значениям скоростей горизонтальных и вертикальных движений (мм/год) составлена карта районирования новейших структур для изучения их напряженно-деформированного состояния (рис.1).

Шкала значений скоростей горизонтальных движений имеет диапазон  $2 \cdot 10^{-1}$  -  $1 \cdot 10^{-8}$  мм/год, вертикальных  $2 \cdot 10^{-1}$  -  $3 \cdot 10^{-4}$  мм/год.

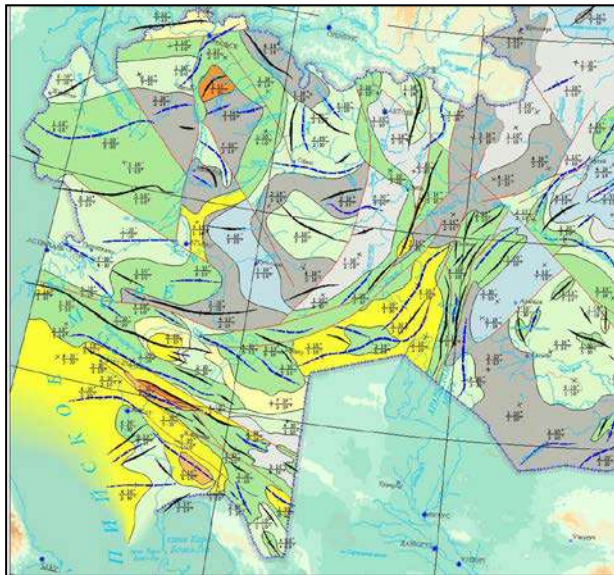
В целом, величины скоростей горизонтальной и вертикальной деформаций имеют максимальные значения в пределах эпиплатформенных орогенов, которые увеличиваются во внутренних областях этих орогенов и уменьшаются по их периферии, на что указывают очень крутые углы восстания полного вектора тектонических движений с явным преобладанием значений более  $80^\circ$ , образующихся под влиянием структур взбросового типа.

Среди платформенных морфоструктур значения скоростей деформаций (горизонтальных, вертикальных) увеличиваются в зонах наибольшего сжатия между поднятыми блоками фундамента, а наименьшие наблюдаются в областях спокойного залегания структур чехла [3,4,5].

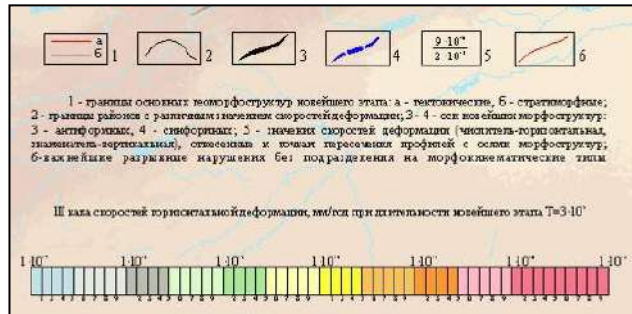
По соотношению скоростей горизонтальных ( $V_{\Delta L}$ ) и вертикальных ( $V_H$ ) структурообразующих движений установлено, что при деформировании исходной поверхности выравнивания и образовании новейших складок преобладает вертикальная составляющая деформаций, соответствующая модели формирования складок основания в условиях субгоризонтального сжатия.

Подходя к оценке закономерности пространственно-временного распределения параметров современного геодинамического состояния недр осадочных (нефтегазоносных) бассейнов, установлено новое свойство разрывных нарушений в фундаменте и в низах осадочного чехла нефтегазоносных областей – их высокая современная тектоническая активность [6,7].

Было выделено три типа высоко градиентного аномального изменения вертикальных движений над разломами различного типа с разным механизмом возникновения [6,7].

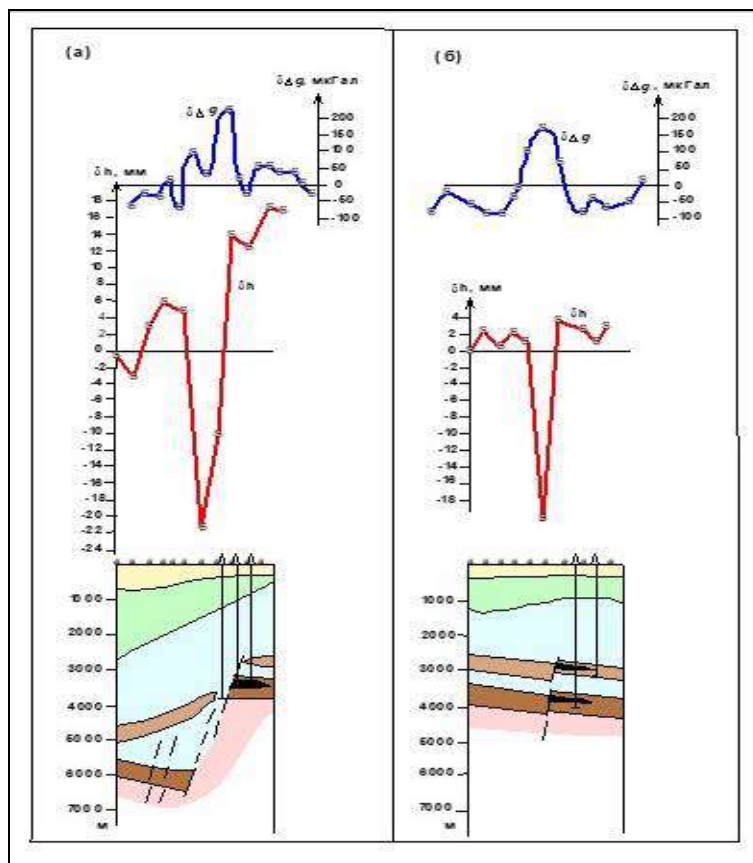


Условные обозначения



**Рисунок 1.** Фрагмент карты районирования новейших морфоструктур Казахстана (в частности Западного сектора) по скоростям горизонтальной и вертикальной деформации по данным [3,4,5]

В пределах платформенных осадочных бассейнов к наиболее распространённым следует относить тип аномального изменения вертикальных движений (рис. 2), формирующегося в результате движений по плоскостям сбросов.



**Рисунок 2.** Пример современной активизации разлома типа сброса в пределах платформенного осадочного бассейна (нефтегазоносной области) по данным [7]

Основные свойства вертикальных движений этого типа состоят в следующем [7]:

- высокие скорости формирования аномалий (порядка 6 см/год в первые годы);
- локальность аномалий (ширина 1-3 км);
- регулярное развитие аномалий в соответствии с адекватной активизацией разлома (через 5-8 лет).

На рисунке 3 приведены графики формирования кратковременной аномальной современной тектонической активности надсолевых разломов в период 1988-1992 гг. на нефтегазовом месторождении Тенгиз (после начала его разработки).

Можно заметить, что аномальная активность разломов начала проявляться в период 1989-1990 гг., а остаточные деформации прослеживались до 1992 года. Следующий период активизации надсолевых разломов пришёлся на 1995-1996 гг.

В период активизации надсолевых разломов было зарегистрировано аномальное увеличение концентрации гелия, растворенного в воде приповерхностных горизонтов (кривая зеленого цвета).

Следовательно, на нефтегазовом месторождении Тенгиз квазипериодическое возникновение локальных аномалий вертикальных движений земной поверхности над активными разломами происходят с длительностью один-два года с последующим затуханием, которое, в свою очередь заканчивается новой активизацией разлома (рис. 4).

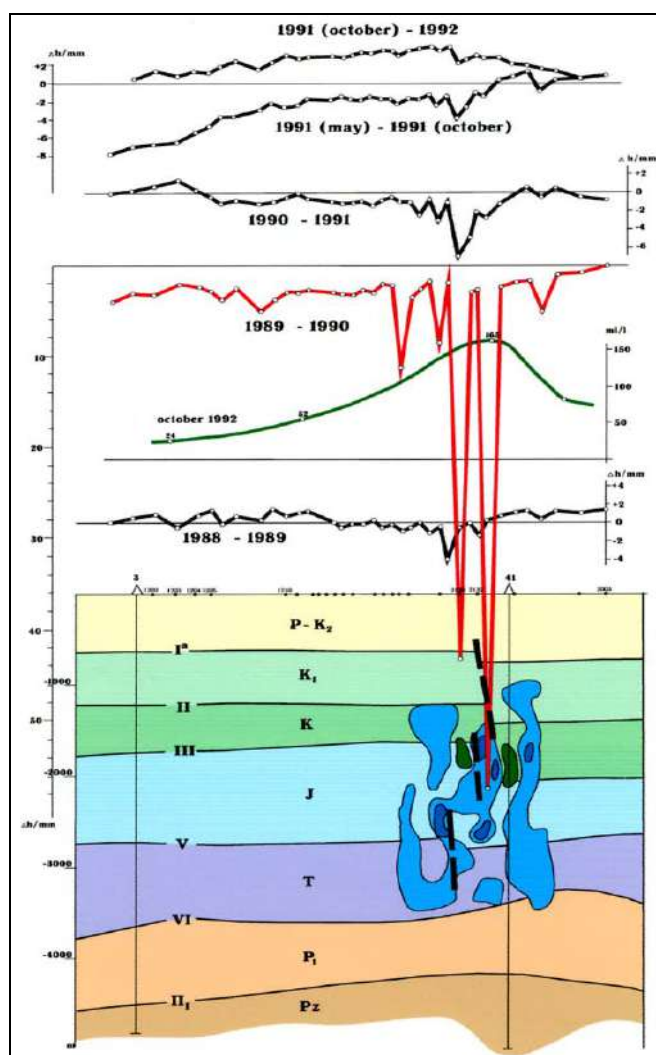
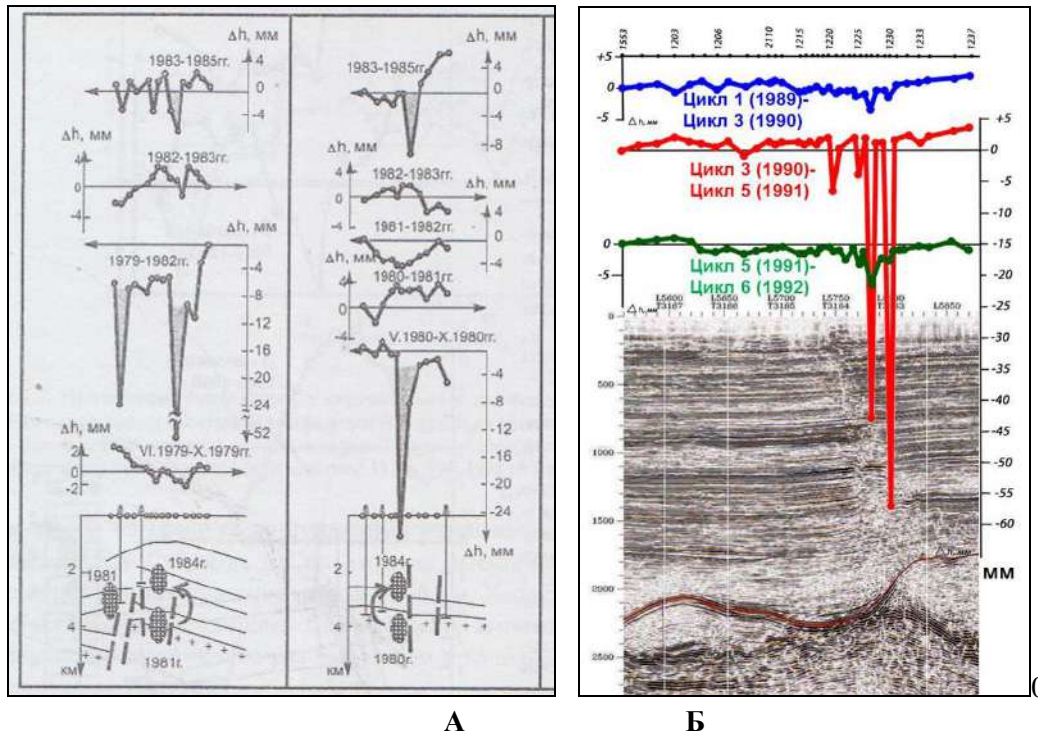


Рисунок 3. Локальная кратковременная активизация надсолевых разломов на территории нефтяного месторождения Тенгиз



**Рисунок 4.** Примеры короткопериодного проявления современной активности разломов по результатам многократного точного нивелирования в пределах Припятского грабена (Республика Беларусь) – А и западной части Республики Казахстан – Б

Кратковременные морфологические признаки аномалий над зонами разломов различного типа, выявленные в различных нефтегазоносных областях, несомненно указывают на локальную пространственно-временную нестабильность процессов деформации геосреды в разломных зонах.

Идентичность морфологических признаков указанных кратковременных аномалий вертикальных подвижек и их региональные закономерности проявления указывают на возможно близкий или идентичный механизм процессов, происходящих непосредственно в зонах тектонических нарушений.

Соответствующие аналитические исследования, математическое моделирование и полевые измерения показали, что эти процессы могут быть связаны с локальными вариациями параметров среды (жёсткостных, прочностных, ёмкостных) внутри разломных зон в обстановке периодичной внешней (региональной) нагрузки [8,9].

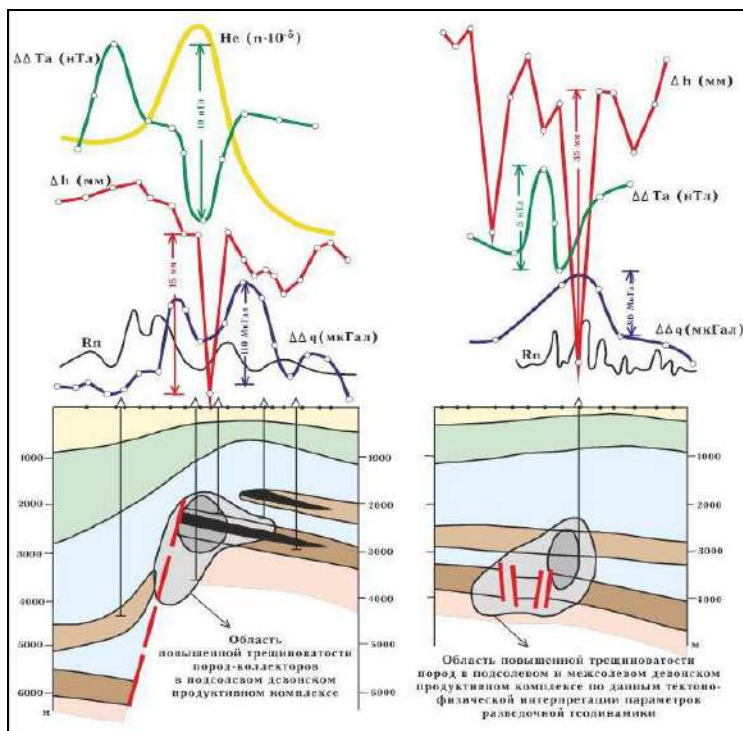
Над зонами активных разломов, кроме выявленных вертикальных движений, наблюдается аномальное изменение потенциальных геофизических полей и геохимических аномалий (гелиевых, радоновых, углеводородных).

На рисунке 5 приведены примеры появления над активными разломами не только аномалий вертикальных движений земной поверхности, но и аномалий вариаций силы тяжести  $-\Delta G$  и геомагнитного поля  $-\Delta T_a$ , аномалии гелия - He, растворенного в воде и радона - Rn в приповерхностных отложениях [6].

Следовательно, в зонах разломов имеет место сложный комплекс деформационных и флюидодинамических (миграционных) процессов, которые возникают и развиваются в зависимости от изменения современного геодинамического состояния недр.

На основании вышеизложенного и по результатам анализа большого числа опубликованной литературы представляется возможным сформулировать следующий вывод: на природную активность разломов накладывается фактор техногенной нагрузки, появляющийся в результате разработки месторождений УВ.





**Рисунок 5.** Примеры формирования над активным разломом аномалий вертикальных движений земной поверхности, вариаций потенциальных геофизических полей – гравитационного и геомагнитного и вариаций геохимических полей (гелия и радона) по данным [6]

При этом оценка сейсмодоформационного риска на разрабатываемых месторождениях углеводородов в решающей мере связана с пониманием роли и соотношений трёх факторов - объемов добычи углеводородного сырья и закачки флюида и их изменений во времени, уровня и масштаба развития природно-техногенных сейсмодоформационных процессов, степени активности разломов и напряженного состояния недр.

Важно отметить, что в основу методологии и технологии многолетних работ по проведению комплексного геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов Республики Казахстан легли результаты обобщения большого объема информации по природно-техногенной геодинамике недр разрабатываемых месторождений углеводородов (УВ) за рубежом.

**Принципы создания геодинамических полигонов и технологии проведения геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов.** Геодинамический полигон на месторождениях УВ – это совокупность долговременных, надежно закрепленных и пространственно увязанных пунктов, расположение которых учитывает структурно-геологические и промыслово-геологические особенности объектов разработки.

Сеть геодинамических пунктов – основа для получения комплексной количественной информации о пространственно-временных изменениях современного геодинамического состояния недр на разрабатываемых месторождениях УВ.

Мониторинг за развитием этих процессов должен осуществляться комплексом различных методов. Применение одного метода даже в режиме мониторинга (например, сейсмологического) приведет к «пропуску» возможных предвестников развития других форм проявления геодинамических событий, например, просадочных явлений, активизации разломов и других форм, которые могут возникать одновременно с землетрясениями или без их проявлений.

При этом важное значение приобретает задача оптимизации методов. В противном случае строительство и функционирование геодинамического полигона и проведение

мониторинга будет неэффективным и потребует больших и неоправданных финансовых затрат.

Для получения представительной мониторинговой информации необходимо соблюдать ряд требования при организации и дальнейшем усовершенствовании систем наблюдений на территории разрабатываемых месторождений УВ, которые состоят в следующем [10]:

- совмещение по местоположению пунктов запланированных методов комплексного геодинамического мониторинга;

- обеспечение долговременной сохранности (десятки лет) этих пунктов, отсутствие или минимизация антропогенных воздействий и приповерхностных инженерно-геологических факторов (солончак, карст, возможность затопления и подтопления и др.) на устойчивость измерений пунктов геодинамической сети;

- необходимость размещения пунктов измерений деформаций, геофизических и других запланированных видов измерительных комплексов, удовлетворяющих оптимальным условиям регистрации и метрологического контроля в районах вероятного проявления природно-техногенных событий на лицензионных территориях недропользователей;

- надежный контроль условий возникновения и развития аномальных геодинамических событий природно-техногенного генезиса за счет оптимальной пространственно-временной детальности мониторинговых наблюдений;

- комплексирование видов геофизического, экологического гидрогеологического, геохимического контроля по мониторингу за состоянием недр;

- необходимый и достаточный комплекс методов и видов мониторинга и оптимальный режим наблюдений (непрерывный или/и дискретный), обеспечивающих регистрацию всех форм геодинамических событий, ответственных за потенциальные негативные последствия;

- построение мониторинговых систем с использованием существующих высокоэффективных аппаратурно-технических средств.

Системы геодинамического мониторинга должны учитывать:

- размещение разломов и разрывных нарушений различного типа и порядка;

- местоположение массивов горных пород, предрасположенных к механической неустойчивости (к примеру, необходимо более детальное знание лито-физических свойств соляных массивов на территории разрабатываемых месторождений);

- зоны аномального изменения морфологии структурных форм (флексур, склонов), где возможно формирование девиаторов аномальных напряжений – потенциальных участков развития природно-техногенной сейсмичности;

- размещение фонда эксплуатационных скважин с высоким и пониженным дебитами;

- площадную дифференциацию текущего пластового давления, параметров пород-коллекторов по петрофизическим, фильтрационно-емкостным и литологическим свойствам;

- наземные объекты обустройства месторождений;

- районы нагнетательных скважин;

- нефтесборные комплексы и линейные системы (трубопроводы).

Достоверное заключение о проявлении той или иной формы геодинамических событий сделать практически невозможно. Тем не менее, можно утверждать, что всё многообразие различных сочетаний геодинамических факторов может быть реализовано в форме четырех основных и наиболее часто встречающихся событий природного и природно-техногенного генезиса, которые могут возникать в определенных комбинациях на разрабатываемых месторождениях углеводородов:

- **активные в настоящее время разломы**, подвижки по плоскостям которых могут существенно активизироваться под влиянием процессов разработки месторождений УВ;

- **обширное и неравномерное по площади проседание земной поверхности**, связанное с извлечением углеводородного сырья, падением пластового давления, неравномерным площадным распределением физических свойств пород-коллекторов и др.;

- **горизонтальные сдвиги массивов горных пород**, как следствие интенсивных просадок земной поверхности, которые могут усиливаться за счет активизации локальных аномалий напряжений и влияния анизотропии пластических пород (например, глинистых пропластков в соленосной толще), играющих роль «смазки» при горизонтальных смещениях;

- **землетрясения**: природные, техногенные и индуцированные по генезису возникновения, расположенные как на самих разрабатываемых месторождениях УВ, так и вблизи них.

Потенциальные формы возникновения природных и природно-техногенных событий определяют выбор адекватного базового комплекса методов мониторинга этих процессов, использование которых необходимо запланировать уже на первом этапе (продолжительностью не менее 5 лет) проведения мониторинга с последующей корректировкой в зависимости от получаемых результатов.

В течение этого этапа базовыми методами мониторинга следует считать:

- **Деформационный мониторинг** – картирование активных разломов и просадочных явлений методом повторного точного нивелирования (нивелирование II класса повышенной точности цифровыми нивелирами Leica DNA-03, Leica LS15 в комплекте с инварными рейками);

- **GPS - мониторинг (повторный)** – площадное картирование проседаний земной поверхности и горизонтальных сдвигов массивов горных пород для всей территории месторождения (повторные высокоточные GNSS-наблюдения, многочастотные GNSS приемники Trimble серии R5, R7; 4700, 5700 TS; высокоточные GNSS антенны типа Trimble GNSS Choke Ring и Trimble GNSS-Ti Choke Ring);

- **GPS-мониторинг (непрерывный)** – картирование изменений напряженного состояния недр на локальных участках развития аномальных сейсмодеоформационных событий с разработкой возможных прогностических признаков возникновения сильных событий (непрерывные высокоточные GNSS-наблюдения с использованием постоянно функционирующих референчных станций, в которых развернута система Trimble NetR9);

- **Гравиметрический мониторинг (непрерывный)** – исследование вариаций силы тяжести в качестве возможных предвестников сильных сейсмических событий (высокоточные гравиметрические измерения гравиметрами AutoGrav фирмы Scintrex CG-5 и CG-6);

- **Сейсмологический мониторинг** – регистрация местных, близких, техногенных и индуцированных землетрясений, а также изучение пространственно-временного режима сейсмичности, анализ механизмов очагов землетрясений, напряженно-деформированного состояния среды и изменения этого состояния в связи с разработкой месторождений углеводородов (сейсмологическая станция в комплекте с 3-х компонентным сейсмодатчиком и сейсмоприемником).

По результатам первых измерений определяется репрезентативность каждого метода с решением о его использовании на следующем измерительном этапе работ или обоснованного дополнения используемого комплекса другими методами, например, радарной интерферометрической съемки, геохимическим мониторингом и др.

Технология многофункционального мониторинга на территориях разрабатываемых месторождений углеводородов не должна допускать построения статических систем мониторинга.

На месторождениях углеводородов должна быть создана система объективного контроля за непрерывно меняющейся геодинамической ситуацией в соответствии с изменениями промыслово-геологической ситуации в процессе добычи УВ.

Совокупность вышеуказанных базовых методов в комплексе с имеющейся промыслово-геологической информацией позволит получить достаточный объем данных для

исследования свойств и пространственно-временных закономерностей проявления сейсмодиформационных процессов на территориях месторождений УВ.

При этом должно соблюдаться основное требование - надежный контроль условий возникновения и развития геодинамических явлений и оценка (прогнозирование) возможного аномального развития этих явлений на наиболее ранней стадии.

На основании вышеизложенного оптимальной и эффективной следующая последовательность проведения геодинамического мониторинга на разрабатываемых месторождениях УВ:

1. Составление комплексной программы геодинамического мониторинга на период, согласованный с недропользователем (лучше на 4-5 лет), с обоснованием целей и задач работ, методов мониторинга, размещения систем мониторинга, обработки и анализа результатов, составлением отчетной документации.

2. Проведение рекогносцировки закладываемых пунктов геодинамической сети с учётом факторов геодинамического риска. Обоснование требований к устойчивости пунктов наблюдений.

3. Закладка пунктов геодинамической сети с требованиями по геометрии сети, отношению к структурно-геологическим и промыслово-геологическим особенностям объекта и по долговременной сохранности пунктов.

4. Методическая и аппаратная оснащённость геодинамического мониторинга должна гарантировать получение надёжной информации. Принципиальная особенность состоит также в том, чтобы на территории месторождений осуществляется унифицированный комплекс методов наблюдений в течении длительного времени.

5. Проведение измерения многократными во времени циклами измерений соответствующих параметров. Количество циклов измерений за единицу времени (например, в течении года) определяется пространственным масштабом, уровнем и быстротой изменения параметров современной геодинамики природно-техногенного генезиса. В случае аномальной активизации деформационных процессов на локальных участках месторождения УВ либо уменьшается интервал времени между циклами измерений, либо проводятся непрерывные измерения.

6. Процесс мониторинга непрерывно должен поддерживаться комплексом научно-методического сопровождения, обеспечивающего анализ, интерпретацию и обобщение результатов мониторинга с геолого-геофизических и промысловыми данными, имеющимися по разрабатываемому месторождению УВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Абетов А.Е., Кудайбергенова С.С. Факторы геодинамического риска на примере месторождения углеводородов Бузачинского свода // Сборник материалов II научной конференции: Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии/Развитие геологоразведочных работ. – Пермь, 2019. - С. 9-17.

[2] Донабедов А.Т., Сидоров В.А., Тимарев К.В. и др. К вопросу о соотношениях между скоростями современных вертикальных движений земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами // ДАН СССР. – Т.132. – № 4. – С. 810-813.

[3] Нусипов Е., Рахымбаев М., Узбеков Н.Б. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана // ТОО «ИТЦ» Сейсмомониторинг. - Алматы, 2007, гл.3, 295-298 с.

[4] Тимуш А.В. Напряженно-деформированное состояние новейших морфоструктур Джунгаро-Тянь-Шаньского региона // Inland Earthquake, 2000. Vol. 14. №2. P. 167-175.

[5] Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. М.: Наука, 1986. – 315 с.

[6] Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. М.: Наука, 1989. – 200 с.

[7] Сидоров В.А., Багдасарова М.В., Атанасян С.В. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М.: Наука, 1989. – 200 с.

[8] Кузьмин Ю.О., Сидоров В.А. Сравнительная оценка деформационных процессов в разломных зонах осадочных бассейнов // Тезисы 7-го Международного симпозиума по современным движениям земной коры. – Таллинн 1986, - С. 70.

[9] Кузьмин Ю.О., В.С.Жуков. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: МГГУ, 2004, – 262 с.

[10] Концепция «Геодинамический мониторинг месторождений нефти и газа Республики Казахстан», Институт сейсмологии, Алматы, 2009.

#### REFERENCES

[1] Abetov A.E., Kudaibergenova S.S. Faktory geodinamicheskogo riska na primere mestorozhdeniya uglevodorodov Buzachinskogo svoda // Sbornik materialov II nauchnoi konferencii: Novye napravleniya neftegazovoi geologii i geohimii/Razvitie geologorazvedochnyh работ. – Perm', 2019. - S. 9-17.

[2] Donabedov A.T., Sidorov V.A., Timarev K.V. i dr. K voprosu o sootnosheniyah mezhdru skorostyami sovremennykh vertikal'nykh dvizhenii zemnoy kory, geofizicheskimi polyami i geostrukturnymi jelementami // DAN SSSR. – T.132. – № 4. – S. 810-813.

[3] Nusipov E., Rahymbaev M., Uzbekov N.B. Geodinamika i sejsmichnost' litosfery Kazahstana // TOO «ITC» Seismomonitoring. - Almaty, 2007, gl.3, 295-298 s.

[4] Timush A.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie noveyshih morfostruktur Dzhungaro-Tyan'-Shan'skogo regiona // Inland Earthquake, 2000. Vol. 14. №2. P. 167-175.

[5] Chediya O.K. Morfostruktury i noveyshih tektogenez Tjan'-Shanja. M.: Nauka, 1986. – 315 s.

[6] Sidorov V.A., Kuz'min Ju.O. Sovremennyye dvizheniya zemnoy kory osadochnykh basseynov. M.: Nauka, 1989. – 200 s.

[7] Sidorov V.A., Bagdasarova M.V., Atanasjan S.V i dr. Sovremennaya geodinamika i neftegazonosnost'. M.: Nauka, 1989. – 200 s.

[8] Kuz'min Ju.O., Sidorov V.A. Sravnitel'naya ocenka deformatsionnykh processov v razlomnykh zonah osadochnykh basseynov // Tezisy 7-go Mezhdunarodnogo simpoziuma po sovremennym dvizheniyam zemnoy kory. – Tallinn 1986, - С. 70.

[9] Kuz'min Ju.O., V.S.Zhukov. Sovremennaya geodinamika i variacii fizicheskikh svoystv gornyykh porod. M.: MGGU, 2004, – 262 s.

[10] Konceptsiya «Geodinamicheski monitoring mestorozhdeni nefti i gaza Respubliki Kazahstan», Institut seismologii, Almaty, 2009.

**А.Е. Абетов, С.С. Құдайбергенова\*, В.А. Сидоров**

Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*e-mail: sabina\_kudaybergenova@inbox.ru

#### КОМІРСУТЕГІ КЕНОРЫНДАРЫНДА ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНДАР ҚҰРУ ЖӘНЕ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖҮРГІЗУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

**Андатпа.** Мақалада көмірсутегі кенорындарындағы геодинамикалық бақылау аспектілері қарастырылған. Табиғи және техногендік геодинамикалық қауіптің негізгі факторлары келтірілген. Геодинамикалық зерттеулер жүргізудің шетелдік және отандық тәжірибесі қысқаша ұсынылған, табиғи-техногендік геодинамикалық процестердің көріну формалары да көрсетілген. Игеріліп жатқан мұнай және газ кенорындарындағы геодинамикалық оқиғалар мен деформация процестері туралы ақпарат қорытылған. Жабдықтар мен бақылаудың негізгі әдістерін қоса алғанда, көмірсутектер кенорындарында геодинамикалық бақылау жүргізу технологиялары мен геодинамикалық сынақ алаңдарын құру принциптері қарастырылған. Геодинамикалық сынақ алаңын құру және оған геодинамикалық бақылау жүргізу бойынша жұмыс бірнеше негізгі өзара байланысты кезеңдерден тұруы керек. Сонымен, мақаланың қорытындысында игерілген көмірсутегі кенорындарындағы геодинамикалық бақылаудың оңтайлы және тиімді реттілігі тұжырымдалды.

**Негізгі сөздер:** заманауи геодинамика, сейсмикалық деформация процестері, шөгү, көлденең орын ауыстырулар, бақылау, геодинамикалық сынақ алаңы.

**A. Abetov, S. Kudaibergenova\*, V. Sidorov**  
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: sabina\_kudaybergenova@inbox.ru

**CREATION OF GEODYNAMIC POLYGONS AND TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING  
GEODYNAMIC MONITORING IN THE HYDROCARBON FIELDS**

**Abstract.** The article implicates with aspects of geodynamic monitoring at hydrocarbon fields. The main factors of geodynamic risk - natural and technogenic are given. The foreign and domestic experience in conducting geodynamic research is briefly presented, also illustrated the forms of manifestation of natural and technogenic geodynamic processes. Information about geodynamic events and deformation processes in the developed oil and gas fields is generalized. The principles of creating geodynamic polygons and technologies for conducting geodynamic monitoring in hydrocarbon fields are considered, including equipment and basic monitoring methods. Work on the creation of a geodynamic polygon and carrying out geodynamic monitoring on it should consist of several main interrelated stages. Thus, in the conclusion, the most optimal and effective sequence of geodynamic monitoring at the developed hydrocarbon fields is formulated.

**Keywords:** modern geodynamics, seismic-deformation processes, subsidence, horizontal shears, monitoring, geodynamic testing ground.

<sup>1,2</sup>М.А.Алпысбай\*, <sup>1</sup>А.З.Гаппаров

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: marua.alpysbay@gmail.com

## SENTINEL-2 ҒАРЫШТЫҚ СУРЕТТЕРІН ПАЙДАЛАНЫП АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫН БАҚЫЛАУ

**Андатпа.** Мақалада ауыл шаруашылығы алқаптарын ғарыштық сурет арқылы бақылап, анализ жасау мәселелері берілген. Негізгі зерттеу материалы ретінде Еуропалық ғарыштық агенттігінің Sentinel-2 спутнигінен алынған суреттер пайдаланылды. Бұл спутник көптеген салаларда қолданылатын оптикалық деректерді ұсынады, мысалы, су тасқыны, көшкін, өрт, дақылдар және т. б. Зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның солтүстік экономикалық зонасының ауданы, Есіл өзенінің сағасы пайдаланылды. Мониторингі орындау үшін NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) вегетациялық индексі пайдаланылды, оны қолданудың негізгі принциптері түсіндірілді. Алынған нәтижеге талдау жасалды және диаграммаларда зерттелетін аумақтың вегетациялық фонндағы өзгерістер көрсетілген. Зерттеу әдістерін ары қарай жетілдіру үшін арнайы ұсыныстар келтірілді және оның тиімділігі негізделді.

**Негізгі сөздер:** ауыл шаруашылығы, Sentinel-2, жерді ара қашықтықтан зерделеу, мониторинг, вегетациялық индекстер, NDVI.

**Кіріспе.** Жерді арақашықтықтан зерделеу мәліметтері ауыл шаруашылығы саласында ХХ ғасырдың 30-шы жылдарынан бастап қолданылуда. Ең алғашқы рет Ферғана алқабының топырағын зерттеуде аэросуреттер пайдаланылып, бұл үлкен саланың іргетасы қаланды [1]. Ара қашықтықтан зерделеу мәліметтері уақыт пен экономикалық шығынды үнемдеп, жұмыс өнімділігін арттыруға, алынатын ақпараттың сан түрлілігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар далалық жұмыстарға қарағанда үлкен аумақтарды тез арада зерттеуге көмектеседі.

Landsat [2], SPOT [3] және IRS [4] сияқты ғарыштық спутниктер төмен рұқсатты мәліметтер бергенімен, олардан алынған нәтижелер қазіргі кезге дейін көптеген жұмыстарда пайдаланылуда. Кеңістіктік және спектралдық рұқсаттылық техника мен технология дамыған сайын жоғарылап, спутниктік мәліметтер арқылы жасалатын жұмыстардың аясы кеңейді. ХХІ ғасырдың басында RapidEye [5] неміс спутнигінің ұшырылуы, жерді арақашықтықтан зерделеу саласындағы негізгі даму серпілісі болды. Себебі бұл спутниктен алынған мәліметтер күн сайын беріліп тұрды. Қазіргі таңда ауыл шаруашылығы мен жерді арақашықтықтан зерделеу бір-бірімен өзара тығыз сабақтасып жатқан сала. Ұшқышсыз ұшу аппаратары да соңғы жылдары қолданысқа енгізіліп, олардың рөлі артуда.

Ауыл шаруашылығы алқаптарын бақылауда Sentinel-2 [6] ғарыштық суреттерін пайдалану себебі, олардың кеңістіктік рұқсаты жоғары және тегін түрде беріледі. Ал бақылау жүргізу егін егілген уақыттан бастап, егістік орылған кезге дейін жалғасады. Бұл сол ауданда болып жатқан барлық процесстерді көруге, зиянкестерді анықтауға және тыңайтқыштарды қажет ететін аймақтарды белгілеуге, ең бастысы нейрондық жүйені пайдалана отырып, алынатын өнім көлемін болжауға мүмкіндік береді.

**Зерттеу әдістері мен нысандары.** Ауыл шаруашылығы арақашықтықтан зерделеу мәліметтерін пайдаланатын негізгі сала. Бұл технология егістік алқаптарын жан-жақтан кешенді зерттеп, толыққанды ақпарат алуға мүмкіндік береді. Ғарыштық суреттер алқаптарға инвентаризация жасауға, бос жатқан жерлерді анықтауға, мониторинг жүргізуге, статистикалық мәліметтерді алуға, ауданда болып жатқан түрлі процесстерді тануға, соның

ішінде деградациялық процесстерді анықтауға мүмкіндік береді. Басқа тәсілдерден негізгі артықшылығы:

- ғарыштық суреттердің қолжетімділік мерзімі, кейбіреуі күнде жарияланады;
- алынған суреттердің кеңістіктік рұқсаттылығы (өте жоғары дәлдікті 1 м-ден төмен болады);
- ғарыштық түсіріс мәліметтері әртүрлі коррекциядан өтіп жарияланады, ешқандай қосымша коррекциялық жұмыстарды жүргізу қажет болмайды;
- үлкен аумақтарды зерттеу мүмкіндігі;
- әртүрлі ғарыштық түсіріс нәтижелерін салыстыру арқылы зерттеу жүргізу;
- бір ғарыштық сурет арқылы өте көп мәселелерге жауап алуға болады [7-9].

Жалпы ауыл шаруашылығындағы жұмыстарды ғарыштық түсіріс мәліметтерімен орындағанда вегетациялық индекстер қолданылады. Дүние жүзінде 300-ден астам индекстер бар. Олардың барлығы ғарыштық сурет арқылы белгілі бір параметрді зерттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, NDWI (Normalized Difference Water Index) – су нысандарын картографиялауға арналса [10], NDMI (Normalized Difference Moisture Index) өсімдік жамылғысындағы су мөлшерін анықтауға, құрғақшылықты бақылауға мүмкіндік береді [11]. Ең кең таралған вегетациялық индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) және осы жұмыста зерттеу әдісі ретінде пайдаланылады. Индекс көрсеткіші фотосинтетикалық белсенді биомассаны көрсетеді. Электромагниттік спектрдің жақын инфрақызыл және қызыл толқындарын пайдалану арқылы есептеледі:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

мұнда, NIR – жақын инфрақызыл толқын

RED – қызыл толқын.

NDVI есептеу нәтижесінің мәні -1 мен 1 аралығында болады (1-сурет). Осы аралықтағы мәндер белгілі бір объектіні білдіреді, мысалы, 0,7 – қалың өсімдік жамылғысын, 0,5 – сирек өсімдік жамылғысын, 0,025 – өсімдік жамылғысы жоқ аймақты, 0 – бұлтты, -0,05 – қар мен мұз жамылғысын; -0,25 – су нысандарын білдіреді. Алынған нәтиже биомассаны, топырақ ылғалдылығы, минералды қанығуы, булану, түсетін жауын-шашын мөлшері, қар жамылғысы сияқты факторлармен байланысты және солар арқылы түсіндіріледі. Алайда аталған параметрлерден бөлек жыл мезгілін де зерттеу барысында ескерген жөн. Негізгі кемшілігі – егерде өсімдік белсенді түрде өсіп жатса, онда индекс арқылы оны «қарапайым» жасыл өсімдіктен анықтау мүмкін болмайды. Және көптеген ғарыштық суреттерден ақпарат алуға ауа-райы жағдайы кедергі келтіруі мүмкін [12-15].



1-сурет. NDVI индексінің дискретті шкаласы

NDVI индексті есептеу үшін бұл жұмыста Sentinel-2 ғарыштық суреттері қолданылды. Sentinel-2 – Еуропалық ғарыштық агенттігінің жерді қашықтықтан зерделеуге арналған



спутниктерінің бірі. Спутник жерді пайдалануды, өсімдіктерді, орман және су қорын бақылауға, табиғи апаттардың нәтижесін зерделеп, жоюға арналған. Ең бірінші спутнигі 2015 жылы ұшырылған. Кеңістіктік рұқсаты: 10, 20, 60 м [16].

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Қазақстанның солтүстік бөлігінде ауыл шаруашылығы экономиканың негізгі секторларының бірі және бүкіл елдегі егістік алқаптарының басым бөлігі осы аймақта таралған. Ақмола, Қостанай, Павлодар, Солтүстік Қазақстан облыстарының аумағы Солтүстік Қазақстан экономикалық ауданның құрамына кіреді. Зерттеу ауданы ретінде Ақмола, Қостанай және Солтүстік Қазақстан облыстарының шекарасы, Есіл өзенінің алқабы алынды (2-сурет).

Ауданның біраз бөлігін Батыс Сібір жазығы алып жатыр, негізінде рельеф типі - жазық дала. Өзен-көлдердің желісі жақсы дамыған, басты өзендері – Есіл, Ертіс, Тобыл.

Климаты шұғыл континентті, өте ұзақ қыс пен қоңыржай жаз тән. Ең суық ай болып саналатын қаңтар айында орташа айлық температурасы - 22°C, ал ең ыстық ай шілде айында бұл көрсеткіш +21°C-қа тең. Орташа жауын-шашын мөлшері 300 мм мен 700 мм арасында құбылады. Вегетациялық кезең 135-170 күн аралығында болады. Ауа температурасының өте ұзақ уақыт төмен болуына қарамастан, аймақта күн радиациясының қоры жоғары. Бірнеше жылда бір рет құрғақшылық қайталанып тұрады. Жаздың басында және күздің соңында ауа райы күрт суып, үсік жүреді.



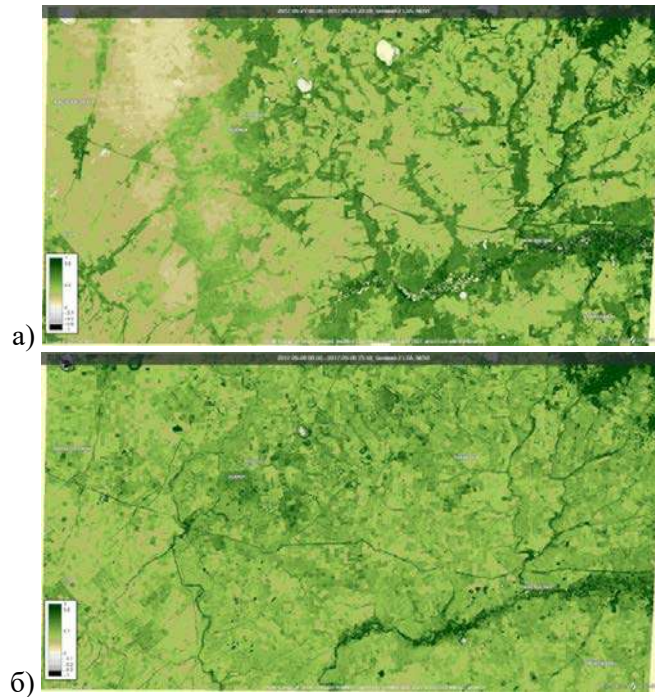
2-сурет. Зерттеу ауданының Қазақстанның картасында орналасуының сызбанұсқасы

Қайыңды, көктеректі ормандар кең тараған. Аймақта негізінен бидайдың қатты және жұмсақ сұрыптары, жүгері, күнбағыс егіледі. Топырақ жамылғысы негізінен қара топырақпен сипатталады. Қара топырақтың өнімділігі жоғары, жақсы ылғалданған далалық жазықта кеңінен таралған. Гумус мөлшері 4-6% құрайды [17-18].

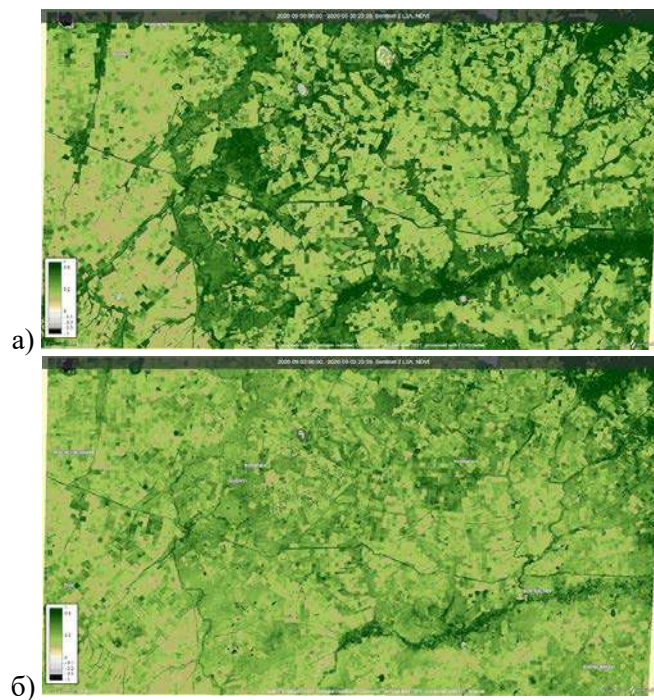
Аймақта егін шаруашылықтары кең тараған. Мұны Sentinel-2 ғарыштық суреті көмегімен NDVI есептеу нәтижесі берді. 3 (а) –суретте 2017 жылы 21 мамырда түсірілген ғарыштық суретті өңдеу нәтижесі, ал (б) суретте сол жылы 08 қыркүйектегі сурет арқылы индексті есептеу картасы берілген. Байқап отырғанымыздай мамырда солтүстік Қазақстанда өсімдік жамылғысы өзен арналарына жақын жерде өте қатты дамыған, ал күзгі суретте бұл көрініс байқалмайды. Жасыл өсімдіктердің аудан бойынша бірқалыпты таралғанын көріп отырмыз. Тек қана Есіл өзенінің саласында қалың өсімдік жамылғысы сақталған, алайда ауданы азайған. Сонымен зерттеу ауданының шығыс бөлігінде мамыр айында ашық топырақ біраз аймақты алып жатыр.

Ал 4-суретте 2020 жылы 30 мамыр мен 02 қыркүйекте түсірілген ғарыштық суреттер арқылы есептелген NDVI нәтижесі берілген. Көріп отырғанымыздай, бұл жылы 2017 жылмен салыстырғанда өсімдік жамылғысы қалың және күзде де өз жағдайын сақтап тұрған. 2017 жылғы суретте шығыс бөлігі ашық, өсімдіксіз аймақ болса, 2020 жылы бұл жер өсімдік жамылғысы өскен, бірақ басқа жермен салыстырғанда қалың емес. Есіл өзенінің алабы 2020 жылға арналған нәтижеде қалың өсімдік жамылғысымен қоршалғанын көруге болады. 2020 жылы 2017 жылмен салыстырғанда жауын-шашын көбірек жауған, және өсімдік

жамылғысының қалың болуы соған байланысты болу керек. Және 2020 жылы егістік аудандары статистикаға сәйкес 15274,3-тен 15789,2-ге ұлғайған. Сонымен қатар солтүстік Қазақстанда өнім көлемі 3002,7 мың тоннадан 4143,7 мың тоннаға, яғни 1141 мың тоннаға ұлғайған.

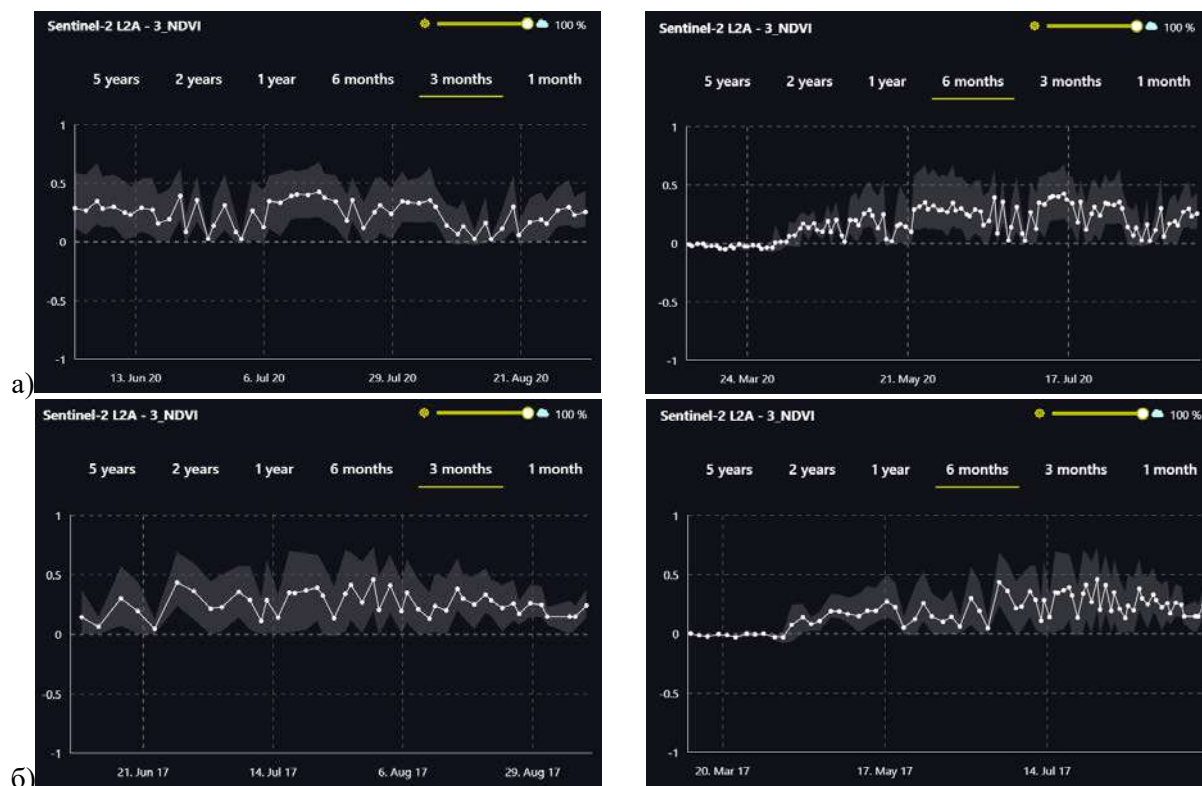


**3-сурет.** NDVI есептеу нәтижесі: а) 21.05.2017 жылғы ғарыштық сурет негізінде;  
б) 08.09.2017 жылғы ғарыштық сурет негізінде



**4-сурет.** NDVI есептеу нәтижесі: а) 30.05.2020 жылғы ғарыштық сурет негізінде;  
б) 02.09.2020 жылғы ғарыштық сурет негізінде

5 (а)-суретте 13 маусым - 2 қыркүйек 2020 жыл; 08 наурыз - 2 қыркүйек 2020 жыл аралығында NDVI көрсеткішінің өзгеруін көруге болады. Ал 5 (б) суретте 21 маусым-8 қыркүйек; 20 наурыз-8 қыркүйек 2017 аралығындағы NDVI көрсеткішінің құбылуы берілген. Графиктерден 2020 жылы NDVI мәнінің жоғары болғаны, күз кезінде де 0,25 мәнінде сақталғаны көрсетілген. Ал алты айға берілген графикте де жаз бойы NDVI мәні жоғары деңгейде сақталған, маусым айында көрсеткіші 2017 жылғы маусым айынан екі еседей жоғары болған.



5-сурет. 2017-2020 жылдарға NDVI көрсеткішінің өзгеруі

**Қорытынды.** Sentinel-2 ғарыштық суреттерін жүктеу кезінде әрбір үшінші-төртінші сурет қана бұлтсыз болып келеді, және оны вегетациялық кезеңде ауыл шаруашылығы алқаптарын болжауға пайдалануға болатыны белгілі болды. Бұл қолданылатын зерттеу материалдарының санының шектеулі болатынын білдіреді. Ең қажетті мамыр айында суреттердің біраз бөлігі бұлтты болды, ал кейбір суреттер 90-100 % бұлтпен қамтылған. NDVI индексі аймақтың егістік алқаптарын, жалпы өсімдік жамылғысы туралы ақпарат алуға мүмкіндік берді. Алайда толық ақпарат алу үшін басқа да индекстермен қатар пайдаланған дұрыс. Бұл алынатын нәтижені дұрыс интерпретациялауға мүмкіндік береді. Және ғарыштық суреттердің де басқа түрін, мысалы Landsat-8, MODIS, бірге қолданған жөн, нәтижесінде бірнеше дереккөзден ақпарат алып, салыстыруға мүмкіндік болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Якушев В. П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелия: состояние и перспективы //Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве. – 2018. – С. 3-11.
- [2] Zhu Z. et al. Benefits of the free and open Landsat data policy //Remote Sensing of Environment. – 2019. – Т. 224. – С. 382-385.
- [3] Toté C. et al. Evaluation of the SPOT/VEGETATION Collection 3 reprocessed dataset: Surface reflectances and NDVI //Remote Sensing of Environment. – 2017. – Т. 201. – С. 219-233.

- [4] Mani J. K., Varghese A. O. Remote sensing and GIS in agriculture and forest resource monitoring //Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management. – Springer, Cham, 2018. – С. 377-400.
- [5] Dong T. et al. Using RapidEye imagery to identify within-field variability of crop growth and yield in Ontario, Canada //Precision Agriculture. – 2019. – Т. 20. – №. 6. – С. 1231-1250.
- [6] Segarra J. et al. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications //Agronomy. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 641.
- [7] Kasampalis D. A. et al. Contribution of remote sensing on crop models: a review //Journal of Imaging. – 2018. – Т. 4. – №. 4. – С. 52.
- [8] Wójtowicz M. et al. Application of remote sensing methods in agriculture //Communications in Biometry and Crop Science. – 2016. – Т. 11. – №. 1. – С. 31-50.
- [9] Xue J., Su B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications //Journal of sensors. – 2017. – Т. 2017.
- [10] Amalo L. F., Ma'rufah U., Permatasari P. A. Monitoring 2015 drought in West Java using Normalized Difference Water Index (NDWI) //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2018. – Т. 149. – №. 1. – С. 012007.
- [11] Mustafa M. T. et al. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques //International journal of research-granthaalayah. – 2017. – Т. 5. – №. 10. – С. 117-128.
- [12] Rugel E. J. et al. Beyond the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): developing a natural space index for population-level health research //Environmental research. – 2017. – Т. 159. – С. 474-483.
- [13] Bagherzadeh A., Hoseini A. V., Totmaj L. H. The effects of climate change on normalized difference vegetation index (NDVI) in the Northeast of Iran //Modeling Earth Systems and Environment. – 2020. – С. 1-13.
- [14] Berger A. et al. Predicting the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) by training a crop growth model with historical data //Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Т. 161. – С. 305-311.
- [15] Van Hoek M. et al. Early drought detection by spectral analysis of satellite time series of precipitation and normalized difference vegetation index (NDVI) //Remote Sensing. – 2016. – Т. 8. – №. 5. – С. 422.
- [16] Wang Q., Atkinson P. M. Spatio-temporal fusion for daily Sentinel-2 images //Remote Sensing of Environment. – 2018. – Т. 204. – С. 31-42.
- [17] Mazhitova G. Z. et al. Comprehensive Analysis of Natural Agricultural Potential of North Kazakhstan Region //Science, Ecology and Engineering Research in the Globalizing World. – 2018. – С. 504.
- [18] Пашков С. В., Байбусинова С. Б. Природно-агрогенная обусловленность плодородия почв Северного Казахстана //Вестник Забайкальского государственного университета. – 2017. – Т. 23. – №. 2.

## REFERENCES

- [1] Yakushev V. P. Distancionnye metody i sredstva v informacionnom obespechenii tochnogo zemledeliya: sostoyanie i perspektivy //Primenenie sredstv distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve. – 2018. – С. 3-11.
- [2] Zhu Z. et al. Benefits of the free and open Landsat data policy //Remote Sensing of Environment. – 2019. – Т. 224. – С. 382-385.
- [3] Toté C. et al. Evaluation of the Spot/vegetation Collection 3 reprocessed dataset: Surface reflectances and NDVI //Remote Sensing of Environment. – 2017. – Т. 201. – С. 219-233.
- [4] Mani J. K., Varghese A. O. Remote sensing and GIS in agriculture and forest resource monitoring //Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management. – Springer, Cham, 2018. – С. 377-400.
- [5] Dong T. et al. Using RapidEye imagery to identify within-field variability of crop growth and yield in Ontario, Canada //Precision Agriculture. – 2019. – Т. 20. – №. 6. – С. 1231-1250.
- [6] Segarra J. et al. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications //Agronomy. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 641.
- [7] Kasampalis D. A. et al. Contribution of remote sensing on crop models: a review //Journal of Imaging. – 2018. – Т. 4. – №. 4. – С. 52.

- [8] Wójtowicz M. et al. Application of remote sensing methods in agriculture //Communications in Biometry and Crop Science. – 2016. – Т. 11. – №. 1. – С. 31-50.
- [9] Xue J., Su B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications //Journal of sensors. – 2017. – Т. 2017.
- [10] Amalo L. F., Ma'rufah U., Permatasari P. A. Monitoring 2015 drought in West Java using Normalized Difference Water Index (NDWI) //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2018. – Т. 149. – №. 1. – С. 012007.
- [11] Mustafa M. T. et al. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques //International journal of research-granthaalayah. – 2017. – Т. 5. – №. 10. – С. 117-128.
- [12] Rugel E. J. et al. Beyond the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): developing a natural space index for population-level health research //Environmental research. – 2017. – Т. 159. – С. 474-483.
- [13] Bagherzadeh A., Hoseini A. V., Totmaj L. H. The effects of climate change on normalized difference vegetation index (NDVI) in the Northeast of Iran //Modeling Earth Systems and Environment. – 2020. – С. 1-13.
- [14] Berger A. et al. Predicting the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) by training a crop growth model with historical data //Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Т. 161. – С. 305-311.
- [15] Van Hoek M. et al. Early drought detection by spectral analysis of satellite time series of precipitation and normalized difference vegetation index (NDVI) //Remote Sensing. – 2016. – Т. 8. – №. 5. – С. 422.
- [16] Wang Q., Atkinson P. M. Spatio-temporal fusion for daily Sentinel-2 images //Remote Sensing of Environment. – 2018. – Т. 204. – С. 31-42.
- [17] Mazhitova G. Z. et al. Comprehensive Analysis of Natural Agricultural Potential of North Kazakhstan Region //Science, Ecology and Engineering Research in the Globalizing World. – 2018. – С. 504.
- [18] Pashkov S. V., Bajbusinova S. B. Prirodno-agrogennaya obuslovlennost' plodorodiya pochv Severnogo Kazakhstana //Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – Т. 23. – №. 2.

<sup>1,2</sup>М.А.Алпысбай\*, <sup>1</sup>А.З.Гаппаров

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

e-mail: marua.alpysbay@gmail.com

## МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ SENTINEL-2

**Аннотация.** В статье представлены вопросы мониторинга и анализа сельскохозяйственных угодий с помощью данных из космической съемки. В качестве основного материала исследования использовались снимки со спутника Европейского космического агентства Sentinel-2. Этот спутник предоставляет оптические данные, которые используются для многих сфер, такие как мониторинг за наводнениями, оползнями, пожарами, сельскохозяйственными культурами и т.д. В качестве объекта исследования использовался район Северной экономической зоны Казахстана, устье реки Есиль. Для выполнения мониторинга был использован вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), разъяснены основные принципы его применения. Изложен анализ полученного результата и в диаграммах показаны изменения вегетационного фона исследуемой территории. Были приведены специальные рекомендации для дальнейшего совершенствования методов исследования и обоснована его эффективность.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, Sentinel-2, дистанционное зондирование, мониторинг, вегетационные индексы, NDVI.

<sup>1,2</sup>M.A. Alpysbay\*, <sup>1</sup>A.Z.Gapparov

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: marua.alpysbay@gmail.com

### AGRICULTURAL LAND MONITORING USING SENTINEL-2 SATELLITE DATA

**Abstract.** The article presents the issues of monitoring and analysis of agricultural land using satellite imagery data. Images from the European Space Agency's Sentinel-2 satellite were used as the main research material. This satellite provides optical data that is used for many areas, such as monitoring for floods, landslides, fires, agricultural crops, etc. The area of the Northern Economic Zone of Kazakhstan, the mouth of the Yessil River, was used as the object of the study. The vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was used for monitoring, and the basic principles of its application were explained. The analysis of the obtained result is presented and the diagrams show changes in the vegetation background of the studied territory. Special recommendations were given for further improvement of research methods and its effectiveness was justified.

**Key words:** agriculture, Sentinel-2, remote sensing, monitoring, vegetation indices, NDVI.

<sup>1</sup>S.G. Nursultanova\*, <sup>2</sup>A.B. Yerbolat

<sup>1</sup>LLP «Smart Engineering», Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: g.saida@inbox.ru

## GEODYNAMIC REGIME OF FORMATION OF OIL AND GAS COMPLEXES IN THE ARYSKUM TROUGH

**Abstract.** Article discusses the conditions for the formation of oil and gas complexes (oil and gas play) in Aryskum trough. Geological and geophysical data of deep geological structure confirm that formation of sedimentary basin and lithological-stratigraphic complexes, oil and gas complexes (oil and gas plays) of Southern Torgay was influenced by the rift-induced geodynamic regime of oil and gas formation. The stages of rifting are divided: pre – rift, initial – formation (early Jurassic), middle – subsidence (early-middle Jurassic) and final (late Jurassic), which are associated with the formation of Jurassic productive horizons. The Cretaceous productive horizons were formed during the epirift stage. The rift mode of oil and gas formation assumes high warming of the subsurface and conditions for the migration and accumulation of hydrocarbons and confirms the prospects for searching for hydrocarbon traps in the Aryskum trough.

**Key words:** South Torgay, Aryskum trough, oil and gas complex (oil and gas play), rifting stage, graben – syncline, field, productive horizon.

South Torgay depression encompasses southeastern part of Torgay syncline and is a part of Turan plate. Rifting, covering initial and part of the main stage, occurred in the late Triassic-early Jurassic and up to the late Jurassic in three stages: initial - formation (early Jurassic), middle - subsidence (early - middle Jurassic) and final (late Jurassic). As a result of rifting, structure of South Torgay basin was formed. The depression consists of two troughs: Zhylanshik in the north and Aryskum in the south, separated by the Mynbulak saddle. [6,7].

There are three structural levels in the structure of the region:

- Lower heterogeneous folded basement composed of metamorphosed Proterozoic-Vendian and lower Paleozoic volcanogenic-sedimentary sediments that underwent Caledonian consolidation.

- Middle quasi-platform-composed of rocks of carbonate and terrigenous -carbonate formation of the Devonian-lower Carboniferous. Zone of increased level thicknesses (3 km or more) can be traced on the southwestern margin of Mynbulak saddle and in the western part of Aryskum trough in the juncture zone with Lower Syrdarya arch

- Upper platform level is subdivided into 2 structural stages: the Jurassic orogenic, filling rift-induced graben-synclines in the Zhylanshik and Aryskum troughs and the Cretaceous-Quaternary, deposits of which cover more ancient sedimentary complexes (sequences).

A feature of the Jurassic structural stage is its formation in exclusively intracontinental conditions, characterized by an active taphrogenic tectonic regime, which, in turn, led to the formation of narrow linearly elongated grabens expanding up the section along each rhythmic complex (sequence) of sediments and separated by basement highs.

Level of occurrence of the base of the Jurassic complex in graben-synclines reaches 5-6 km, decreasing on horst-anticlines to -1000 -1600 m.

Aryskum trough is complicated by numerous local structures.

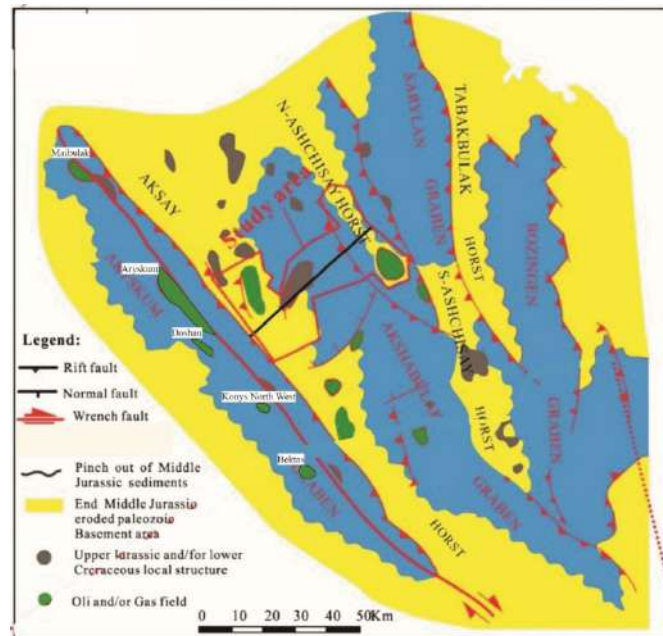
Most of the authors studying the South Torgay trough consider graben-synclinal components as structures of rift-induced origin, which formed at the beginning of the Jurassic period.

Rift-induced nature of graben-synclines emphasized by the stepped structure of basement surface, formed by faults, consedimentary to the structural layer. All graben synclines are

asymmetric. Steeper margins represent large amplitude steps that limit distribution of all or most of the lower part of the jurassic deposits.

According to G.Zh. Zholtayev, graben-synclines are hydrocarbon generation zones. Flattened margins are complicated by longitudinal, in some places transverse steps, controlling the spread of main rhythm-complexes (sequences) of Jurassic section and fragments. Horst anticlines (oil and gas accumulation zones) separating these structures are complicated by highs and troughs with a relatively small amplitude.[1,2].

In general, Arysium trough, as a structure of a thrust origin, fits into a wide band of discontinuous faults of Karatau deep fault (MKF).



**Pic. 1.** Structural division map of the Torgay Basin by composed Chenlin Hu

Arysium graben-syncline, located in the western part of Arysium trough, strikes northwest and stretches for more than 200 km with a width of 20-25 km. In the most submerged central part of the Arysium graben - syncline, the thickness of the sedimentary cover reaches 6000 meters. Rift basins similar to South Torgay basin are characterized by linear structural forms and their connection with long-lived deep faults.[10]

Within South Torgay (Arysium) trough, there are four largest grabens linearly elongated in the sublatitudinal direction - synclines of rift origin: Bozinger, Sarylansk, Akshabulak, Arysium, divided from each other by horst uplifts, called horst-anticline - Tabak-Bulak, Ashisay and Aksay (Fig.1). Axial part of Arysium graben-syncline is complicated by a large ruptured zone, which is a continuation of the Main Karatau fault (MKF). Amplitude of fault in the northwest reaches 2000 meters, decreasing to the southeast to 400 meters in the southeast. Northeastern slope of the graben-syncline is steeper than southwestern one. The fault crosses the entire section of the paleozoic and meso - cenozoic.[9] Group of anticlinal structures with which the Maibulak, Arysium, Konys, North-West Konys, and Bektas fields are associated is confined to it in inner part of the graben-syncline.

In the region, according to 3D seismic data, various regional and zonal benchmarks of reflecting horizons II<sup>1</sup>, IIa, III, IIIa, IV, Pz are confidently identified, with which regional oil and gas complexes (plays) are associated.



In the Ayskum trough, set oil and gas reservoir and shows in general have a clear stratigraphic association.

In the section of this major structural-tectonic element of the depression, three oil-and-gas bearing complexes are identified: the lower cretaceous (neocomian), the jurassic and the pre-mesozoic, formation of which is associated with the rift-induced stage of oil and gas formation.

Until recently, the pre-mesozoic oil and gas complex was not distinguished, since it was believed that it did not have its own generation potential, and oil and gas deposits in the upper, disintegrated part of the basement were considered secondary, formed as a result of the migration of hydrocarbons from the source rocks of the jurassic age.

However, the discovery of the Kenlyk field, confined to paleozoic carbonate formations, fundamentally changes existing ideas. In this connection, the paleozoic formations should be considered as an independent oil-and-gas-bearing basement complex.

It is associated with cavernous-fractured carbonate-terrigenous formations of the quasiplatform complex of the upper paleozoic. Accumulations of oil and gas associated with weathering residues along sediments of the paleozoic-proterozoic basement are quite frequent. Flow rates at individual structures are 5.49 m<sup>3</sup> / day at h din. - 1385.5 m, and at Kenlyk field up to 200 m<sup>3</sup>/day. This complex is characterized by the I-pre-rift stage. [3]

The jurassic petroleum complex is associated with three major sedimentation cycles corresponding to triassic-early jurassic, middle jurassic and late jurassic periods, which were formed in stages II- deposition, III- subsidence and IV-final (Fig. 2,3). Each of the cycles began with formation of coarse-clastic coarse-grained rocks and ended with the accumulation of predominantly clayey sediments. Up to 80% of the reservoir beds of the jurassic section, with which the main producing horizons are associated with the lower parts of the rhythmocomplexes (sequences).

The upper, predominantly clayey strata of the rhythmocomplexes plays a role of a zonal cap rock.

The late triassic – jurassic sedimentation was generally dominated by lacustrine sediments. Riverbed sediments were also widespread, especially in the early and middle jurassic, with a clear predominance of lake and floodplain clay deposits.[5]

Producing horizons are composed of interbedded sandstones, siltstones, and clays. Shallow depths of productive(producing) strata caused the presence of weakly cemented, up to loose, reservoirs. Reservoir rocks are of the granular type and are represented by sandstones, sands, and siltstones.

The complex consists of three subcomplexes: the lower, lower-middle and the upper jurassic, each of which is composed in the lower part of more coarse-grained rocks with numerous horizons in sandy reservoirs, and in the upper part of clay strata that are impermeable. The lower oil and gas subcomplex stratigraphically covers two formations: sazymbai and aibaly, represented, by sand-conglomerate and silt-sand-mudstone strata.

To date, it contains producing horizons established within Ayskum graben-syncline at Doshan, Maibulak and other fields. At Doshan field the oil flow rate reached 22.1 m<sup>3</sup> / day.

At Maibulak field, producing horizons in lower jurassic sediments were also identified. Oil flow rates in these producing horizons vary from 14.4 m<sup>3</sup> / day to 73.4 m<sup>3</sup>/day.

Middle oil and gas subcomplex is confined to the strata stratigraphically uniting the sediments of the doshan and karagansai formations. The first one is mainly represented by sandstones with rare interbeds of mudstones, and the second one is overwhelmingly composed of clay sediments, defined mainly by mudstones.

In some cases, they, acquiring a thin stratification and fracturing, can act as reservoirs similar to Bazhenov formation of West Siberian oil and gas province. This petroleum complex is established in Ayskoe, North West Konys, Doshan, Maibulak and other fields.

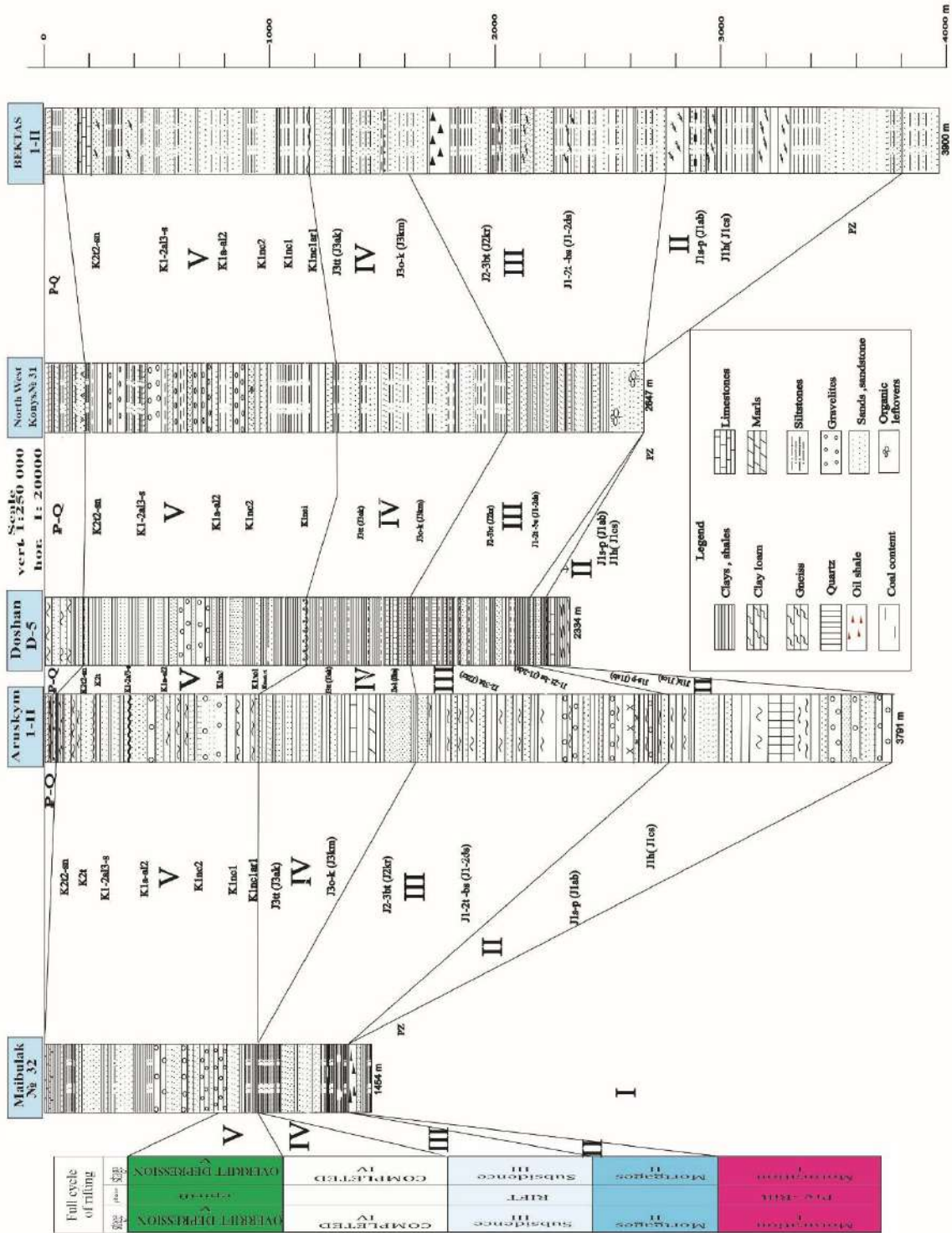
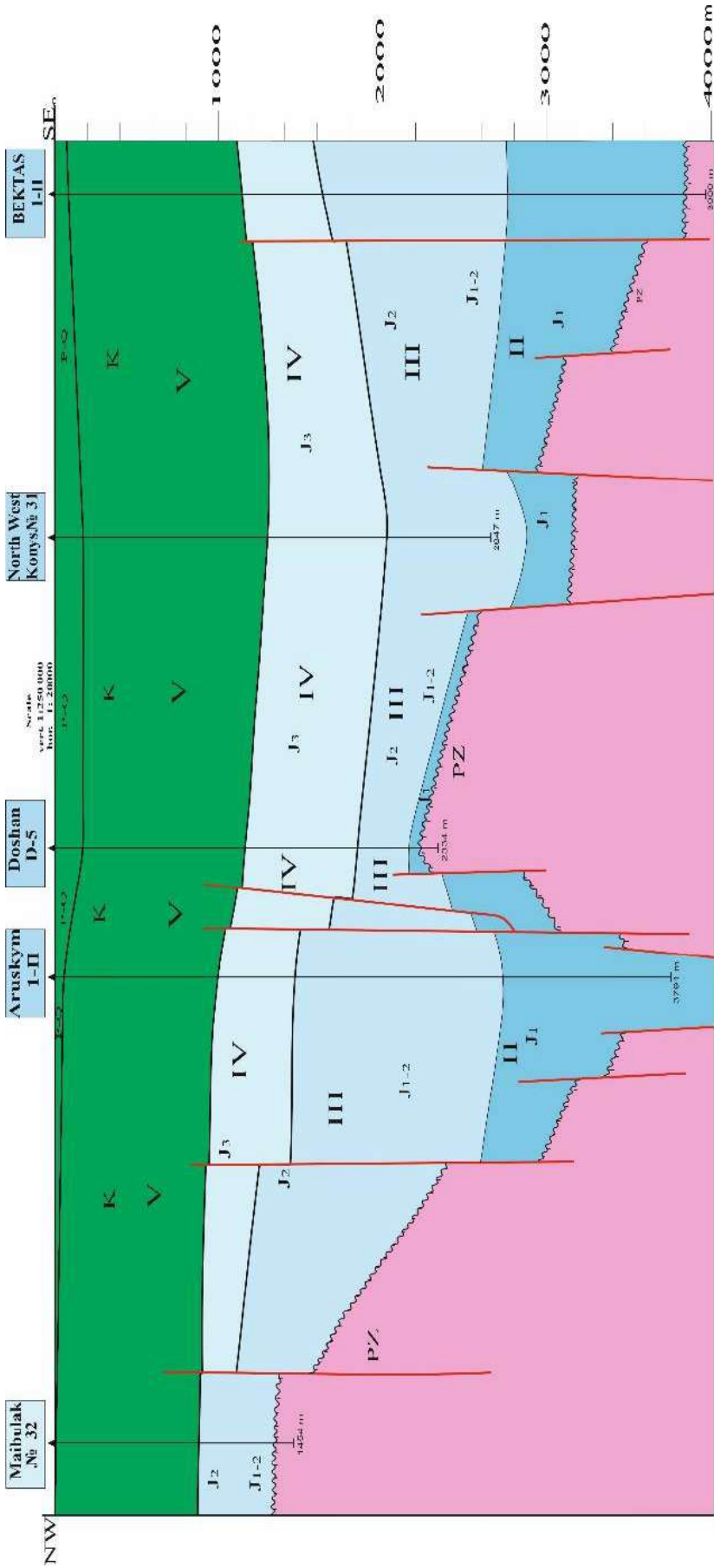


Fig. 2. Correlation scheme the wells 32(Maibulak) ,1-P( Aruskym ) , D-5 (Doshan) , 31 (North West Konyas) , 1-P (Bektas) by composed Yerbolat A.B.



Development stages: I-Maturation (pre-rift); II- mortgages; III - subsidence (rift);  
IV-completed ; V-overrft depression (epirift).

**Fig. 3** - Regional geological and geophysical profile of the Arysium trough by composed

At the Maibulak field, producing horizons J-IV, J-V, J-VI, J-VII, J-VIII are confined to the middle jurassic deposits. Oil flow rate vary from 16.75 m<sup>3</sup>/day to 139.9 m<sup>3</sup> / day.

In North West Konys field, according to the LOG data reservoirs of the J<sub>2kr</sub> oil horizon are oil-saturated.

The upper oil and gas subcomplex is confined to the upper jurassic strata, composed of sandy-siltstone and clay-mudstone members of the Kumkol and Akshabulak formations. Overlying the Cretaceous sediments in full stratigraphic volume and paleogene sediments with a total thickness of 700 to 1700 m act as a seal for both this sub-complex and all other productive parts of the jurassic formations.

The upper jurassic terrigenous reservoirs are associated with producing horizons J-0 (subdivided into subhorizons J-0-0, J-0-1, J-0-2, J-0-3, J-0-4), J-I, J -II, J-III. Oil and gas content of the sub-complex was determined at Kumkol, Aryskum, Nuraly, Aksai, Kyzylkiya, Akshabulak, Maibulak, Konys, Khaikeldy Severny, Doshan South and Bektas fields, etc.

In these producing horizons at Aryskum field, the flow rates range from 20.26 m<sup>3</sup>/ day to 177.5 m<sup>3</sup> / day.

At North West Konys field, the following deposits were identified: structural - stratal, fault-bounded and non-structural, associated with channel sediments. Productivity of the channel horizons has been proven by well testing. Oil flow rates vary from 24.95 m<sup>3</sup> / day to 74.8 m<sup>3</sup> / day.

Outside the channel zone, during well-testing reservoir, an oil inflow with a flow rate of 15.3 m<sup>3</sup>/day to 30 m<sup>3</sup>/day was obtained.

Cretaceous oil and gas complex is widely developed within the South Torgai basin. It was formed in V – epi- rifting stage. Producing horizons are composed of interbedded sandstones, siltstones and clays. Shallow depths of the producing strata led to the presence of poorly cemented, up to loose, reservoirs. Rocks - reservoirs are of the granular type and are represented by sandstones, sands and siltstones

Oil and gas content of the M-II horizon (spatially coincides with the halo of productivity of the upper jurassic complex, which may indicate formation of cretaceous oil pools due to vertical migration of hydrocarbons). Oil and gas content of this complex is proved by discovery of commercial oil and gas accumulations at fields of Kumkol, Aksai, Kyzylkiya, Nuraly, Doshan, Kenlyk, Aryskum, Konys, Arysskoe, Bektas, Konys, Konys North-West, South Doshan and many others.

In its strata, producing horizons M-0, M-I, M-II, which, in turn, are subdivided into subhorizons and are confined to the daul formation, are identified. In addition, the producing horizons - K1a+a2 , K1-2a3-c, which are associated with aptian-albian and albian-cenomanian fields, were identified in South Doshan field.

The clayey rocks of the lower daul formation of the lower neocomian serve as the regional cap rock for the productive horizons.

Regional cap rock for producing horizons is a member of clayey rocks of the lower daul formation of the lower neocomian.

Seal rock are the dark gray mudstone strata separating them.

At Aryskum field in M-II producing horizon oil flow rate is 26 m<sup>3</sup> / day, and at the North West Konys field - from 12.8 m<sup>3</sup> / day to 73 m<sup>3</sup>/day and at Bektas field-from 4.6 m<sup>3</sup> / day to 33.4 m<sup>3</sup>/day , gas flow rate from the M-3 oil and gas horizon reaches 39.31 thousand m<sup>3</sup> / day.).

**Conclusion.** Summarizing the above it can be noted that rifts and the process of their development play an important role in formation of oil and gas basins. Rifting controls the processes of oil and gas formation and oil and gas accumulation and the patterns of distribution of hydrocarbon accumulations. In Aryskum trough, the producing horizons of the lower and middle jurassic sediments were formed during stages of rift evolution, and the upper jurassic and cretaceous in the final stage of the development of the rift and in the plate stage.

It can be noted that positive factors of the petroleum potential in the study area are:

1. Presence of deeply submerged parts of the Jurassic section (Aryskum graben-syncline), which serve as hydrocarbon generation zones;
2. Discovering fields in the rifting zone of petroleum formation, which presupposes a high temperature of the earth interior and conditions for the migration and accumulation of hydrocarbons;
3. Presence of extended tectonic faults, which are both seals for traps of hydrocarbons, and migration routes from underlying sediments, zones of decompaction of rocks and improvement of their reservoir properties.
4. Presence of reservoirs and cap rocks in the section;
5. Prospects for the discovery of layer-uplifted fault-bounded fields in the Cretaceous and Jurassic horizons and non-structural deposits in paleochannels.

#### REFERENCES

- [1]. Zholtaev G.Zh., Paragulgov T.Kh. et al. Geology of oil and gas bearing areas of Kazakhstan (Geology and oil and gas bearing capacity of South Turgay). – Almaty. -1998.
- [2]. Zholtaev G.Zh. et al. Tectonic development and oil and gas bearing capacity of South Turgay basin. – Almaty. - 2004.
- [3]. Votsalevsky E.S., Kuandykov B.M., Bulekbayev Z.E. et al. Oil and gas fields of Kazakhstan: Handbook. – 3-pub. -Almaty. - 2005.
- [4]. Nursultanova S.G, Zhetpisbayev E.. Prospects of oil and gas potential of the Pre-Jurassic deposits of the South Turgai trough // VESTNIK KazNRTU (№. 3.)-2013 -pp. 12-15.
- [5]. Zhao Lun, Chen Li, Zhang Xiangzhong et al. Influences of delta sandstone architecture on waterflooding sweep characteristics: A case study of layer J-II of Kumkol South oilfield in South Turgay Basin, Kazakstan // Online English edition of the Chinese language journal -2017. -44. -3. pp.437–445.
- [6]. Report on research work 21. N Geodynamic conditions for the formation of oil and gas complexes of rift zones of Northern Ustyurt and Eastern Kazakhstan. – Almaty. -2005. .
- [7]. Juye S., Zhijun J., Tailiang F., Quanyou L. et al. Sequence development, depositional filling evolution, and prospect forecast in northern Aryskum depression of South Turgay basin, Kazakstan// Energy Exploration & Exploitation.-34. – 4.- pp 621- 642.
- [8]. Paragulgov T. H. Riftogenic and subduction mechanisms of oil and gas formation and their relations in the lithosphere // Geologiya i razvedka subsurface resources of Kazakhstan. -1996. №. 5-6.-pp. 34-39.
- [9]. Paragulgov T. X, Paragulgov Kh. Spatio-temporal manifestation of mesozoic riftogenesis and oil and gas potential of the Torgai trough // Geology and exploration of the subsoil of Kazakhstan.-1996. - №. 3.- pp. 15-22.
- [10]. Ozdov S. M., Rabkin F. E. Rif structures a new promising direction of oil and gas exploration (the Aral-Caspian and South Torgay regions of Kazakhstan ) // Geology of Kazakhstan.-1996. - №. 2.- pp.47-52.

<sup>1</sup>С.Г. Нұрсұлтанова\*, <sup>2</sup>А.Б. Ерболат

<sup>1</sup>ЖШС “СМАРТ Инжиниринг”, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: g.saida@inbox.ru

#### ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ РЕЖИМІДЕ АРЫСКҰМ ОЙЫСЫМЫНДАҒЫ МҰНАЙ-ГАЗ КЕШЕНДЕРІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

**Андатпа.** Мақалада Арыскұм ойысымындағы мұнай-газ кешендерінің (мұнай-газ қабатын) қалыптасу шарттары қарастырылады. Терең құрылымның геологиялық- геофизикалық деректері Оңтүстік Торғай шөгінді бассейні мен литологиялық-стратиграфиялық кешендерінің, мұнай-газ кешендерінің (мұнай-газ қабаттарының) қалыптасуы мұнай-газ түзілуінің рифтогендік геодинамикалық режимінің әсерінен болғанын растайды. Рифтогенез кезеңдері бөлінеді: рифтка

дейінгі, бастапқы – қалыптасу (төменгі юра), ортаңғы – шөгү (төменгі – ортаңғы юра) және соңғы (жоғарғы юра), олар юра өнімді горизонттарының қалыптасуымен байланысты. Бор өнімді горизонттары эпирифтік кезеңде қалыптасқан. Мұнай-газ түзілуінің рифтогендік режимі жер қойнауының жоғары жылынуын және көмірсутектердің орын аустыруы мен жинақталуы үшін жағдайларды болжайды және Арысқұмның ойысымында көмірсутек тұтқыштарын іздеу перспективаларын растайды.

**Негізгі сөздер:** Оңтүстік Торғай, Арысқұм ойысымы, мұнай –газ кешені (мұнай –газ қабаты), рифтогенез сатылары, грабен-синклиналь, кен орын, өнімді горизонт .

<sup>1</sup>С.Г. Нурсултанова\*, <sup>2</sup>А.Б. Ерболат

<sup>1</sup>ТОО “СМАРТ Инжиниринг” ЖШС, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: g.saida@inbox.ru

### ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРЫСКУМСКОГО ПРОГИБА

**Аннотация.** В статье рассматриваются условия формирования нефтегазовых комплексов(нефтегазоносного пласта) в Арысқұмском прогибе. Геолого-геофизические данные глубинного строения подтверждают, что формирование осадочного бассейна и литолого-стратиграфических комплексов, нефтегазовых комплексов (нефтегазоносных пластов) Южного Торғая происходило под влиянием рифтогенного геодинамического режима нефтегазообразования. Выделены этапы рифтогенеза: дорифтовый, начальный – заложения (ранняя юра), средний – проседания (ранняя – средняя юра) и завершающий (поздняя юра), с которыми связано формирование юрских продуктивных горизонтов. Меловые продуктивные горизонты сформировались в эпирифтовую стадию. Рифтогенный режим нефтегазообразования предполагает высокую проретость недр и условия для миграции и аккумуляции углеводородов и подтверждает перспективы поисков ловушек углеводородов в Арысқұмском прогибе.

**Ключевые слова:** Южно-Турғай, Арысқұмский прогиб, нефтегазовый комплекс (нефтегазоносный пласт), этапы рифтогенеза, грабен –синклиналь, месторождение, продуктивный горизонт.

**Д.Б. Якупова\*, М.Т. Берлигужин**  
Казан федералдық университеті, Казан, Ресей  
\*e-mail: yakupova\_j@mail.ru

## **ҚАЗАҚСТАННЫҢ ФАНОРОЗОЙ ДӘУІРІНДЕГІ ОМЫРТҚАЛЫЛАРДЫҢ ҚАЗБА ҚАЛДЫҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ ТАРИХЫ**

**Андатпа.** Батыс Қазақстан аумағында кайнозой дәуіріндегі омыртқалы жануарлардың палеонтологиялық қалдықтарын (кеш миоценнен голоценге дейін) зерттеу тарихы XVIII ғасырға жатады. Өткен ғасырлардағы зерттеулер бойынша ондаған палеонтологиялық қалдықтардың орналасқан жерлері ашылды, ол орналасқан жерлерден қаңқалар, бас сүйектер, тістер, омыртқалар сияқты құнды палеонтологиялық материалдар жинақталды. Қазақстандағы бор дәуіріндегі бауырымен жорғалаушыларды зерттеу XIX ғасырдың соңғы жүз жылдығында басталды. Ихтиозаврлар мен плезиозаврлар барлық ерте бор дәуірі мен сеномандарға тән, себебі олардың қалдықтары сол кезеңдерде көп табылған. Жер бетіндегі бауырымен жорғалаушылар — архозаврлар (негізінен динозаврлар, сирек қолтырауындар мен птерозаврлар) және тасбақалар — неокомадан сенонға дейін белгілі болғанымен, кеш бор дәуірінің алғашқы жартысында басым болды.

Мақалада Қазақстан аумағындағы кайнозой дәуірінің ірі сүтқоректілері мен мезозой дәуірінің бауырымен жорғалаушыларының зерттеу тарихы негізге алына отырып XVIII ғасырдың алғашқы зерттеу жұмыстарынан бастап қазіргі уақытқа дейінгі аралық қарастырылған.

**Негізгі сөздер:** Батыс Қазақстан, ихтиозавр, кайнозой, мезозой, омыртқалылар, палеонтологиялық қазбалар, ундорозавр.

19 ғасырдың аяғынан бастап геологтар, палеозоологтар және палеонтологтар Қазақстан аумағындағы жануарлар мен өсімдіктердің қазба қалдықтарын анықтап, зерттеді. Континентальды кеш палеозой, мезозой және кайнозой шөгінділерімен байланысты палеонтологиялық нысандар ерекше елеулі және маңызды болып табылады.

Палеонтологиялық зерттеулерді П.А.Тлеубердина жоғары деңгейде сипаттап, жүйелеп, талдау жасаған [1-3]. Қазақстанда жануарлардың қазба қалдықтарының 800-ден астам орны табылды және жойылып кеткен омыртқалы жануарлардың 600-ге жуық түрі сипатталған [1].

Батыс Қазақстан аумағында кеш кайнозойдың ірі сүтқоректілерінің қазба қалдықтары өте жиі кездеседі, бірақ біркелкі емес. Көбінесе оларды құмды таяз жерлерде, өзен террасаларында кездестіруге болады. Палеонтологиялық қалдықтардың табылған орындарының уақыт аралығы кеш миоценнен голоценге дейін созылады. Табылған жерлердегі ең көп кездесетіні-орта және кеш плейстоцен сүтқоректілері.

Батыс Қазақстан аумағында плейстоцен кезеңіндегі тұяқты жануарлардың алғашқы ғылыми деректері XVIII ғасырға жатады. Әдеби деректер бойынша Урал өзенінде (Жайық өзені) жануарлардың ірі қазба қалдықтарының болуы П.С. Палластың (1786) саяхатынан бері белгілі болған, бұл алғашқы бизондар мен мамонттардың сүйектері Индер ауылы маңында Орал өзенінің (Жайық өзені) жағалауларынан жиі жуылатындығын көрсетеді.

1901 жылы Казан университетінің профессоры А.А. Штукенберг "Орынбор ғылыми мұрағат комиссиясы мұражайының плиоценнен кейінгі жануарларының қалдықтары" мақаласында *Elephas sp* сүйектерінің табылғанын атап өтті. Бұдан әрі Орынбор облысының, Қазақстанның Орал (Батыс Қазақстан облысы) және Торғай (Ақтөбе облысы) облыстарының әртүрлі жерлерінде табылған жақсы сақталған молярлар, бірнеше мамонттардың мүйіз сүйектері, омыртқалар және *Elephas primigenius* (Blum) бас сүйектерінің сынықтары туралы хабарлады. Табылған палеонтологиялық қалдықтар қазіргі уақытта Алматы қаласындағы Қазақстанның Орталық мемлекеттік мұражайында сақтаулы.

1917 жылға дейін Қазақстанда плейстоцен кезеңінде тұяқты жануарлардың қалдықтарының табылуы кездейсоқ сипатта болды, ғылыми хабарламалар аз болды, алайда сол уақытта тақ және жұп тұяқты ірі сүтқоректілердің: сібір элосмотериясы (Черский, 1891), жүнді мүйізтұмсық, жылқы, солтүстік бұғы, алып бұғы, бұлан, бизон және алғашқы турдың (Штукенберг, 1900; Pavlova, 1906 және т.б.). жекелеген элементтері табылғаны белгілі.

Қазақстан аумағында кеш кайнозойдағы тұяқты жануарларды зерттеу бойынша алғашқы деректерді В.А. Теряев (1929), Ю.А. Орлов (1930), Н.Г. Кассин (1931), В.И. Громова (1932, 1935), Е. И. Беляева (1935), В. И. Громов (1948), Н. К. Верещагина және И.М. Громов (1952) Н. И. Бурчак-Абрамович (1953) және т. б. жариялады [4].

Қазақстанда палеонтология бойынша жүйелі зерттеулер 1946 жылы басталды. Қ.И. Сәтпаев пен В.С.Бажановтың бастамасымен Қазақ КСР ҒА Зоология институтында палеобиология зертханасы ұйымдастырылды. Қазақстандық палеонтологтар Ақеспе (Солтүстік Арал), Шынтөзсай, Қараторғай, Шалқар теңіз, күшік (Торғай жырасы), мың ескі сүйек, Қызылқия, Шах-шах, Жәйрем, Астазансор (Орталық Қазақстан), "Қаз ұшағы", Жайсаң ойпаты және басқа да 50-ден астам жануарлар мен өсімдіктер қазбаларын тауып, зерттеді. Олар жойылып кеткен омыртқалылардың 600-ден астам түрінің қалдықтарын тауып, олардың дамуының маңызды кезеңдерін анықтады [5].

Қазақстанның батыс бөлігіндегі жануарлардың қазба қалдықтарын Ресей мен Қазақстан ғалымдары олардың өмір сүруінің әртүрлі кезеңдерінде тапқан. Ақтөбе облысының Сегізсай кентінің маңында тарихи-өлкетану мұражайының қызметкерлері (1981) *Perissodactyla: Elasmotherium sibiricum* Fisch тапты. (Бурчак-Абрамовичтің анықтамасы). Аталған топтама Ақтөбе қаласының тарихи-өлкетану мұражайында сақтаулы. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (ерте неоплейстоцен) жатады. Каир бекетіне жақын жерден Б.С.Бажанов пен М.Д.Бирюков *Proboscidea* тапты: *Archidiskodon trogontherii* Pohlig (К.Жылқыбаевтың анықтамасы). ҚР БҒМ Зоология институтында палеозоология зертханасында сақтаулы. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (ерте неоплейстоцен) жатады.

Маңғыстау облысында Маңғышлақ түбегінің маңында, Александровский бекінісінен шығысқа қарай 25 км жерде, Ханга-баба, құдық қазу кезінде, 4 м тереңдікте Т.И.Серегин 1921 жылы *Proboscidea: Mastodon arvernensis* Cr et Job. тапты. Палеонтологиялық қазба қалдық РҒА (Мәскеу) палеонтологиялық институтында сақтаулы. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (эоплейстоцен) жатады.

Батыс Қазақстан облысында Жайық өзенінің жағасына жақын жерде М.В. Павлова *Perissodactyla: Elasmotherium sibiricum* Fischer (Павлованың анықтамасы) тапты. Осы жерден алынған жинақ МГРН мұражайында (Мәскеу) сақтаулы. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (ерте неоплейстоцен) жатады. Желаев, Щапов және Январцево ауылдарының маңында К.Ж. Жылқыбаев *Proboscidea: Archidiskodon wusti* (Pawlov) тапты. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (ерте неоплейстоцен) жатады. ҚР БҒМ Зоология институтында палеозоология зертханасында сақтаулы. Орал өзенінің сол жағалауында (Жайық өзені) Дарьинск ауылы маңынан Н. К. Верещагина, Н.М. Парфенова, В. А. Фоканова (1953) *Proboscidea: archidiskodon wüsti* (Верещагинаның анықтамасы) бойынша *Elaphas trogontherii*; *Perissodactyla: Elasmotherium sibiricum* Fisch тапты. (Верещагинаның анықтамасы). Осы жерден алынған жинақ ЗИН РАН-да сақталған. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (эоплейстоцен) жатады. Индер көлінен солтүстік-батысқа қарай 12 км жерде М.В. Павлова (1939) *Perissodactyla: Elasmotherium sibiricum* Fisch табылды. (Дампель анықтамасы). Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (эоплейстоцен) жатады [6].

Н. Г. Кассин (1947) *Elaphas primigenius*, *Bos* sp палеонтологиялық қазбалар рис және рис-вюрм дәуірінің басқа қазба сүтқоректілері туралы айтады. Алматы қаласындағы төрттік түзілімдердің үшінші террасасының шөгінділерінде, қиыршық тастардан, құмдардан, саздақтардан және лес саздақтарының жоғарғы бөлігінен тұрады. Қазақстанның батысында



Хвалын трансгрессиясының шөгінділерінде *Elephas antiquus*, *Equus caballus* сүйектері кездеседі [7].

Жоғарыда көрсетілген жұмыстардан басқа осы кезеңде Батыс Қазақстан облысының кайнозой шөгінділерінде кездесетін ежелгі сүтқоректілердің жиынтық кешендері ғана келтірілген көптеген жарияланымдар жарық көрді. Мысалы, Орал өзенінде (Жайық өзені) үлкен құмдар (Богатый кентінен оңтүстікке қарай 62 км) және кіші құмдар (Нижней кибылысы) ҚР БҒМ Зоология институтының палеозоологы К.Ж.Жылқыбаев (1977) Proboscidea туыстық құрамы: *Mammuthus*; *Perissodactyla*: *Equus caballus fossilis*, *Equus hemionus*, *Equus hydruntinus*, *Coelodonta antiquitatis*; *Artiodactyla*: *Camelus knoblochi*, *Camelus sp.*, *Megaloceros giganteus giganteus*, *Cervus elaphus*, *Alces alces*, *Rangifer tarandus*, *Bison priscus gigas*, *Bison Priscus megiator*, *Saida tatarica*, *Gazella subgutturosa*, *Ovis ammon*; *Carnivora*: *Felis spalaea*, *Spelacarcos rossicus*, *Meles meles*, табылды (Б.С.Қожамқұлованың анықтамасы). Аталған топтама ҚР БҒМ Зоология институтында сақтаулы. Табылған палеонтологиялық қалдық кайнозойға (орта-кеш неоплейстоцен) жатады [1].

Қазіргі уақытта табиғат және экология мұражайында, Батыс Қазақстан тарихи-өлкетану мұражайының филиалында (Орал қ., Қазақстан) және "Орал обаға қарсы күрес станциясы" РММ мұражайында (Орал қ., Қазақстан) сақталған сипатталмаған төмендегідей остеологиялық материалдар бар: *Mammuthus* тобынан өтпелі пілдің төменгі жақ сүйегі. *Trogontherii chosaricus* соңғы МЗ ауысымының тістері бар (№2100 в ТжЭМ); *Coelodonta antiquitatis* жүнді мүйізтұмсықтарының екі бас сүйегі (ТжЭМ); сібір эламотериясының бас сүйегі *Elasmotherium sibiricum* (ТжЭМ); үлкен бұғының екі бас сүйегі *Megaloceros giganteus* (ТжЭМ және "Орал обаға қарсы күрес станциясы" РММ музейі); бизонның үш бас сүйегі (олардың бірі *Bison priscus priscus* (ТжЭМ) және *B. priscus priscus*, *Bison priscus mediator* "Орал обаға қарсы күрес станциясы" РММ музейі); *BOS primigenius* түр бұқасының бас сүйегі) (ТжЭМ).

Сондай-ақ геологиялық барлау жұмыстары кезінде Орал қаласының маңындағы Желаяев ауылынан және Жайық өзенінің жайылмасында Яик ауылынан 2019-2020 жылдары аллювиалды шөгінділерде *Archidiskodon [Elaphas] meridionalis gromovi* Оңтүстік пілдің молярлары түріндегі остеологиялық материалы табылды. Бұл жұмыстың нәтижелері Берлигужин М.Т., Якупова Д.Б., Ахмеденов К.М. "Батыс Қазақстанда *Archidiskodon meridionalis gromovi* оңтүстік пілінің тістерін табу туралы" жарияланымында көрініс тапты [8].

Қазақстандағы мезозой дәуірінің рептилияларын зерттеу тарихы ХІХ ғасырдың соңында басталады. 1897 жылы А.Н. Рябинин Орал-Чарджоу маршруты бойынша гидрогеологиялық зерттеулерді орындау үшін Қазақстанға жіберілді, сол кезде ол бауырымен жорғалаушылардың қазба қалдықтарын жинады. Оның "Каспий даласының төменгі бор кезеңінен шыққан динозавр омыртқалары" (1931) еңбегінде Кой-Кара тауынан, Гурьев губерниясы (Атырау облысы), Орал губерниясының (Батыс Қазақстан облысы) Ембі өзенінің төменгі ағысының бассейнінен табылған омыртқалар *megalosauridae* тұқымдасына жатады. Бұл омыртқаларды Рябинин А.Н орналасқан жері бойынша Ембі өзенінің төменгі ағысы *Embasaurus minax n.g.n.sp* атауын ұсынады [9].

1952 жылы мамыр айында Щучкино кентінің жанындағы Таловка шатқалында жергілікті тұрғындар қазба сүйектерін тапты. Барлау жұмыстарын ҚазКСР ҒА Зоология институтының қызметкерлері, содан кейін – КСРО ҒА ИЕТ палеонтологтары жүргізді. Таловка шатқалының сол жағында, жоғарғы юра (Еділ қабаты) шөгінділерінде үлкен плиозаврдың бүкіл қаңқасы бар екендігі анықталды [10].

2019 жылы Ефимов В.М., Ахмеденов К.М., Якупова Д.Б. "Қазақстан Республикасының орта Еділ шөгінділерінен шыққан *Undorosauridae* тұқымдасының жаңа өкілі" [11] мақаласы жарияланды, онда *Undorosauridae* және *Kazakhstanosaurus* морфологиясындағы елеулі айырмашылықтар айқын көрсетілген. Қазба жұмыстары кезінде ихтиозаврдың бас сүйегінің, иық белдеуінің, алдыңғы және осьтік қаңқасының едәуір мөлшері табылды. Қаңқалардың

қалдықтары Бүкілресейлік палеонтологиялық қоғамның Ульяновск бөлімшесіне камералық өңдеуге және анықтауға жеткізілді және зерттеу нәтижелері бойынша ихтиозаврлар тұқымдасының *Undorosauridae* В.Ефимов 1999 жаңа түріне жатқызылды. Түр сипатталды және *Kazakhstanosaurus shchuchkinensis* Efimov, Akhmedenov et Yakupova, 2020 атауы берілді [11].

Табылған палеонтологиялық қалдықтардың сипаттамасына сәйкес [11] ихтиозавр сүйектерінің бас сүйегі: негізгі сына тәрізді сүйек, сол жақ оксипитальды, шаршы, сублингвальды, оң жақ орбитальды, сол жақ зигоматикалық фрагмент, төртбұрышты зигоматикалық фрагмент ұсынылған. Оң жақ квадрат-зигоматикалық, мұрын, префронтальды, постфронтальды сүйектер, оң канат тәрізді процестің фрагменті, палатиндік фрагмент, тіс, үстілік сүйегі, қабыршақты сүйек. Иық белдеуінің сүйектерінен тұмсық тәрізді сүйектер, оң жақ скапула және сол жақ клавикуланың фрагменті сақталған. Сол жақ алдыңғы аяқта гумерус, радиус, ульнар, аралық, фалангалар бар I саусақ (сегіз дана), II саусақ (алты дана), III саусақ (алты дана), IV саусақ (бес дана), V саусақ (алты дана). Осьтік қаңқаның сүйектері он үш мойын омыртқасымен, екі пронебокальды омыртқалармен, жүйке доғалары бар спиналық процестердің бес фрагментімен және әр түрлі бөліктерден он бес қабырғамен ұсынылған.

*Kazakhstanosaurus shchuchkinensis* қаңқасының табылуы бүкіл жер шарының кеш мезозой ихтиозаврларының эволюциясындағы оқшылықты толтыруға мүмкіндік берді. Қазақстаннозавр, белгілі болғандай, бор кезеңі ихтиозаврларының арғы тегі.

Жақында Маңғыстау облысының Шетпе кентінде (2018) төменгі бор кезеңінен плезиозавр қаңқасының фрагменті табылды. Ірі кәсіпорынның қызметкерлерінің бірі жер копару жұмыстарын жүргізу кезінде біртүрлі пішіндегі үлкен сүйектерге тап болды. Санкт-Петербургтегі Ресей Ғылым Академиясының Зоология институтының қызметкерлері үлгілердің плезиозаврдың қалдықтары екенін растады, олар триас кезеңінен бор кезеңіне дейін өмір сүрген бауырымен жорғалаушылар тобына жатады (шамамен 199,6 — 65,5 миллион жыл бұрын). Ұзындығы 3,5 метр болатын 36 омыртқалар қазылды. Бұл мойын, каудальды омыртқалардың және дорсальды бөліктері. Табылған қазба қалдықтар қазіргі таңда Маңғыстау облыстық тарихи-өлкетану музейінің табиғат бөлімінде сақтаулы.

Тушыбек ауылы (Қазақстанның Маңғыстау облысы, Маңғыстау ауданы) маңынан ихтиозаврдың қаңқасы табылған жер (мамыр, 2019 ж.) Сұлулы Қапы шатқалында (Шетпе ауылынан батысына қарай 15 км), палеонтолог-әуесқой В. Ярцев жануарлар қаңқасының фрагменттерін тапқан. М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университетінің ғалымдары, Ресей палеонтологы В.М. Ефимовпен және Маңғыстау өлкетану мұражайының қызметкерлерімен бірлесіп ихтиозаврдың толық емес қаңқасын қазып алды. Сүйектер төменгі бор кезеңінің альбалық деңгейінің глауконитті алевролитіне жиналды. Қазба жұмыстары барысында бас сүйек, шаршы сүйек, тіс, атлас, 45 омыртқа, қабырға және жүйке доғаларының фрагменттері табылды. М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университетінің базасында сүйектер қоршаған жыныстардан тазартылып, су өткізбейтін ерітінділермен сіңдіріліп, олардан өлшеулер алынды. Омыртқалы денелердің биіктігі 100-134 мм, ені - 103-128 мм, қалыңдығы - 36-52 мм, атланттың мөлшері омыртқалардың мөлшерінен айтарлықтай ерекшеленеді. Атланттың қалыңдығы - 71 мм, биіктігі - 130 мм, ені - 121 мм құрады. 5 тіс жиналды, дөңгелек пішінді, өлшемі 60 мм-ге дейін, қуатты шаршы түбірі бар. Омыртқалар омыртқалы бағанның бірінші жартысында біркелкі емес амфицелиямен үлкен, сакрумда максималды мөлшерге жетеді. Қабырғалары қалың, екі басы бар, жотасы жоқ. Омыртқаның жота өсіндісі жоғары, соңында кең платформа бар. В.М. Ефимовтың анықтауы бойынша, ихтиозавр ерте бор дәуірінің Альб қабатында өмір сүрген *Platypterygius* тұқымдасына жатады [12].

200 жылдан астам уақыт ішінде фанерозой дәуіріндегі омыртқалы жануарлардың қазбаларын зерттеуде үлкен жұмыс жасалынды, онда жүйелері бойынша көптеген түрлері

анықталды, эволюцияның негізгі заңдары және кайнозой мен мезозойдың континентальды шөгінділерінің стратиграфиясы үшін үлкен маңызға ие.

Батыс Қазақстанның кайнозой және мезозой шөгінділерінен палеонтологиялық мұра бойынша неғұрлым толық ақпараттық деректер базасын жинауға мүмкіндік беретін іргелі ғылыми зерттеулерді жалғастыру қажет.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Местонахождения ископаемых позвоночных фанерозоя Казахстана. Отв. ред. П. А. Тлеубердина. Справочник для палеонтологов, геологов и биологов. - Алматы. - 2017. - 300 с.

[2] Tleuberdina, P.A, Forsten, A. Anchitherium (Mammalia, Equidae) from Kazakhstan, Central Asia // *Geobios*. Volume 34, Issue 4, 2001, P. 449-456. DOI: 10.1016/S0016-6995(01)80008-5.

[3] Tleuberdina P.A. Biodiversity and stratigraphic distribution of Gomphotheriidae in Eurasian (Kazakhstan) // *Scientific Annals.School of Geology. Aristotle University of Thessaloniki: VI-th International Conference on Mammoths and their Relatives.Grevena-Siatista.-Greece,2014.- Special volume 102.-P.201-202.*

[4] Кожамкулова Б.С. Позднекайнозойские копытные Казахстана // *Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. – С. 3-6.*

[5] Ископаемые животные. – Казахстан. Национальная энциклопедия. – Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005. – № 2.

[6] Каталог кайнозойских млекопитающих Казахстана / П.А. Тлеубердина, Б.С. Кожамкулова, Г.С. Кондратенко. – АН КазССР, Ин-т зоологии. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1989. – 157 с.

[7] Жылкибаев К.Ж. Древние слоны Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1975. - С. 48 -51.

[8] Берлигужин М.Т., Якупова Д.Б., Ахмеденов К.М. О находке зубов южного слона *Archidiskodon meridionalis gromovi* в Западном Казахстане // *Вестник ЗКГУ. - 2020. - №3. - С. 236-242.*

[9] Рябинин А.Н. Позвонки динозавра из нижнего мела Прикаспийских степей // *Записки Росс. Минералог. Об-ва. - 1931. - Ч. 60. - № 1. - С. 110-113.*

[10] Бажанов В.С. Относительно плиозавра и ихтиозавров из верхней юры Западного Казахстана. Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1958. - Т. 2. - С. 72-76.

[11] Ефимов В.М., Ахмеденов К.М., Якупова Д.Б. Новый представитель семейства *Undorosauridae* из средневожских отложений Республики Казахстан // *Вестник ЗКГУ. – 2019. - №4 (76). - С. 512-526.*

[12] Ефимов В.М., Силантьев В.В., Якупова Д.Б., Ахмеденов К.М. О первой находке остатков ихтиозавра в Мангистауской области Республики Казахстан // *Материалы LXV сессии ВПО. - Санкт-Петербург, 2020 г. - С. 239-240.*

#### REFERENCES

[1] Mestonahozhdeniya iskopaemyh pozvonochnyh fanerozoya Kazahstana (2017) Otv. red. P. A. Tleuberdina. Spravochnik dlya paleontologov, geologov i biologov [Locations of fossil vertebrates of the Phanerozoic of Kazakhstan. Ed. by P. A. Tleuberdina]. - Almaty. [in Russian].

[2] Tleuberdina, P.A, Forsten, A. Anchitherium (Mammalia, Equidae) from Kazakhstan, Central Asia // *Geobios*. Volume 34, Issue 4, 2001, P. 449-456. DOI: 10.1016/S0016-6995(01)80008-5.

[3] Tleuberdina P.A. Biodiversity and stratigraphic distribution of Gomphotheriidae in Eurasian (Kazakhstan) // *Scientific Annals.School of Geology. Aristotle University of Thessaloniki: VI-th International Conference on Mammoths and their Relatives.Grevena-Siatista.-Greece,2014.- Special volume 102.-P. 201-202.*

[4] Kozhamkulova, B.S. (1981) Pozdnekajnozojskie kopytnye Kazahstana [Late Cenozoic ungulates of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka [in Russian].

[5] Iskopaemye zhivotnye. – Kazahstan. Nacional'naya enciklopediya (2005) [Fossil animals. - Kazakhstan. National Encyclopedia]. Almaty. [in Russian].

[6] Katalog kajnozojskih mlekopitayushchih Kazahstana (1989) / P.A. Tleuberdina, B.S. Kozhamkulova, G.S. Kondratenko [Catalog of Cenozoic mammals of Kazakhstan / P. A. Tleuberdina, B. S. Kozhamkulova, G. S. Kondratenko]. Alma-Ata: Nauka KazSSR. [in Russian].

[7] Zhylykbaev, K.Zh. (1975) Drevnie slony Kazakhstana [Ancient elephants of Kazakhstan]. Alma-Ata: nauka [in Russian].

[8] Berliguzhin M.T., Yakupova D.B., Akhmedenov K.M. (2020) O nahodke zubov yuzhnogo slona Archidiskodon meridionalis gromovi v Zapadnom Kazakhstane [On the discovery of the teeth of the southern elephant Archidiskodon meridionalis gromovi in Western Kazakhstan]. Uralsk: Vestnik ZKGU. [in Russian].

[9] Ryabinin A.N. (1931) Pozvonki dinozavra iz nizhnego mela Prikaspijskih stepej [Vertebrae of a dinosaur from the Lower Cretaceous of the Caspian steppes]. Zapiski Ross. Mineralog. Ob-va. [in Russian].

[10] Bazhanov V.S. (1958) Otnositel'no pliozavra i ihtiozavrov iz verhnjej yury Zapadnogo Kazakhstana. [Concerning pliosaurus and ichthyosaurs from the Upper Jurassic of Western Kazakhstan]. Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR. [in Russian].

[11] Efimov V.M., Akhmedenov K.M., Yakupova D.B. (2019) Novyj predstavitel' semejstva Undorosauridae iz srednevolzhskih otlozhenij Respubliki Kazakhstan [A new representative of the family Undorosauridae from the Middle Volga deposits of the Republic of Kazakhstan]. Uralsk: Vestnik ZKGU. [in Russian].

[12] Efimov V.M., Silant'ev V.V., Yakupova D.B., Akhmedenov K.M. (2020) O pervoj nahodke ostatkov ihtiozavra v Mangistauskoj oblasti Respubliki Kazahstan [About the first finding of ichthyosaur remains in the Mangystau region of the Republic of Kazakhstan]. Sankt-Peterburg. [in Russian].

**Д.Б. Якупова\*, М.Т. Берлигузин**

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

\*e-mail: yakupova\_j@mail.ru

## ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗВОНОЧНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ФАНЕРОЗОЯ КАЗАХСТАНА

**Аннотация.** История изучения ископаемых позвоночных кайнозойской эры (от позднего миоцена до голоцена) на территории Западного Казахстана относятся к XVIII в. За прошедшее время открыты десятки их местонахождений, где собран ценный палеонтологический материал, в том числе скелеты, черепа. Изучение рептилий мела Казахстана началось в конце XIX столетия. Ихтиозавры и плезиозавры характерны для всего раннего мела и сеномана, с которым связано наибольшее число находок. Наземные рептилии — архозавры (преимущественно динозавры, реже крокодилы и птерозавры) и черепахи — известны с неокома по сенон включительно, но преобладают в первой половине позднего мела.

Рассмотрена история изучения крупных млекопитающих кайнозойской эры и пресмыкающиеся мезозойской эры на территории Казахстана, начиная от самых первых работ XVIII в. до настоящего времени.

**Ключевые слова:** Западный Казахстан, ископаемые, ихтиозавр, кайнозой, мезозой, позвоночные, ундорозавр.

**D.B. Yakupova\*, M.T. Berliguzhin**

Kazan federal university, Kazan, Russia

\*e-mail: yakupova\_j@mail.ru

## HISTORY OF THE STUDY OF VERTEBRATE FOSSILS OF THE PHANEROZOIC OF KAZAKHSTAN

**Abstract.** The history of the study of fossil vertebrates of the Cenozoic era (from the Late Miocene to the Holocene) in the territory of Western Kazakhstan dates back to the XVIII century. Since then, dozens of their locations have been discovered, where valuable paleontological material, including skeletons and skulls, has been collected. The study of the Cretaceous reptiles of Kazakhstan began at the end of the XIX century. Ichthyosaurs and plesiosaurs are characteristic of the entire Early Cretaceous and Cenomanian, which is associated with the largest number of finds. Terrestrial reptiles-archosaurs (mainly dinosaurs, less often crocodiles and pterosaurs) and turtles - are known from the Neocomian to the Senon inclusive, but predominate in the first half of the Late Cretaceous.

The history of the study of large mammals of the Cenozoic era and reptiles of the Mesozoic era on the territory of Kazakhstan, from the very first works of the XVIII century to the present time, is considered.

**Key words:** Cenozoic, fossil, ichthyosaur, Mesozoic, Undorosauridae, vertebrates, Western Kazakhstan.

**Т. Койшиев, З. Бекжан\*, А. Ерік**

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: zulfiya.bekzhan@gmail.com

## **ШАҒЫН ГЭС ОРНАЛАСТЫРУ СХЕМАСЫНЫҢ КАРТАСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТТІ ГИДРОРЕСУРСТАРДЫ БАҒАЛАУ**

**Андатпа.** Еліміздің көптеген аймақтарындағы шағын өзендердің гидроэнергетикалық ресурстары өте мол оны пайдалануға қатысты техникалық мәселелерді шешу, әдетте, су ағындарының әлеуетін жан-жақты және ұтымды игеру тұрғысынан қарастырылады. Шағын су электр станцияларының жұмыс істеу режимін ұтымды қалыптастыру үшін оның негізгі энергетикалық көрсеткіштерінің шамасын анықтау қажет және оның өзгеру шамасы сол пайдаланатын аймақтың климаттық факторларын ескере отырып анықтауды қажет етеді..

Шағын ГЭС-тің электр энергиясын өндірудің кез келген басқа тәсілі сияқты, белгілі бір артықшылықтар мен кемшіліктерге ие, сондықтан бұл мәселелерді жобалау жұмыс кезінде ескеруді қажет етеді..

Шет елдерінің шағын гидроэнергетикасының жалпы проблемаларын гидрологиялық режим мен шағын су ағындарының ағынын жеткіліксіз зерттеу және жабдықтардың сериялық өндірісінің болмауынан туындайды. Сондықтан шағын ГЭС-тің жобасын дайындау үшін алдын ала өзекті техникалық шараларды шешуді қажет етеді, дайындалған жұмыста осы мәселелер шешімін тапты.

Алматы, Түркістан облысы аймағында гидроэнергетикалық ресурстарды пайдалану өте тиімді, себебі облыстардың шалғай аймақтарын электр қуатымен қамтамасыз ету өзекті мәселердің бірі болып табылады.

Бұл аймақтағы су ағынының жылдамдығы 0,5 - 4 м/с болатын өзеннің жоғары жылдамдықты ағынын қолданатын қондырғылар шағын қуаттылықты еркін ағынды жылжымалы гидротурбиналық қондырғыларға айналуы мүмкін.

Соған байланысты жұмыста сол аймақтағы орналасқан шағын ГЭС-тердің нақты орындары, олардың өндіретін энергия қуаты анықталды және гидросу ресурстардың техникалық әлеуеті есептелінді. Жинақталынған мәліметтер бойынша шағын ГЭС-тердің орналасу карта-схемасы географиялық ендікке сәйкес жасалынды.

**Негізгі сөздер:** шағын ГЭС, гидроэнергетика, гидротурбина, техникалық әлеует, гидросу ресурстар.

Қазақстанның "жасыл энергетикаға" көшу тұжырымдамасында 2030 жылға қарай ГЭС есебінен елдегі электр энергиясының 10% өндіріледі деп көзделген. Қазіргі уақытта әлемнің көптеген елдерінде шағын гидроэнергетиканы дамытудың ұлттық бағдарламасы бар.

Шағын өзендердің гидроэнергетикалық әлеуетін пайдалану технологияларын жетілдіру және олар өндіретін электр энергиясының құнын біртіндеп төмендету нәтижесінде әлемнің көптеген дамыған және көптеген дамушы елдерінде оның үлесі тұрақты түрде еріп келеді.

Қазақстанда шағын гидроэнергетиканы дамыту бағдарламалары әзірленіп, жалпы энергетиканың осы саласына қолдау көрсетілуде [1,2].

Энергетиканы дамытудың 2021 жылға дейінгі стратегиясы жаңартылатын энергия үлесі 2,5% - ды құрауы тиіс, бұл жаңартылатын энергия, оның ішінде шағын энергия өсімінің төмен қарқынын айғақтайды. Кейбір сарапшылардың пікірінше, жеткіліксіз назар аз энергияға, органикалық отынның жеткілікті жоғары қорына деген көзқарастың стереотипімен анықталуы мүмкін.

Шағын өзендердің гидроэнергетикалық ресурстарын пайдалануға қатысты мәселелер, әдетте, су ағындарының әлеуетін жан-жақты және ұтымды игеру тұрғысынан

қарастырылады. Шағын су электр станциялары (ШСЭС), электр энергиясын өндірудің кез келген басқа тәсілі сияқты, белгілі бір артықшылықтар мен кемшіліктерге ие.

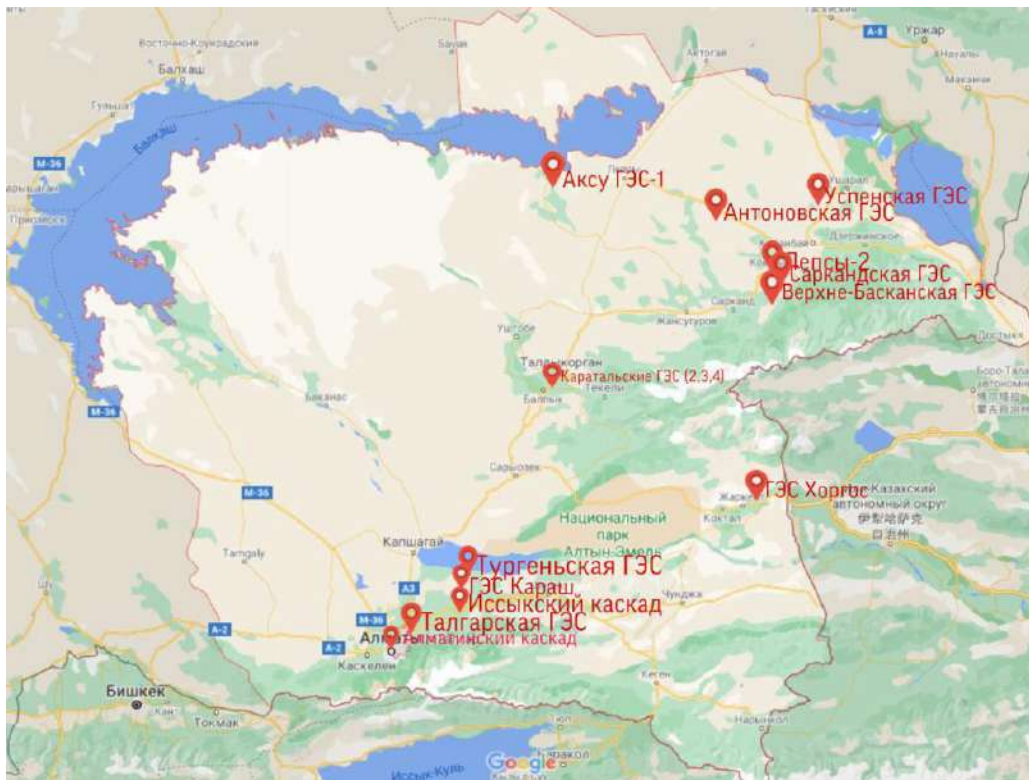
ТМД елдерінің шағын гидроэнергетикасының жалпы проблемаларын гидрологиялық режим мен шағын су ағындарының ағынын жеткіліксіз зерттеу және жабдықтардың сериялық өндірісінің болмауы деп санаған жөн.

Гидроэнергетикалық ресурстар Қазақстан аумағы бойынша біркелкі бөлінбеген. Негізінен шығыс және оңтүстік-шығыс өңірлерде шоғырланған. Солтүстік және Орталық Қазақстанда елдің әлеуетті гидроэнергетикалық ресурстарының тек 1,7% - ы ғана бар.

Қазақстан Республикасының (ҚР) қолданыстағы ГЭС қуаты - 2068 МВт, жылдық қуаты 8,32 млрд кВт электр энергиясын өндіреді. Гидроресурстарды бірнеше ірі және орта станциялар пайдаланады. Алайда шағын гидроэнергетиканың айтарлықтай әлеуеті бар [3,4].

Республикада ұзындығы 10 км - ден асатын 2174 өзен бар, олардың жалпы ұзындығы 83,2 мың км - ден асады, ұзындығы 10-нан 50 км-ге дейінгі өзендер саны 1889 (86,9%), 50-ден 100 км-ге дейін-130 (6%), 100км-ден астам-155 (7,1%) құрайды. Осылайша, өзендердің 90%-ы шағын санатқа жатады, бұл оларды шағын гидроэнергетика қажеттіліктері үшін пайдаланудың экономикалық орындылығын анықтайды. Қазақстанда көптеген ШСЭС жұмыс істеді.

Біз Алматы және Түркістан облыстары үшін ШСЭС орналасу схемасының карталарын әзірледік (осы жердің географиялық ендік және бойлық бойынша), ал 1 және 2 кестелерде осы ШСЭС бойынша бастапқы деректер бар. Алматы облысының өңірінде көп мөлшерде ШСЭС жұмыс істейді (2-сурет және 1-кесте). Мысалы, Үлкен Алматинка өзенінде 9 деривациялық ШСЭС каскады орналасқан. Каскадтың жалпы белгіленген қуаты 43.7 МВт құрайды, көп жылдық орташа өндіру – 203.2 млн кВт.сағ.



1-сурет. Алматы облысында шағын су электр станциясын орналастырудың карта диаграммасы

1-кесте. Алматы облысындағы шағын ГЭС

№	Шағын ГЭС	Орналасқан жері
1	Алматы каскады (Жоғары - Алматы су электр станциясы, Алматы ГЭС №2(5,8,8а,6,7,9,11))	Алматы қаласы
2	Лепсі-2	Алматы облысы, Сарқанд ауданы, Қойлық ауылының жанында
3	Қаратал ГЭС - 2, 3, 4	Алматы облысы, Ескелді ауданы, Қаратал ауылы
4	Есік каскады (4 станция)	Еңбекшіқазақ ауданы, Алматы облысы
5	Қаратал ГЭС (ГЭС-1)	Алматы облысы, Ескелді ауданы, Қаратал ауылы
6	Жоғары - Басқан ГЭС-1	Алматы облысы, Сарқанд ауданы, Екіаша ауылының жанында
7	Талғар ГЭС	Алматы облысы, Талғар қаласы
8	Сарқанд ГЭС	Алматы облысы, Сарқанд ауданы, Қойлық ауылы
9	«Қорғас» ГЭС	Алматы облысы
10	Успен ГЭС	Алматы облысы, Алакөл ауданы
11	Ақсу ГЭС-1	Алматы облысы, Ақсу ауданы
12	Антон ГЭС	Алматы облысы, Сарқанд ауданы
13	Түрген ГЭС	Алматы облысы
14	Қараш ГЭС	Алматы облысы

Түркістан облысында бірнеше шағын су электр станциялары бар (2-сурет және 2-кесте):

- Сарыағаш ауданында Келес өзенінде жалпы қуаты 10 МВт болатын шағын су электр станциялары бар;

- Қошақар-Ата өзенінде қуаты - 1,3 МВт, орташа жылдық өндіріс - 7 млн. кВтс. Арна типіндегі станция,  
басы 7,6 м.

-Рысжан ГЭС, қуаты - 2 МВт, орташа жылдық өндіріс - 11,4 млн. кВтс. Туынды типті станция, басы  
25 м, турбина PR 661-120 МБ.



2-сурет. Түркістан облысында шағын су электр станциясын орналастырудың карта диаграммасы

2-кесте. Түркістан аймағындағы шағын ГЭС

№	Шағын ГЭС орналасқан жері	Жалпы қуат	ГЭС типі, бірлік қуат	Ендік Бойлық	Өзен
1	Келес каскады (Сарыағаш ауданы, Оңтүстік Қазақстан облысы) Қошақар-Ата ГЭС Рысжан ГЭС	3,3 МВт	Қошақар-Ата ГЭС-1,3 МВт ГЭС Рысжан-2 МВт	<a href="#">41°07'17" с. ш.</a> <a href="#">68°36'39" в. д.</a>	Келес өзені
2	«Манкент» ГЭС (Оңтүстік Қазақстан облысы, Сайрам ауданы, Манкент ауылының маңы)	2,5 МВт			Ақсу өзені (оң жағалау каналы)
3	«Достық» ГЭС (Қазығұрт ауданы, Оңтүстік Қазақстан облысы)	0,975 МВт			Үлкен-Кескенканалы

Кішкентай өзендер мен су ағындарының энергиясын пайдаланудың заманауи технологиялары қолданыстағы гидротехникалық құрылыстары бар шағын су электр станцияларын салуға мүмкіндік береді. Бұл Қазақстанның Түркістан және Алматы облыстарындағы шағын гидроэнергетиканы дамытудағы қосымша резервуарлар. Сондай-ақ, Қазақстанда осындай мақсаттарда қолдануға болатын тамшылары бар арналар бар [1,2].

Шалғайдағы аймақтарды электр қуатымен қамтамасыз ету қымбатқа түседі. Осыған байланысты бүкіл елді орталықтандырылған электрмен жабдықтау желісімен толық қамту өте қиын, сондықтан фермерлік қожалықтар мен жекелеген шаруа қожалықтарының дамуы кезінде ауылшаруашылық нысандарын электрмен жабдықтаудың өзектілігі артады.

Шағын гидроэнергетиканың дамуы туралы әдебиеттерде, бұқаралық ақпарат құралдарында, конференцияларда, конгресстерде және т.б. кеңінен баяндалады. Қазіргі уақытта шағын су электр станцияларының тиімділігін анықтайтын түрлі әдістер және шағын ГЭС энергетикалық әлеуетін дамыту бағдарламалары жасалды [5,4].

Микро ГЭС негізінен жергілікті қажеттіліктерді және энергетикалық жүйелерден оқшауланған жұмыс режимін жабуға арналған. Кейбір жобалық есептеулердің нәтижелері, мысалы, су ағынының жылдамдығы 5-тен 100 л/с-қа дейін, олардың қуаттылығы 20-дан 200 кВт дейін жетеді. Әсіресе кішігірім ағындар гидро ресурстардың жалпы әлеуетіне кірмейтін, бірақ кішігірім қуаттылықтағы жылжымалы гидротурбиналық қондырғыларды пайдалануға болатын су ағындары болып саналады. Бірақ әсіресе ұсақ ағындардың энергиясын түрлендіретін заманауи және тиімді техникалық құралдардың дамымауына байланысты шағын өзендердің әлеуеті әлі пайдаланылмайды.

Тұрақты орталықтандырылған электрмен және сумен жабдықтаумен қамтамасыз етілмеген аудандарда электр қуатын өндіру және шағын ағындарда суды көтеруді жүзеге асыру өзекті мәселе болып табылады. Сондықтан, әсіресе кішігірім ағын сулардың техникалық әлеуетін дамыту және бағалау кішігірім өзендер мен ағындардың гидроэнергетикалық ресурстарының техникалық әлеуетін талдау және нақтылау гидроэнергетика инженерлерінің бірінші кезектегі міндеті болып табылады [3,4].

Автономды тұтынушыларды электрмен жабдықтау үшін болашақта, әсіресе кішігірім су ағындарының кинетикалық энергиясын түрлендіруге арналған шағын қуатты еркін ағынды жылжымалы гидротурбиналық қондырғылар пайдаланылуы мүмкін.

Мәліметтерге сүйене отырып, біз Алматы және Түркістан облыстарындағы шағын өзендер сыйымдылығының техникалық әлеуетін бағалау үшін есептеулер жүргіздік. Есептеу нәтижелері отын-энергетикалық баланста жергілікті гидро ресурстарды пайдаланудың орындылығын көрсетеді [5,6].



## • Науки о Земле

Ағынының жылдамдығы 0,5 - 4 м/с болатын өзеннің жоғары жылдамдықты ағынын қолданатын қондырғылар шағын қуаттылықты еркін ағынды жылжымалы гидротурбиналық қондырғыларға айналуы мүмкін.

Өзеннің жылдам су ағынының энергиясының дөңгелекке дейінгі және кейінгі ағынның энергия айырмашылығына тең мәнін анықтаймыз.

$$E = E_1 - E_2. \quad (1)$$

Мұнда ағынның барлық энергиясы:

-  $z_1$  -  $z_2$  энергетикалық позициясынан, ал энергия қысымынан (потенциалды энергия);

$$E_p = z_1 - z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\rho g}; \quad (2)$$

- сонымен қатар кинетикалық энергиядан

$$E_k = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}. \quad (3)$$

еркін ағынды жылжымалы гидротурбиналық қондырғылардың қуатын анықтаймыз.

Жылжымалы гидротурбиналық қондырғылардың дөңгелегі өзендегі табиғи су ағынының қозғалысына байланысты айналады. Содан кейін жоғары жылдамдықты су ағынының динамикалық басы формула бойынша анықталады.

$$H_d = \frac{v^2}{2g}. \quad (4)$$

мұндағы  $v$  - су ағынының жылдамдығы, м/с.

Турбина арқылы су ағыны

$$G_{тк} = v S_{тк}, \quad (5)$$

мұндағы  $S_{тк}$  - турбина дөңгелегінің ауданы, м<sup>2</sup>.

Ағын жылдамдығы  $G_{тк}$  м<sup>3</sup>/с және қысымы  $H_d$ , м, турбина білігінің қуаты

$$N_t = \rho G_{тк} H_d \eta_t / 102 = 9,81 G_{тк} H_d / \eta_t, \quad (6)$$

мұндағы  $\eta_m$  - турбина ПӘКі;  $\rho$  - судың тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>.

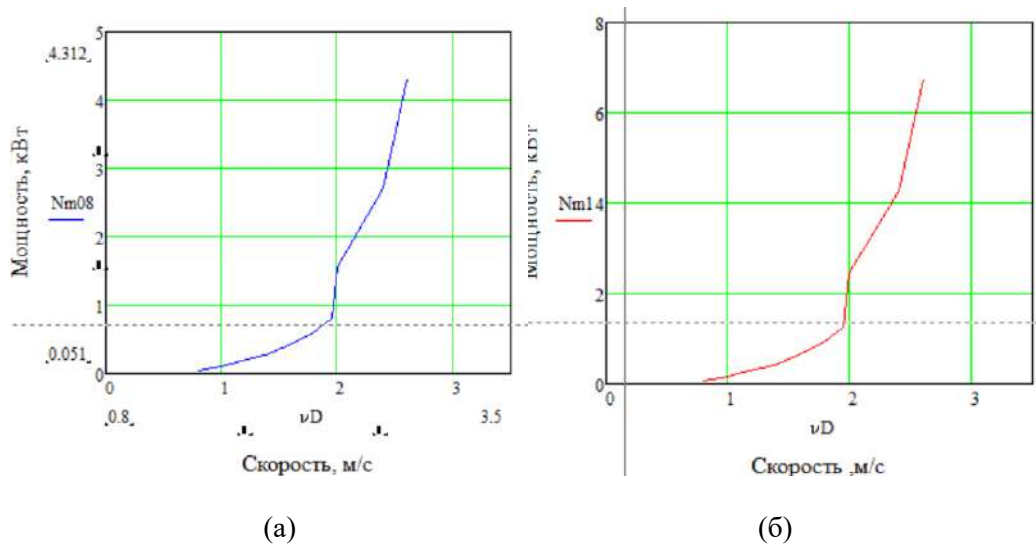
Мысалы, өзен ағынының жылдамдығында  $v = 2$  м/с;

-  $D_t = 1$  м түріндегі винттің турбиналық дөңгелегінің диаметрі;

-  $\eta_a = \eta_t \eta_m$  мультипликаторы бар гидравликалық турбиналық қондырғының ПӘКі шығыс білігіндегі қондырғының қуаты болады.

$$N_t = \rho G_{тк} H_d \eta_t / 102 = (9,81 S v v^2) \eta_t / 2g = (9,81 \pi D^2 v^3) \eta_t / 2g. \quad (7)$$

3 а, б суреттерінде MathCade-де орындалған есептеу нәтижелері көрсетілген (диаметрі 0,8 және 1 м турбина бар гидротурбиналық қондырғыларды пайдалану кезінде).



3-сурет. Мини турбиналық қуаттың жылдамдыққа қатысты сызбасы

**Қортынды.** Шалғай аймақтардағы тұтынушыларды электрмен жабдықтау үшін болашақта, әсіресе кішігірім су ағындарының кинетикалық энергиясын түрлендіруге арналған шағын қуатты еркін ағынды жылжымалы гидротурбиналық қондырғылар пайдалану өте тиімді.

Мақалада Алматы және Түркістан облыстарындағы шағын өзендер сыйымдылығының техникалық әлеуетін бағалау үшін есептемеMathCAD програмасы жүйесінде орындалды. Алынған нәтижелер болашақта салынатын шағынГЭС-тердің техникалық потенциалын анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар жұмыста Алматы және Түркістан облыстарының аймағында шағын өзендерде орналасқан гидроэлектростансаларының орналасу карта-схемасы нысананың географиялық ендігі бойынша жасалынды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Бухарбаев К. С., Возобновляемые источники энергии в Республике Казахстан. <http://www.interelectro.ru/index.php>
- [2] Возобновляемая энергетика в Казахстане, <http://www.kazenergy.com/ru/2-44-45-2011>
- [3] Бляшко Я.И. Проблемы малой гидроэнергетики в России // Малая энергетика М. 2011, № 3-4.
- [4] Щевелев Д.С. и др. Гидроэнергетические установки, (Учебник для ву-зов), Энергия, 2000 с.
- [5] Каргиев В.М. Сокольский А.К. Малая гидроэнергетика России - современное состояние //М. Бюллетень «Возобновляемая энергия», 2002.
- [6] Соловьев А.А. Возобновляемые источники энергии: идеи, научные исследования и инновационные технологии // ВИЭ Курс лекций, Учебно-пособие, МГУ, 2010 с.
- [7] Кривченко Г.И. Гидромеханические процессы в гидроэнергетических установках. 2006. 36 с.
- [8] Грановский С. А., Малышев В.М., Орго В.М., Смоляров Л. Г. Конструкции и расчет гидротурбин. Л.: Машиностроение, 2014. 408 с.
- [9] Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат, 2000. 200 с.
- [10] Кривченко Г. И. Гидравлические машины: Турбины и насосы. Учебник для вузов М.: Энергия, 2003. 320 с.
- [11] Соколов Н.И. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах. Методы исследования переходных процессов. М.: Энергия, 1970. 400 с.
- [12] Новкунский А.А. Разработка усовершенствованной методики расчета и исследование переходных процессов в агрегатах ГЭС после сброса нагрузки. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук.:05.04.13. Новкунский А. А.; науч. рук. В.А. Умов – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2010. 256 с.
- [13] Пивоваров В.А. Проектирование и расчет систем регулирования гидротурбин. Л.: Машиностроение, 2013. 283 с.

---

---

REFERENCES

- [1] Buharbaev K. S., Vozobnovljaemye istochniki jenerгии v Respublika Kazahstan. <http://www.interelectro.ru/index.php>
- [2] Vozobnovljaemaja jenergetika v Kazahstane, <http://www.kazenergy.com/ru/2-44-45-2011>
- [3] Bljashko Ja.I. Problemy maloi gidrojenergetiki v Rossii // Malaja jenergetika M. 2011, № 3-4
- [4] Shhevelev D.S. i dr. Gidrojenergeticheskie ustanovki, (Uchebnik dlja vu-zov), Jenerгija, 2000 s
- [5] Kargiev V.M. Sokol'skij A.K. Malaja gidrojenergetika Rossii - sovre-mennoe sostojanie //M. Bjulleten' «Vozobnovljaemaja jenerгija», 2002,
- [6] Solov'ev A.A. Vozobnovljaemye istochniki jenerгии: idei, nauchnye is-sledovanija i innovacionnye tehnologii // VIIe Kurs lekcij, Uchebnoeposo-bie, MGU, 2010 s.
- [7] Krivchenko G.I. Gidromehanicheskie processy v gidrojenergeticheskih ustanovkah. 2006. 36 s.
- [8] Granovskij S. A., Malyshev V.M., Orgo V.M., Smoljarov L. G. Konstrukcii i raschet gidroturbin. L.: Mashinostroenie, 2014. 408 s.
- [9] Karelin V.Ja., Volshanik V.V. Sooruzhenija i oborudovanie malyh gidroelektrostantsij. M.: Jenerгоatomizdat, 2000. 200 s.
- [10] Krivchenko G. I. Gidravlicheskie mashiny: Turbiny i nasosy. Uchebnik dlja vuzov M.: Jenerгija, 2003. 320 s.
- [11] Sokolov N.I. Primenenie analogovyh vychislitel'nyh mashin v jenergeticheskih sistemah. Metody issledovanija perehodnyh processov. M.: Jenerгija, 1970. 400 s.
- [12] Novkunskij A.A. Razrabotka usovershenstvovannoj metodiki rascheta i issledovanie perehodnyh processov v agregatah GJeS posle sbrosa nagruzki. Diss. na soisk. uch. step. kand. tehn. nauk.:05.04.13. Novkunskij A. A.; nauch. ruk. V.A. Umov – Sankt-Peterburg: SPbGPU, 2010. 256 s.
- [13] Pivovarov V.A. Proektirovanie i raschet sistem regulirovanija gidroturbin. L.: Mashinostroenie, 2013. 283 s.

**T. Koishiyev, Z. Bekzhan\*, A. Yerik**

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: zulfija.bekzhan@gmail.com

**ASSESSMENT OF THE TECHNICAL POTENTIAL OF HYDRO RESOURCES AND DEVELOPMENT OF A MAP OF THE LAYOUT OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS**

**Abstract.** Hydroelectric resources of small rivers in many regions of our country are very large, the solution of technical issues related to their use is considered, as a rule, from the point of view of comprehensive and rational development of the potential of water flows. For the rational formation of the mode of operation of small hydroelectric power plants, it is necessary to determine the value of its main energy indicators and the value of its change, taking into account the climatic factors of the region in which it is operated.

Like any other method of generating electricity by pulverized hydroelectric power plants, it has certain advantages and disadvantages, so the design of these issues needs to be taken into account when carrying out work.

The general problems of small hydropower in foreign countries are caused by insufficient research of the hydrological regime and flow of small watercourses and the lack of mass production of equipment. Therefore, in order to prepare the shagyshgpp project, it is necessary to determine in advance the relevant technical measures, and these issues were resolved in the prepared work.

The use of hydropower resources on the territory of Almaty and Turkestan regions is very effective, since the provision of electricity to remote areas of the regions is one of the urgent problems.

Installations using high-speed river flow with a water flow rate in this area of 0.5-4 m / s can be converted into mobile low-power hydro-turbine installations with free flow.

In this regard, the work identified specific locations of small hydroelectric power stations located in this area, their generating power capacity and calculated the technical potential of hydro resources. The map-diagram of the location of small hydroelectric power stations according to the generalized data is made in accordance with the geographical latitude.

**Keywords:** small hydropower, hydropower, hydro turbine, technical potential, hydro resources.

**Т. Койшиев, З. Бекжан\*, А. Ерік**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: zulfiya.bekzhan@gmail.com

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОРЕСУРСОВ И РАЗРАБОТКА КАРТЫ ПЛАНИРОВКИ МАЛЫХ ГЭС**

**Аннотация.** Гидроэнергетические ресурсы малых рек во многих регионах нашей страны очень велики, решение технических вопросов, связанных с их использованием, рассматривается, как правило, с точки зрения всестороннего и рационального освоения потенциала водных потоков. Для рационального формирования режима функционирования малых гидроэлектростанций необходимо определить величину ее основных энергетических показателей и величину ее изменения определить с учетом климатических факторов региона, в котором она эксплуатируется..

Как и любой другой способ выработки электроэнергии пылевидными ГЭС, имеет определенные преимущества и недостатки, поэтому проектирование этих вопросов требует учета при проведении работ..

Общие проблемы малой гидроэнергетики зарубежных стран обусловлены недостаточным исследованием гидрологического режима и стока малых водотоков и отсутствием серийного производства оборудования. Поэтому для подготовки проекта шагышгэс необходимо заранее определиться с актуальными техническими мерами, в подготовленной работе эти вопросы были решены.

Использование гидроэнергетических ресурсов на территории Алматинской, Туркестанской областей очень эффективно, так как обеспечение электроэнергией отдаленных районов областей является одной из актуальных проблем.

Установки, использующие высокоскоростной речной сток со скоростью потока воды в этом районе 0,5-4 м / с, могут быть преобразованы в передвижные гидротурбинные установки малой мощности со свободным стоком.

В связи с этим в работе были определены конкретные места малых ГЭСов, расположенных в этом районе, их генерирующая энергетическая мощность и просчитан технический потенциал гидроресурсов. Карта-схема расположения малых ГЭСов по обобщенным данным составлена в соответствии с географической широтой.

**Ключевые слова:** малая гидроэнергетика, гидроэнергетика, гидротурбина, технический потенциал, гидроресурсы.

<sup>1</sup>М.М. Альжигитова\*, <sup>1</sup>М.Р. Заппаров, <sup>2</sup>В.М. Мирлас

<sup>1</sup> Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Ariel University, Ариель, Израиль

\*e-mail: amanat73@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены задачи и проблемы разрушения береговой линии озера и анализ возможных причин обрушения и размыва берега и рекомендации по разработке укрепительных мероприятий берега озера Алаколь. Антропогенный фактор, как правило, оказывает негативное влияние, дестабилизирующее процессы саморегулирования природной среды. В ряде случаев при нагрузках, превышающих критические, интенсивные воздействия приводят к полному необратимому нарушению процессов саморегулирования речных систем и озер и в конечном итоге - к их разрушению. Критическая ситуация для озера Алаколь наступила, вероятно, в последние два столетия. Надвигающиеся воды озера Алаколь перекрыли галечниковые пляжи и стали разрушать берег, тем самым принося вред жизнедеятельности человека. Берега озера разнообразны по высоте, литологическому составу и типу берегообразующих процессов. Интенсивное освоение и чрезмерное антропогенное давление приводит береговые геосистемы озера в неустойчивое состояние.

**Ключевые слова:** разрушения, оползни, размыв берега, впадина, сейсмичность, оползневые процессы, селевые процессы.

**Введение.** Антропогенное воздействие на природу в целом и ее составляющие в последнее время резко усилилось, что привело к становлению принципиально новой науки - геоэкологии. Геоэкология — молодое формирующееся направление на стыке экологии и географии, которое изучает природную среду с учётом естественных и антропогенных процессов, протекающих в них.

Во многих развитых странах уже осознали и оценили опасность негативных последствий антропогенного воздействия на природу, и для борьбы с ним ассигнуются значительные материальные средства и проводятся комплексы различных мероприятий. В частности, в Германии принимаются радикальные меры по борьбе не только с загрязнением рек, но и намечается ряд мероприятий по восстановлению природных комплексов, вплоть до восстановления больших рек, озер и доведения их до состояния близкого к бытовому.

Саморегулирующаяся система бассейн-речной поток-русло функционирует при воздействии на нее как внешних, так и внутренних факторов.

Различные виды антропогенного воздействия на исследуемую систему можно подразделить на прямые и косвенные. К последним относятся воздействия на климат и физико-географические условия бассейна рек и озер. К прямым - комплекс гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий в руслах и на поймах рек, озер [7,8].

Вследствие суровых природных условий и относительно слабой освоенности территории наибольшая плотность населения наблюдается именно по берегам. Длительное воздействие человека на речные русла, озера и поймы не прошло бесследно. Особенно сильно озеро подвергалось антропогенному прессингу в XX столетии.

На данный момент трудно найти природный объект, не затронутый человеческой деятельностью. Все возрастающее ее воздействие на русла рек и озер ставит перед наукой задачи оценки последствий этой деятельности и разработки мер, ослабляющих эти явления.

В связи с этим требуют изучения те основные свойства эрозийного процесса, которые проявляются, как при естественном ходе событий, так и в искусственно созданных условиях.

Вследствие сложившейся экономической ситуации многие виды антропогенного воздействия на реки и озера сведены до минимума. Однако к до техногенному состоянию русла вернуться не могут. Часто происходят неблагоприятные, а иногда и катастрофические их изменения с экологической точки зрения.

Для оценки экологического состояния регионов, речных бассейнов, природных территориальных комплексов, отдельных компонентов природной среды и объектов используются понятия «экологическая напряженность», «кризисная экологическая ситуация» и «экологический риск» [7]. Эти термины являются взаимодополняющими, и их одновременное применение усиливает значимость оценок неблагоприятных для человека изменений, происходящих в природе в результате его хозяйственной деятельности, а также вследствие саморазвития природы и ее компонентов. Термин «экологическая напряженность» означает как различные состояния природной среды, определяемые хозяйственной деятельностью, вследствие чего происходят изменения экосистемы в целом, утрата ее свойств, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность и жизнеобеспеченность человека, так и природные условия и явления, неблагоприятные для здоровья, проживания и хозяйствования людей.

При таком подходе экологическая напряженность на реках, обусловленная русловыми процессами, представляет собой: во - первых такие изменения рек вследствие антропогенный воздействий на них, которые приводят к нарушению речной, озерной экосистемы и сложившихся условий жизнедеятельности и жизнеобеспечения людей. Во-вторых, она является следствием опасных проявлений русловых процессов, связанных с размывами (намывами) берегов и дна, приводящих к разрушению жилых, инженерных, хозяйственных объектов и коммуникаций, вызывающих аварии или нарушение их функционирования. Это вызывает необходимость принятия защитных мер, и в конечном итоге отражается на жизни людей. Степень экологической напряженности определяется в этом случае сочетанием параметров, характеризующих измененность русел и пойм, скорость проявления и распространения неблагоприятных процессов и явлений.

Озеро Алаколь расположено на востоке Казахстана, юго-востоке Восточно-Казахстанской области. Длина озера 104 км, ширина 52 км, длина береговой линии составляет 384 км, максимальная глубина 22,1 м, площадь водосбора составляет 68,7 тыс. км<sup>2</sup>. В настоящее время озеро и его окрестности используются в бальнеологических целях. Там построены кемпинги и санатории, но так как в последние 50-лет происходит активное разрушение восточных, юго-восточных берегов, такая опасность вызывает особую тревогу. Возникла проблема о причинах разрушения берега. Чаще всего речь идет о сильных северо-западных ветрах, как причине разрушения нагонными волнами. [5]. Но, в таких межгорных впадинах, как Алакольская и Зайсанская, западный перенос сформировался давно, возможно существует десяток миллионов лет. Поэтому точный ответ нам может дать изучение истории палеогеографии Алакольской впадины и озера Алаколь по литературным и картографическим источникам. Через палеогеографию можно проследить развитие геосистем. Данное изучение имеет экологическое, историческое и социальное значение.

Алакольская впадина вытянута в юго-восток северо-западном направлении на 130 км при ширине 80 км. С севера она ограничена хребтами Саур-Тарбагатай. На юге впадина ограничена передовыми хребтами Джунгарского Алатау. На северо-западе она сочленяется с Балхашской впадиной и плавно переходит в Казахский мелкосопочник. На юго-востоке между отрогами Саура и Алатау существует значительное понижение в рельефе – Джунгарский переход.

В наиболее пониженной (347-350 м) центральной части впадины располагается система озер так называемой Алакольской группы: это Алаколь, Кошкарколь, Жаланашколь,

Уялыколь, Сасыкколь. К подножию хребтов абсолютная высота поверхности впадины увеличивается до 700 – 800 м. Самое крупное из этой группы озеро Алаколь имеет неправильную грушевидную форму и прижато к джунгарскому берегу. Сейчас зеркало озера располагается на абсолютной отметке 387 м. Все озера бессточные и не сообщающиеся между собой, поэтому солоноватоводные от 3 до 9 грамм на литр [1].

В озеро впадает более 15 притоков, из которых основными являются шесть: реки Урджар (дающая 50% поверхностного притока в озеро), Хатынсу (8,8%) и Эмель (27,4%) на севере и северо-востоке и Жаманутколь (5%), Ыргайты и Жаманты (8,8%) – на юге и юго-востоке. Реки, берущие начало с отрогов Джунгарского Алатау (Тентек, Ыргайты, Жаманты), с Саур-Тарбагатай (Урджар, Эмель, Тасты).

Алакольская впадина и озеро Алаколь имеют длительную и сложную геологическую историю. Основные черты современного рельефа Балхаш- Алакольской впадины и окружающих территорий созданы тектоническими движениями, продолжающимися с олигоцена и поныне - в течение новейшего этапа альпийского тектогенеза. По мнению А.К. Бувалкина время заложения Алакольской впадины – поздний триас - ранняя юра (рэт-среднелейасовое время). Джунгарская зона ранней мезозойской активизации прослеживается в широтном направлении на большое расстояние. В ее пределы входят современный Джунгарский хребет и его западные отроги, близко поступающие к озеру Балхаш. С севера Джунгарская зона активизации ограничена Алакольско-Джунгарским разломом, который в течение всего позднего триаса и ранней юры определял формирование Алакольской впадины. Бувалкин А.К. считает, что активизация движения земной коры Джунгарской зоны началась в самом конце триаса поднятием Джунгарского блока. Поэтому вдоль северного пограничного разлома на палеозойском складчатом фундаменте заложился Алакольский локальный прогиб, как компенсация поднимающемуся Джунгарскому блоку [2]. В первой половине мезозоя впадина была покрыта пышной растительностью, заболочена, что привело к формированию бурогоугольного месторождения, рет-лейасового возраста.

Во второй половине мезозоя впадина высокогорная, с суровыми условиями, озеро отсутствует. С начала кайнозоя уже в палеогене, впадина приобретает современный облик, озеро неоднократно меняло конфигурацию. Современное состояние Алакольской впадины было создано процессами в неоген-четвертичное время. Т.Н. Джуркашев подразделил отложения неоген-четвертичного возраста впадины на павлодарскую, илийскую, алакольскую и хоргосскую свиты [3]. Отложения представлены как грубообломочными галечниками и гравийниками, так и песчано-глинистыми образованиями озерного генезиса. Из суглинков здесь определена фауна пресноводных моллюсков и ископаемая цветочная пыльца. В антропогене происходит возникновение единой системы Древнего Балхаша, который объединяет всю Алакольскую группу озер, Балхаш и Эби-Нор на территории Китая. В мелкосопочном и горном обрамлении впадины преобладают элювиально-делювиальные, пролювиальные и аллювиальные отложения. Алакольская впадина выполнена аллювиальными и озерными образованиями, мощностью по данным буровых скважин 428 м.

В алматинскую фазу по Т.Н. Джуркашеву поднимается перемычка между Балхашем и Алаколем, т.е. древний Балхаш распался на самостоятельные, Балхашскую и Алакольскую впадины заполненные озерами. Медленное поднятие перемычки, формирование дельт баканасов, заставляет Балхаш перемещаться на северо-запад, а Алаколь на юго-восток [3]. Берега озера Алаколь непостоянные, сильно изрезаны.

Основными факторами динамики берегов озера являются ветровое волнение в сочетании с циклическими колебаниями уровней воды, деятельность рек, дрейфовые навалы льда, фитогенные и эоловые процессы. Многочисленны полуострова, мысы, косы, заливы и бухты. Рассмотрим некоторые возможные причины разрушения берегов озера Алаколь. Одна из причин – ветры северо-западных румбов. Особенности рельефа описываемого участка

обуславливают сложный характер ветровой деятельности. Направление ветров самое различное, смена его происходит иногда несколько раз в течение одного дня. Наиболее сильные ветры на равнинной части описываемых участков бывают западного и северо-западного направления. Средние многолетние скорости ветра изменяются от 1,6 м/сек до 5,9 м/сек. Наибольшие скорости в отдельные периоды наблюдений были отмечены зимой до 28 м/сек, летом до 20 м/сек (Семипалатинское Прииртышье). Ветры кроме волнения вызывают сильный нагон волн. Специфический характер ветрового режима обуславливает пеструю картину волнения на акватории озера. Наибольшая высота волны (2-2,5 м) наблюдается на ветрах восточных направлений. Продолжительность непрерывного волнения (высота волн 1,25 – 2,5 м) в отдельные годы достигает 4 – 5 суток. Активное разрушение берегов наблюдается последние 50 лет, а ветры здесь дуют с момента возникновения Алакольской впадины (рис.1,2,3).



**Рисунок 1.** Последствия разрушении берегов с.Акши (фото автора, июнь, 2019г.)



**Рисунок 2.** Берег озера Алаколь (с.Коктума, фото автора, июнь, 2019г.)





**Рисунок 3.** Берег озера Алаколь (фото автора, июнь, 2019г.)

Впадина начала формироваться с позднего триаса и представляла естественную аэродинамическую «трубу». За столь длительный срок почти более чем 200 млн. лет ветры разрушили бы не только берега озера, но и хребты окружающие впадину.

По мнению Т. Н. Джуркашева реки, стекающие с растущих блоков Саур-Тарбагатай и Джунгарского блока, из принесенного аллювия формировали дельты – баканасы. В результате возникла перемычка Арганаты между Балхашской и Алакольской впадиной. В результате воды озера Балхаш стали вытесняться на северо-запад, а воды озера Алаколь на юго-восток. Воды озера Алаколь стали наступать на берег и разрушать его, а ветры и нагонные волны только дополняли разрушения [3].

В перемычке Арганаты отсутствуют отложения средней и верхней юры и мела, нижепалеогеновые отложения. Поэтому сомнительно, чтобы небольшие, хотя и горные реки, смогли бы за неоген-четвертичное время намывать выносимым аллювием перемычку, разделившую единый водоем. Алакольская впадина, так же как и Зайсанская и Иссык-Кульская, формируются тектоническими процессами послеплатформенной активизации и неотектоническими движениями, действующими и в настоящее время. Рост блоков хребтов Барлык и Майли приводит к отчленению Эби-Нора. С начала четвертичного времени начинает активно расти блок Арганаты, разделявший Балхашскую и Алакольскую впадины, что приводит к перемещению озера Балхаш на северо-запад, а озера Алаколь на юго-восток. Вдоль береговой перенос весь подводный пляж переместил и продолжает перемещать на юго-восток, где намывается коса. Отсутствие подводного пляжа постепенно привело к критической ситуации, и сейчас происходит активная абразия юго-восточных и юго-западных берегов [4, 5, 10]

**Методика исследования.** Методологической основой работы послужил гидролого-морфологический подход к исследованиям русловых процессов. В основе этого подхода лежат представления о дискретности и структурности руслового процесса, типизация русловых процессов. В качестве основных определяющих факторов приняты сток воды, наносов и ограничивающие условия (местные базисы эрозии, выход неразмываемых горных пород, и некоторые другие).

При анализе русловых переформирований нашли применение следующие методы: сравнительно-морфологический (сравнительно-географический), гидролого-морфологической аналогии, гидролого-морфологических зависимостей (корреляционных

связей). Эти методы в отличие от гидродинамических методов не требуют знания составляющих баланса наносов, выяснения механизма переформирования и позволяют получить конечный результат, минуя рассмотрение промежуточных этапов переформирования русел.

Исходными материалами для работы явились: литературные источники, гидрографические описания, материалы аэрофотосъемки, «Ресурсы поверхностных вод СССР», архивы.

**Результаты и обсуждение исследований.** В результате проведенного анализа всех возможных причин, можно предположить, что основная причина разрушения берегов озера Алаколь это новейшие тектонические процессы. А деятельность ветров и нагонных волн, намыв дельт - причины второстепенные и малозначительные. Мировая практика подсказывает дать следующие практические рекомендации по берегоукрепительным работам и природоохранным мероприятиям.

Необходимо провести изучение береговой полосы озера:

- Провести батиметрические измерения, установить мощность отложений подводного пляжа, площадь подводного пляжа, вещественный состав отложений;
- Установить возраст рыхлых отложений пляжевых галечников и перекрывающих лессовидных суглинков.

Выполнить палеогеографический анализ истории формирования и развития Алакольской впадины и озера Алаколь с целью установления передвижения береговой полосы в прошлом. Уже сейчас необходимо начинать отсыпку пляжей на клифовом участке побережья, искусственно систематически наращивать ширину пляжа, как это делается по юго-восточному побережью Крыма. Бутовый камень для подсыпки пляжа можно получать с отрогов Тарбагатай и Джунгарского Алатау. Это самый надежный и самый дешевый метод сохранения береговой зоны на северо-востоке, востоке озера.

Начать строительство вдоль разрушающихся берегов подводного бум, который бы задерживал снос пляжевых галечников на глубину. Минимизировать техногенные воздействия, так как геосистемы аридной зоны очень неустойчивы [4,5,9].

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] *Филонец П.П.* Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана (озера, водохранилища и ледники) // Наука КазССР: - Алма-Ата 1981. <https://search.rsl.ru/ru/record/01001070860>

[2] *Бувалкин А.К.* «Юрские отложения Восточного Казахстана»//Издательство «Наука» Казахской ССР:-Алма-Ата.- 1998 г. - С.119-140. <https://www.geokniga.org/books/6274>

[3] *Джуркашев Т.Н.* «Антропогенная история Балхаш-Алакольской впадины» //Наука:-Алма-Ата,-1972. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-antropogenovaya-istoriya-balhash-alakolskoy-vpadiny.pdf>

[4] *Байсалбаева К., Михайлова Н.И.* Возможные причины разрушения берегов озера Алаколь и берегоукрепительные мероприятия // Материалы конференции «Региональный компонент в экологическом образовании»: - Усть-Каменогорск, -2008.- С. 9-16. <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrusheniya-beregov-ozera-alakol>

[5] *Михайлова Н.И., Колтей Н.М.* Кризис динамики берегов озера Алаколь. и возможные берегоукрепительные работы //Материалы конференции «Региональный компонент в экологическом образовании и воспитании»: - Усть-Каменогорск, -2009.- С. 104-108. <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrusheniya-beregov-ozera-alakol>

[6] *Фролова Н.Л.* Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока // Учебное пособие. Издательство Юрайт,- Москва.-2020.- С. 115. <https://books.google.kz/books?id=EFXPDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>

[7] *Денисова И.В., Шелухина О.А.* Природные и антропогенные факторы экологической напряженности на реках.// География и смежные науки. LVI Герценовские чтения: - Санкт-

Петербург, - 2003. - С.11 - 13.[https://collectedpapers.com.ua/ru/river\\_bed\\_1/4-1-prirodni-chinniki-stvorenniya-ekologichnoyi-napruzhenosti-na-richkax](https://collectedpapers.com.ua/ru/river_bed_1/4-1-prirodni-chinniki-stvorenniya-ekologichnoyi-napruzhenosti-na-richkax)

[8] Ермолаев О. П., Шарифуллин А. Г., Голосов В. Н., Сафаров Х. Н. Современные экзогенные процессы в горных ландшафтах умеренного пояса северной Евразии и оценка их долевого вклада в сток наносов рек по материалам космических съемок.// Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки .-Россия.-Том: 157.-Номер: 2 2015.-С81-94<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24035862>

[9] Неевина Н.О. Инженерно-геологическая оценка глубоководных участков Кандалакшского залива Белого моря.// Выпускная квалификационная работа:- Санкт-Петербург.-2018.-С.66-71 .[https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/14582/1/VKR\\_NeevinaNO.pdf](https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/14582/1/VKR_NeevinaNO.pdf)

[10] Муртазин Е.Ж. Оценка водных ресурсов и гидрологических факторов для устойчивого водообеспечения дельты реки Урал с прилегающим побережьем Каспийского моря, Тенгиз – Коргалжынской и Алаколь-Сасыккольской системы озер на 2005 год // Отчет о научно-исследовательской работе:-Алматы.-2005.-С.10-12. <https://shkola.of.by/otchet-o-nauchno-issledovateleskoj-rabote-ocenka-ekologicheskogo.html>

#### REFERENCES

[1] Filones P.P. Oчерки po geografii vnutrennih vod Sentralnogo, jnogo i ostochnogo Kazahstana (ozera, vodohranilia i ledniki) //: Nauka KazSSR, - Alma-Ata 1981.<https://search.rsl.ru/ru/record/01001070860>

[2] Бувалкин А.К. «rские отложения Vostochnogo Kazahstana»//Издательство Nauka» Kazahskoi SSR: -Alma-Ata.- 1998 г. - С.119-140.<https://www.geokniga.org/books/6274>

[3] Djurkaşev T.N. «Antropogennaya istoriya Balhaş-Alakolskoi vpadiny» //Nauka: -Alma-Ata, -1972.<https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-antropogennaya-istoriya-balhash-alakolskoy-vpadiny.pdf>

[4] Baisalbaeva K., Mihailova N.İ. Vozmojnye prichiny razruşeniya beregov ozera Alakol Iberegо ukреpitelnye мерориятия // Materialy konferensii «Regionalnyi komponent v ekologicheskom obrazovanii: -Ust-Kamenogorsk,-2008.-S. 9-16 <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrusheniya-beregov-ozera-alakol>

[5] Mihailova N.İ., Koltei N.M. Krizis dinamiki beregov ozera Alakol. i vozmojnye beregoukреpitelnye raboty //Materialy konferensii «Regionalnyi komponent v ekologicheskom obrazovanii i vospitanii»: -Ust-Kamenogorsk,-2009.-S.104-108. <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrusheniya-beregov-ozera-alakol>

[6] Şiklomanov İ.A., Georgievskii V.. Vliyanie antropogennyh faktorov na stok rek byvşego SSSR.//Geograficheskie napravleniya v gidrologii -M.,-1995.-S.96-107. <https://books.google.kz/books?id=EFXPDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>

[7] Denisova İ.V., Şeluhina O.A. Prirodnye i antropogennye faktory ekologicheskoj napryazhennosti na rekah.// Geografya i смеjnye nauki. LVI Gersenovskie chteniya: - Sankt-Peterburg, - 2003.- S.11 – 13 .[https://collectedpapers.com.ua/ru/river\\_bed\\_1/4-1-prirodni-chinniki-stvorenniya-ekologichnoyi-napruzhenosti-na-richkax](https://collectedpapers.com.ua/ru/river_bed_1/4-1-prirodni-chinniki-stvorenniya-ekologichnoyi-napruzhenosti-na-richkax)

[8] Gakaev R.A. Prirodno-antropogennye sklonovye prosessy v landsaftah Skalistogo hrebta Chechenskoj Respubliki// Nauki o Zemle: vchera, segodnya, zavtra: materialy II Mejdunar. nauch. Konf: – M.: Buki-Vedi, 2016. – S. 32-35.<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24035862>

[9] Neevina N.O. Inženerno-geologicheskie osenka glubokovodnyh uchastkov Kandalakşskogo zaliva Belogo моря.// Vypusknaya kvalifikacionnaya rabota:- Sankt-Peterburg.- 2018.-S. 66 -71..[https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/14582/1/VKR\\_NeevinaNO.pdf](https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/14582/1/VKR_NeevinaNO.pdf)

[10] Murtazin E.J. «Osenka vodnyh resursov i gidrologicheskikh faktorov dlya ustoichivogo vodoobespecheniya delty reki Urals priligaим poberejem Kaspijskogo моря, Tengiz – Korгалжынской i Alakol-Sasykkolskoi sistemy ozer na 2005 god»// Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote.:-Almaty.-2005.-S.10-12. <https://shkola.of.by/otchet-o-nauchno-issledovateleskoj-rabote-ocenka-ekologicheskogo.html><https://shkola.of.by/otchet-o-nauchno-issledovateleskoj-rabote-ocenka-ekologicheskogo.html>

<sup>1</sup>М.М. Әлжігітова\*, <sup>1</sup>М.Р. Заппаров, <sup>2</sup>В.М.Мирлас

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Ariel University, Ариель, Израиль

\*e-mail: amanat73@mail.ru

## АЛАКӨЛ КӨЛІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІНЕ АНТРОПОГЕНДІК ҚЫЗМЕТТІҢ ӘСЕРІ

**Андатпа.** Бұл мақалада көлдің жағалау сызығын бұзылу мәселелері, жағалаудың құлауы мен шайылуының ықтимал себептерін талдау және Алакөл көлінің жағалауын нығайту іс-шараларын әзірлеу бойынша ұсыныстар қарастырылған. Антропогендік фактор, әдетте, теріс әсер етеді, табиғи ортаның өзін-өзі реттеу процестерін тұрақсыздандырады. Кейбір жағдайларда критикалық, қарқынды әсерлерден асатын жүктемелер өзен жүйелерінің және көлдердің өзін - өзі реттеу процестерінің толығымен қайтымсыз бұзылуына және сайып келгенде олардың жойылуына әкеледі. Алакөл көлі үшін соңғы екі ғасырда қиын жағдай орын алған шығар. Алакөл көлінің жақындап келе жатқан сулары тасты жағажайларды жауып, жағалауды бұза бастады, осылайша адам өміріне зиян келтірді. Антропогендік фактор, әдетте, теріс әсер етеді, табиғи ортаның өзін-өзі реттеу процестерін тұрақсыздандырады. Кейбір жағдайларда критикалық, қарқынды әсерлерден асатын жүктемелер өзен жүйелерінің өзін - өзі реттеу процестерінің толығымен қайтымсыз бұзылуына және сайып келгенде олардың жойылуына әкеледі. Көл жағалары биіктігі, литологиялық құрамы және жағалау түзуші процестер түрі бойынша әр түрлі. Қарқынды даму және шамадан тыс антропогендік қысым көлдің жағалық геожүйелерін тұрақсыз күйге келтіреді.

**Негізгі сөздер:** қираулар, көшкіндер, жағаның шайылуы, ойпат, сейсмикалық, көшкін процестері, сел процестері.

<sup>1</sup>M.M. Alzhigitova\*, <sup>1</sup>M.R. Zapparov, <sup>2</sup>V.M. Mirlas

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Ariel University, Ariel, Israel

\*e-mail: amanat73@mail.ru

## IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY ON THE CONDITION OF LAKE ALAKOL

**Abstract.** In this article the tasks and problems of destruction of the shoreline of the lake and the analysis of possible causes of collapse and erosion of the coast and recommendations for development of strengthening measures of the shore of Lake Alakol are considered. The anthropogenic factor, as a rule, has a negative impact that destabilizes the processes of self-regulation of the natural environment. In some cases at loads, exceeding critical, intensive influences lead to full irreversible infringement of processes of self-regulation of the river systems and as a result - to their destruction. The critical situation for Lake Alakol has come, probably, in the last two centuries. The advancing waters of Lake Alakol have blocked the pebble beaches and began to destroy the shore, thereby bringing harm to human life activities. The anthropogenic factor, as a rule, has a negative impact that destabilizes the processes of self-regulation of the natural environment. In a number of cases at loads exceeding critical, intensive influences lead to full irreversible infringement of processes of self-regulation of the river systems and as a result - to their destruction. The bijection, lithology, and geogeography of the device are not possible in this case. The following table describes the results of the anthropogenic treatment and the geological and geophysical studies of the device.

**Keywords:** destruction, landslides, coastal erosion, depression, seismicity, landslide processes, mudflow processes.

**Ж.М. Аукажиева\*, А.Б. Даркенбаева**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

\*e-mail: aukazhieva\_zh@mail.ru

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** В представленной научной статье исследователями рассматривается опыт применения технологии лазерного сканирования, которая дает возможность съемки архитектурных, исторических объектов с сохранением всех элементов и геометрических параметров в электронном формате.

В целях минимизации ошибок, оптимизации и ускорения работ, проектировщики все чаще обращаются за помощью к организациям, выполняющим лазерное сканирование. Это позволяет уходить от традиционных обмеров и получая облака точек любого здания с точностью до 1 мм.

Современная технология лазерного сканирования съемки объектов, которая уже показала свою эффективность при реконструкции промышленных объектов, в архитектуре, строительстве, горном деле и целом ряде других областей. Важно отметить, что сканер позволяет оперативно производить детализированную трехмерную съемку в существенно автоматизированном режиме, что минимизирует влияние оператора на процесс полевых работ.

**Ключевые слова.** современные компьютерные системы, геодезическая отрасль, лазерное сканирование, трехмерная модель, информационное моделирование, строительная сетка.

С появлением технологии микропроцессоров и массовой цифровизации, началась тенденция автоматизирования деятельности человека. Современные компьютерные системы практически свели к минимуму влияние человека на производственный процесс. Разработанные алгоритмы принятия решений стали способны производить большие объемы продукции, не теряя при этом качества. А микропроцессорная техника стала интегрирующим звеном, соединяющим различные этапы и технологии производства.

Переходя к частным случаям, нельзя не упомянуть геодезическую отрасль, где современные технологии сыграли ключевую роль. Объединяя в себе геодезическую основу, технологию сбора цифровых данных и фотограмметрию, на свет появилась концептуально новая идея о приборах, способных к сканированию пространственной информации на местности. Данная идея легла в самую суть создания систем наземного лазерного сканирования.

Технология наземного лазерного сканирования заключается в следующем: прибор посылает с высокой скоростью электромагнитные сигналы до окружающих его объектов. Далее отраженный сигнал регистрируется сканером для последующего измерения пройденных расстояний, вертикальных и горизонтальных углов. Исходя из этого можно сделать вывод, что принцип работы лазерных сканеров схож с электронными тахеометрами. Но в отличие от тахеометра, лазерный сканер способен проводить тотальную съемку территории [1]. Результатом съемки является облако точек, образующее трехмерное изображение объекта - скан (рисунок 1).

Скан содержит огромное количество пространственной информации и занимает слишком много места в виртуальной памяти. Это объясняется следующими факторами:

1. Статистическая избыточность. Некоторые элементы соседних сканов повторяются из-за непрерывной съемки. Согласно теореме Котельникова-Шинона, благодаря непрерывному получению информации, пространственное разрешение сканера выше, чем при отдельной съемке точек [2];

2. Визуальная избыточность. Из-за огромного массива точек, человеку трудно воспринимать визуальную информацию. Поэтому лишние точки подлежат отсеиванию;

3. Избыточность по семантическому признаку. При обработке сканов следует помнить об особенностях строения реальных объектов, то есть подвергать удалению «неуместных» точек.



Рисунок 1. Пример скана

Системы НЛС также обладает такими преимуществами как:

- большая часть процесса съемки автоматизирована;
- определение «слепых зон» сканера благодаря трехмерной визуализации во время полевых работ;
- высокая точность и детализация результатов;
- экономическая выгода и эффективность съемки;
- благодаря автоматизации, после запуска сканирования нет необходимости в присутствии оператора;
- НЛС является активной съемочной системой, поэтому съемка не зависит от времени суток;
- многоотраслевое применение результатов лазерного сканирования (медицина, строительство, кораблестроение, маркшейдерское дело и т. д.)

Обладая данными преимуществами, технологию лазерного сканирования широко применяют в научной деятельности, в народном хозяйстве и на технологическом производстве. Ярким примером является строительство. По данным лазерного сканирования можно вести мониторинг строительного процесса, корректировку проектов или проведение исполнительных съемок. Кроме строительства, сканеры широко используются в архитектуре. Благодаря точному изображению объектов на сканах можно реставрировать культурные памятники и сооружения, создавать цифровые модели исторических объектов. Касаясь тенденции всеобщей цифровизации, промышленные предприятия постепенно отказываются от аналоговых носителей и переходят на цифровой формат данных. Применение трехмерных моделей промышленных объектов открывают новый горизонт возможностей. Одним из нововведений является интеграция информационных моделей с системами жизнедеятельности промышленного объекта. Данная тема весьма актуальна и уже получила реализацию в западных странах. Также лазерное сканирование получило применение: медицина (протезирование), судостроение, горная промышленность, маркшейдерия, топография.

Как говорил французский философ Вольтер «Прогресс-закон природы». Данную цитату можно отнести практически к любому виду человеческой деятельности. Начиная с 19 века, именно технологический прогресс задавал направление жизни современного человека. И вот на пороге 20 века была создана цифровая технология отображения трехмерной реальности [3]. Один из передовых разработчиков стал Иван Сазерленд, аспирант Йельского университета. Именно он первый создал программу, где интерфейс объединял в себе не только координаты X и Y, но и направление Z, тем самым создал первое трехмерное пространство (рисунок 2).

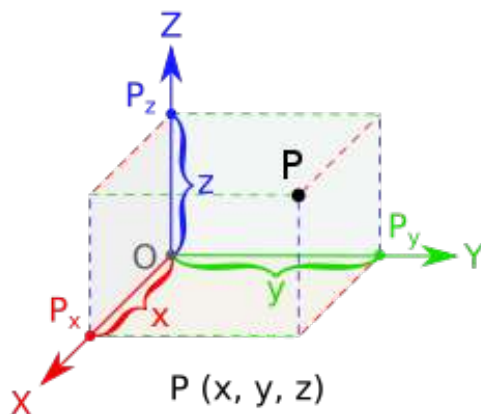


Рисунок 2. Трехмерное пространство

Данная разработка открыла новые перспективы развития информационных технологий. Особенно данная технология пригодилась в сфере строительства, где представление информации занимает ключевое место. И вот, как результат многолетней разработки специалистов по всему миру, на свет появляется новое направление – BIMпроектирование. В основу информационного моделирования сооружений легла концепция объединения всех баз данных по этапам строительства. При создании информационной модели инженер анализирует данные об объекте моделирования. В зависимости от степени завершенности объекта (планируемый, в процессе возведения, эксплуатируемый) инженер создает модель либо по проектной документации, либо по данным лазерного сканирования. Рассмотрим данный процесс на примере Павлодарского нефтехимического завода. Так как большинство установок уже введены в эксплуатацию, для моделирования требуется провести лазерную съемку территории предприятия.

После сканирования завода и обработки результатов, в распоряжении инженера появилась достоверная информация о внешнем виде, конфигурации и расположении нефтеперерабатывающих установок. Данные лазерного сканирования станут основой создания «цифрового двойника» (рисунок 3).



Рисунок 3. Пример «цифрового двойника»

Концепция «цифрового двойника» появилась в начале 2000-х годов. Как показала практика инженеров-конструкторов, в среднем 50-60% рабочего времени уходит на поиск нужной информации для поддержки производства и принятия рационализаторских решений [3]. Также 10% ошибок при строительстве происходят из-за несоответствия действительности тех самых документов. Данные факторы выливаются в дополнительные затраты, составляющие 10-15% от стоимости установки. Исходя из данной статистики, перед руководством ПНХЗ стал вопрос объединения всех систем в единую информационную модель. Основой цифрового двойника ПНХЗ будет трехмерная модель. Данная модель должна соответствовать действительности и нести в себе актуальную информацию. Также руководство ПНХЗ, в частности инженерный состав, потребовали наличие в модели данных об обслуживании, эксплуатации и инспекции нефтеперегонного оборудования. В итоге, будущий «цифровой двойник» должен описывать полный жизненный цикл предприятия.

В отличие от традиционных двумерных чертежей формата САД, информационная модель имеет свою уникальную упорядоченную структуру, где все элементы взаимодействуют между собой. Изменения в объектах одной категории повлекут логическую перестройку в других группах. Поэтому было создано множество информационных стандартов о структуре информационных баз в трехмерных моделях. Именно такой подход к созданию способствуют правильной классификации данных и построению максимально схожей с реальностью модели. Также структура подразделения инструментов моделирования предполагает деление по специфике. То есть для моделирование железобетонных конструкции будут привлечены люди, которые будут заниматься только данным аспектом модели с последующим заполнением информации. Такой подход к работе направлен на исключении вероятности потери данных, ошибок при их заполнении и прочих нюансов.

Работа по возведению трёхмерной модели на основе данных лазерного сканирования начинается с визуального анализа технологических установок для выявления характерной информации (название установки, строение, ГОСТ-ы и т. д.). После просмотра и анализа технической документации начинается сам этап моделирования. В зависимости от программного обеспечения методика может иметь различия. Но в целом процесс сводится к созданию геометрических примитивов, повторяющих форму и размеры объекта на облаке точек (рисунок 4). Согласно требованиям, модель должна отображать масштаб 1:1. Все объекты должны иметь координатную привязку. Также требуется, чтобы строительная сетка была построена согласно рабочей документации.

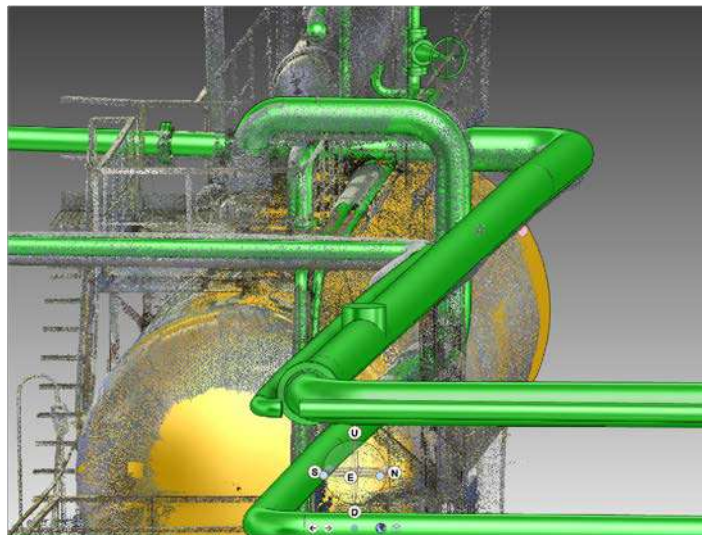


Рисунок 4. Моделирование по облаку точек



Один из основных характеристик BIM-модели является уровень детализации LOD (Level of development). Уровень детализации характеризует полноту отображения элементов на трехмерной модели. LOD определяет количество графической и атрибутивной информации для моделирования конкретного элемента в зависимости от требований заказчика. Существуют пять основных уровней проработки модели:

- LOD 100 – минимальная детализация, используемая при создании концепций. Концептуальная модель отображает приблизительную форму, примерный габариты и условное местоположение.

- LOD 200 – переход от концептуальной модели к логической. На данном уровне появляется информация об условных размерах объекта, его более точная позиция. На пример к модели здания добавляются перегородки, стены, перекрытия и прочие конструктивные элементы. Атрибутивная информация пополняется материалами изготовления элементов. Такой уровень детализации не достаточен для проектирования.

- LOD 300 (Проектная документация) – проектная модель объекта. Модели с таким уровнем детализации должны нести в себе полную информации о конструктивных элементах. Также элементам нужно дать спецификацию, которая необходима при расчётах. В отличии от классического проектирования готовая модель производит автоматически сбор данных и вывод нужной проектной документации.

- LOD 400 (Рабочая документация) – информационная модель с высокой степенью детализации и большой атрибутивной базой. При LOD 400 моделируются даже болты и сварные швы. Модель содержит полную базу данных об оборудовании, конструкции и спецификации.

- LOD 500 – максимальный уровень, используемый при введении модели в эксплуатацию. К основным требованиям относят: отсутствие коллизий, наличие логических связей и привязок между объектами, полное соответствие реальности. Также сама структура баз данных должна быть в строгом соответствии с регламентом [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гончаров А. С., Саклаков В. М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии // Статья в сборнике трудов конференции, 2018. – С. 24.
- [2] Середович В.А. Наземное лазерное сканирование// Монография – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
- [3] Фролов А. Технологии трехмерного лазерного сканирования // Лазерное сканирование. - 2006. - С. 57.
- [4] Бенклян С. Уровни детализации элементов информационной модели здания // Статья-2004 г. [Электронный ресурс]. -URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17329](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17329)

#### REFERENCES

- [1]Goncharov A. S., Saklakov V. M. Tsifrovoy dvoynik: obzor sushchestvuyushchikh reshenii i perspektivy razvitiya tekhnologii // Stat'ya v sbornike trudov konferentsii, 2018. – S. 24.
- [2]Seredovich V.A. Nazemnoe lazernoe skanirovanie// Monografiya – Novosibirsk: SGGA, 2009. – 261 s.
- [3]Frolov A. Tekhnologii trekhmernogo lazernogo skanirovaniya // Lazernoe skanirovanie. - 2006. - S. 57.
- [4]Benklyan S. Urovni detalizatsii elementov informatsionnoi modeli zdaniya // Stat'ya-2004 g. [Elektronnyi resurs]. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17329](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17329)

**Ж.М. Аукажиева\*, А.Б. Даркенбаева**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

\*e-mail: aukazhieva\_zh@mail.ru

## ЛАЗЕРЛІК СКАНЕРЛЕУДІҢ АНЫҚТАМАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

**Андатпа.** Ұсынылған ғылыми мақалада зерттеушілер барлық элементтер мен геометриялық параметрлерді сақтай отырып сәулеттік, тарихи нысандарды түсіруге мүмкіндік беретін лазерлік сканерлеу технологиясын қолдану тәжірибесін қарастырады.

Қателерді азайту, жұмысты оңтайландыру және жеделдету үшін дизайнерлер көмек сұрап лазерлік сканерлейтін компанияларға жүгінуде. Бұл дәстүрлі өлшемдерден аулақ болуға және кез-келген ғимараттың нүктелік бұлттарын 1 мм дәлдікпен алуға мүмкіндік береді.

Өндірістік нысандарды қайта құруда, сәулет, құрылыс, тау-кен және басқа да бірқатар салаларда өзінің тиімділігін көрсеткен ату нысандарын лазерлік сканерлеудің заманауи технологиясы. Сканердің егжей-тегжейлі автоматтандырылған режимде егжейтегжейлі үш өлшемді түсірулерді жылдам орындауға мүмкіндік беретіндігін атап өту маңызды, бұл далалық жұмыс процесіне оператордың әсерін азайтады.

**Негізгі сөздер:** заманауи компьютерлік жүйелер, геодезиялық сала, лазерлік сканерлеу, үшөлшемді модель, ақпараттық модельдеу, құрылыстық тор.

**Zh. M. Aukazhieva\*, A. B. Darkenbayeva**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

\*e-mail: aukazhieva\_zh@mail.ru

## DEFINITION AND THEORETICAL BASIS OF LASER SCANNING

**Abstract.** In the presented scientific article, the researchers consider the experience of using laser-scanning technology, which makes it possible to shoot architectural, historical objects with the preservation of all elements and geometric parameters in electronic format.

In order to minimize errors, optimize and speed up work, designers increasingly turn to laser scanning organizations for help. This allows you to get away from traditional measurements and get point clouds of any building with an accuracy of 1 mm.

Modern technology of laser scanning of shooting objects, which has already shown its effectiveness in the reconstruction of industrial facilities, in architecture, construction, mining and a number of other areas. It is important to note that the scanner allows you to quickly perform detailed three-dimensional surveying in a substantially automated mode, which minimizes the operator's influence on the field work process.

**Keywords:** modern computer systems, geodetic industry, laser-scanning, three-dimensional model, information modeling, construction mesh.

<sup>1</sup>А.М. Сыздыкова\*, <sup>1</sup>Г.Н. Шайхова, <sup>2</sup>Б.Б. Кутум

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

\*e-mail: syzdykova\_am@mail.ru

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАРБУ ДЛЯ Т-СИММЕТРИЧНОЙ НЕЛОКАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ КОРТЕВЕГА-ДЕ ФРИЗА

**Аннотация.** Нелинейные уравнения в частных производных широко используются в качестве моделей для описания физических явлений в различных областях науки, таких как механика жидкости, физика твердого тела, физика плазмы, химическая физика, физика конденсированного состояния, оптические волокна, биология и геохимия. Одним из нелинейных уравнений в частных производных является комплексное модифицированное уравнение Кортевега-де Фриза. Это уравнение было предложено в качестве модели нелинейной эволюции плазменных волн и представляет собой физическую модель, которая включает распространение поперечных волн в модели молекулярной цепочки и в обобщенном упругом твердом теле.

В данной работе изучена нелокальная комплексная модифицированная система уравнений Кортевега-де Фриза с Т-симметрией. Эта нелокальная система получается редукцией типа Абловица-Мусслимани и является соответственно Т-симметричной нелокальной системой уравнений кмКдФ. Редукции типа Абловица-Мусслимани возникают из простых редукций по симметрии общих задач рассеяния АКНС. Для получения точных решений применяется метод преобразования Дарбу.

**Ключевые слова:** точное решение, преобразование Дарбу, кмКдФ система, Т-симметрия, нелокальность, Абловиц-Мусслимани

**Введение.** Нелинейные интегрируемые уравнения существуют во всех аспектах научных исследований и играют важную роль в физике. Существует множество нелинейных интегрируемых уравнений, которые имеют применение в динамике решетки, механике жидкости, электромагнетизме и т. д. [1-2]. Например, уравнение Кортевега-де Фриза описывает эволюцию слабодисперсных волн и волн малой амплитуды в квадратичных и кубических нелинейных средах соответственно. Интегрируемое нелинейное уравнение Шредингера, хорошо известно своим приложением в эволюции слабо нелинейных и квазимонохроматических волн в средах с кубическими нелинейностями. Для решения этих уравнений было проведено множество исследований и эффективных методов. Большинство этих интегрируемых уравнений являются локальными уравнениями, это означает, что эволюция решения зависит только от локального значения решения и его локальных пространственных и временных производных [3-6].

**Методы.** В 2013 году Абловиц и Мусслимани ввели нелокальное нелинейное уравнение Шредингера и получили его точные решения методом обратной задачи рассеяния [7]. После этого для этого уравнения и других уравнений было выполнено много работ [8-11]. Идея Абловица и Мусслимани заключалась в том, что в нелинейном интегрируемом уравнении эволюции нелокальный нелинейный член, например  $q^*(x, t)$  заменяется на

$q^*(-x,-t), q^*(x,-t)$ , или  $q^*(-x,t)$ . Применяя идею Абловица и Мусслимани для двумерных уравнений нами получены следующие нелокальные уравнения: при редукции  $r = q^*(-x,-y,t)$  S-симметричная нелокальная комплексная модифицированная система уравнений Кортевега-де Фриза [12], при редукции  $r = q^*(-x,-y,t)$  S-симметричное нелокальное нелинейное уравнение Шредингера [13], при редукции  $r = q^*(-x,-y,-t)$  ST-симметричная нелокальная комплексная модифицированная система уравнений Кортевега-де Фриза [14], при редукции  $r = q^*(x,y,-t)$  T-симметричное нелокальное нелинейное уравнений Шредингера [15].

**Основная часть.** В данной работе представлена T-симметричная нелокальная комплексная модифицированная система уравнений Кортевега-де Фриза при редукции  $r = q^*(x,y,-t)$ . Нелокальная система имеет следующий вид

$$iq_t + iq_{xxy} - vq + (\omega q)_x = 0, \quad (1)$$

$$v_x - 2i\delta(q_{xy}^*(x,y,-t)q - q^*(x,y,-t)q_{xy}) = 0, \quad (2)$$

$$\omega_x - 2i\delta(qq^*(x,y,-t))_y = 0. \quad (3)$$

где  $q(x,y,t)$  является комплексной функцией,  $v(x,y,t), w(x,y,t)$  действительные функции,  $\delta$  является действительной постоянной, символ \* звездочка означает комплексное сопряженное.

Соответствующее представление Лакса для системы уравнений (1)-(3) имеет вид

$$\Psi_x = U\Psi, \quad (4)$$

$$\Psi_t = 4\lambda^2\Psi_y + V\Psi, \quad (5)$$

где  $\Psi$  – собственные вектор

$$\Psi = \begin{pmatrix} f_1(\lambda, x, y, t) \\ f_2(\lambda, x, y, t) \end{pmatrix},$$

и  $U, V$  – матрицы имеют вид

$$U = -\lambda J + U_0, \quad (6)$$

$$V = \lambda V_1 + V_0. \quad (7)$$

В системе (6)-(7)  $J, U_0, V_0, V_1$  являются матрицами второго порядка:

$$J = \begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}, U_0 = \begin{pmatrix} 0 & q \\ -r & 0 \end{pmatrix},$$

$$V_0 = -\frac{v}{2}J + \begin{pmatrix} 0 & -q_{xy} - \omega q \\ r_{xy} + \omega r & 0 \end{pmatrix},$$

$$V_1 = \omega J + 2JU_{0y}, \Psi = \begin{pmatrix} f_1(\lambda, x, y, t) \\ f_2(\lambda, x, y, t) \end{pmatrix},$$

и  $r = \delta q^*$ , где  $\delta = \pm 1$ . В данной работе ограничимся случаем  $\delta = +1$ . Условие совместности для уравнений (1)-(3) является

$$U_t - V_x + [U, V] - 4\lambda^2 U_y = 0, \quad (8)$$

Где  $[U, V] = UV - VU$ . Подставляя (6)-(7) в (8) при  $r(x, y, t) = \delta q^*(x, y, -t)$  получим Т-симметричную нелокальную комплексную модифицированную систему уравнений Кортевега-де Фриза (1)-(3).

**Преобразование Дарбу.** В этом подразделе построим преобразование Дарбу для Т-симметричной нелокальной комплексной модифицированной системы уравнений Кортевега-де Фриза (1)-(3).

Функции  $\Psi$  и  $\Psi^{[1]}$  являются решениями системы

$$\Psi_x^{[1]} = U^{[1]}\Psi^{[1]} = (\Lambda J + U_0^{[1]})\Psi^{[1]}, \quad (9)$$

$$\Psi_t^{[1]} = 4\lambda^2 \Psi_y^{[1]} + V^{[1]}\Psi^{[1]} = 4\Lambda^2 \Psi_y^{[1]} + (\Lambda V_1^{[1]} + V_0^{[1]})\Psi^{[1]}. \quad (10)$$

Предполагаем, что эти два решения связаны следующим преобразованием линейной функции в виде:

$$\Psi^{[1]} = T\Psi = \Psi\Lambda - M\Psi, \quad (11)$$

где

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}, \Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что матрица Дарбу  $T$  удовлетворяет уравнениям

$$U^{[1]} = (T_x + TU)T^{-1}, \quad (12)$$

$$V^{[1]} = (T_t + TV - 4\lambda^2 T_y)T^{-1}. \quad (13)$$

Тогда отношения между функциями  $q, \nu, \omega$  и  $q^{[1]}, \nu^{[1]}, \omega^{[1]}$  может быть получено из (12)-(13), которые являются преобразованием Дарбу для Т-симметричной нелокальной системы уравнений кмКдФ. Сравнивая коэффициенты  $\lambda^i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) левой и правой частей системы (12)-(13) получим

$$U_0^{[1]} = U_0 + [M, J], \quad (14)$$

$$V_0^{[1]} = V_0 - MV_1 + (V_1 + 4M_y)M, \quad (15)$$

$$V_1^{[1]} = V_1 + 4M_y, \quad (16)$$

$$M_x = U_0^{[1]}M - MU_0, \quad (17)$$

$$M_t = V_0^{[1]}M - MV_0. \quad (18)$$

Из системы (14)-(18) можно получить связь между новыми и старыми решениями

$$q^{[1]} = q - 2im_{12}, \quad (19)$$

$$q^{*[1]}(x, y, -t) = q^*(x, y, -t) - 2im_{21}, \quad (20)$$

$$v^{[1]} = v + 4(m_{12}q_y^* + m_{12}^*q_y + 2im_{11}m_{11y} - 2im_{12}^*m_{12y}), \quad (21)$$

$$\omega^{[1]} = \omega - 4im_{11y} = \omega + 4im_{22y}, \quad (22)$$

сограничением  $m_{21} = -m_{12}^*(x, y, -t)$ ,  $m_{22} = m_{11}^*(x, y, -t)$ .

Допустим, что

$$M = H\Lambda H^{-1},$$

где

$$H = \begin{pmatrix} f_1 & g_1 \\ f_2 & g_2 \end{pmatrix}, \quad \Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix},$$

откуда  $(f_1, f_2)^T = (\psi_1(x, y, t), \psi_2(x, y, t))^T$  решения уравнений (4)-(5) при  $\lambda = \lambda_1$  и  $(g_1, g_2)^T = (\psi_2^*(x, y, -t), \psi_1^*(x, y, -t))^T$  решения при  $\lambda = -\lambda_1^* = \lambda_2$ .

Таким образом, можно получить явное выражение для матрицы  $M$ ,

$$M = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} m_{11} &= \lambda_1 f_1 f_1^*(x, y, -t) - \lambda_1^* f_2 f_2^*(x, y, -t), \\ m_{12} &= (\lambda_1 + \lambda_1^*) f_1 f_2^*(x, y, -t), \\ m_{21} &= (\lambda_1 + \lambda_1^*) f_2 f_1^*(x, y, -t), \\ m_{22} &= -\lambda_1^* f_1 f_1^*(x, y, -t) + \lambda_1 f_2 f_2^*(x, y, -t), \\ \Delta &= f_1 f_1^*(x, y, -t) + f_2 f_2^*(x, y, -t). \end{aligned}$$

Следовательно, новые решения для системы (1)-(3) примут следующий вид

$$q^{[1]} = q - 2im_{12}, \quad (24)$$

$$v^{[1]} = v + 4(m_{12}r_y^* + m_{12}^*q_y + 2im_{11}m_{11y} - 2im_{12}^*m_{12y}), \quad (25)$$

$$\omega^{(1)} = \omega - 4im_{11y}, \quad (26)$$

где

$$m_{11} = \frac{1}{\Delta}(\lambda_1 f_1 f_1^*(x, y, -t) - \lambda_1^* f_2 f_2^*(x, y, -t)),$$

$$m_{12} = \frac{1}{\Delta}((\lambda_1 + \lambda_1^*) f_1 f_2^*(x, y, -t)),$$

$$\Delta = f_1 f_1^*(x, y, -t) + f_2 f_2^*(x, y, -t).$$

**Точные решения.** В этом подразделе, получим точные решения для Т-симметричной нелокальной комплексной модифицированной системы уравнений Кортевега-де Фриза (1)-(3). Допуская, начальные решения в виде  $q = v = \omega = 0$ , найдем решения для системы уравнений (4)-(5)

$$f_1 = e^{-i\lambda_1 x + i\mu_1 y + 4i\lambda_1^2 \mu_1 t}, \quad (27)$$

$$f_2 = e^{i\lambda_1 x - i\mu_1 y - 4i\lambda_1^2 \mu_1 t}, \quad (28)$$

Подставляя собственные функции  $f_1, f_2$  из (27)-(28) и собственные значения  $\lambda_1 = \alpha_1 + i\beta_1$ ,  $\mu_1 = \eta_1 + i\nu_1$  в Дарбу преобразования (24)-(26), получим точные решения для системы уравнений (1)-(3) в следующем виде

$$q^{(1)} = -\frac{4i\alpha_1 e^{2i\chi}}{e^{2\theta} + e^{-2\theta}}, \quad (29)$$

$$v^{(1)} = 8i \left( \left( \frac{(\alpha_1 + i\beta_1)e^{2\theta} - (\alpha_1 - i\beta_1)e^{-2\theta}}{(e^{2\theta} + e^{-2\theta})} \right) \left( \frac{(\alpha_1 + i\beta_1)e^{2\theta} - (\alpha_1 - i\beta_1)e^{-2\theta}}{(e^{2\theta} + e^{-2\theta})} \right)_y - \right. \\ \left. - 4i \left( \frac{\alpha_1 e^{2i\chi}}{(e^{2\theta} + e^{-2\theta})} \right) \left( \frac{\alpha_1 e^{2i\chi}}{(e^{2\theta} + e^{-2\theta})} \right)_y \right), \quad (30)$$

$$\omega^{(1)} = -4i \left( \frac{(\alpha_1 + i\beta_1)e^{2\theta} - (\alpha_1 - i\beta_1)e^{-2\theta}}{(e^{2\theta} + e^{-2\theta})} \right)_y, \quad (31)$$

где

$$\theta = \beta_1 x - \nu_1 y + t(4i\eta_1(\alpha_1^2 - \beta_1^2) - 8i\alpha_1\beta_1\nu_1), \quad \chi = -\alpha_1 x + \eta_1 y + t(4i\nu_1(\alpha_1^2 - \beta_1^2) + 8i\alpha_1\beta_1\eta_1).$$

**Заключение.** В данной работе представлена Т-симметричная нелокальная система уравнений кмКдФ. Т-симметричная нелокальная система была получена редукцией типа Абловица-Мусслимани  $r(x, y, t) = \delta q^*(x, y, -t)$ . Построено преобразование Дарбу, на основе, которой получены точные решения Т-симметричной нелокальной системы уравнений кмКдФ.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, ИРН проект: AP08956932.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Wazwaz A.M. Partial differential equations and solitary waves theory, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [2]. Zakharov V. E., Shabat A. B. Exact theory of two-dimensional self-focusing and one-dimensional self-modulation of waves in nonlinear media // Sov. Phys. -1972.-JETP 34(1). -P.62–69.
- [3]. Bekova G., Yesmakhanova K., Myrzakulov R and Shaikhova G. Darboux Transformation and Soliton Solution for the (2+1)-dimensional Complex Modified Korteweg-de Vries Equations // J.Phys.: Conference Series -2017.-936. P. 012045 (1-9).
- [4]. Shaikhova G N., Bekova G., Yesmakhanova K., Ozat N. Dark and bright solitons for the two-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch system with time-dependent coefficient // Journal of Physics: Conference Series - 2018. Vol.-965. P. 012035 (1-10).
- [5]. Yesmakhanova K.R., Shaikhova G.N., Bekova G.T. Soliton solutions of the two-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch equations// J. Phys.: Conf. Ser.-2016. Vol.-738. P.-012018 (1-7).
- [6]. Шайхова Г.Н., Бекова Г.Т., Изгалиев И.Б. Метод гиперболического тангенса для эволюционного уравнения волновой динамики // Вестник КазННТУ им. К.И.Сатпаева/ Серия «Физико-математические науки».-2020.-№1(137).-С. 612-616.
- [7]. Mark J. Ablowitz1. and Ziad H. Musslimani Integrable Nonlocal Nonlinear Schrodinger Equation // Physical review letters -2013, Vol.-110 P. 064105 (1-5)
- [8]. Ablowitz M.J. and Musslimani Z.H. Integrable nonlocal nonlinear equations, Stud. Appl. Math. 1391. -2016.-P. 7–59.
- [9]. Fokas A S, Integrable multidimensional versions of the nonlocal nonlinear Schrodinger equation, Nonlinearity 29 -2016.-P.319–324.
- [10]. Gerdjikov V. S. and Saxena A. Complete integrability of nonlocal nonlinear Schrodinger equation // J. Math. Phys. 58. –P.-2017. 013502.
- [11]. Gurses M. and Pekcan A., Integrable Nonlocal Reductions // Sym, Diff. Eq. and Applic. 266, -2018. -P. 27–52.
- [12]. Bachtiryarkyzy Zh., Shaikhova G.S. and Shaikhova G.N., Exact solutions of the nonlocal complex modified Korteweg-de Vries system of equations, Bull. of L.N. Gumilyov Eurasian National University -2018.-N4(125). –P.34–39
- [13]. Nazarbek Zh., Yersultanova Z.S., Shaikhova G.N. Exact solutions of the (2+1)-dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation // Вестник КазННТУ им. Абая. Серия «Физико-математические науки». -2019. -№2 (66). -С. 85-88.
- [14]. Shaikhova G N., Serikbayev N., Yesmakhanova K., Myrzakulov R. Nonlocal complex modified Korteweg-de Vries equations: reductions and exact solutions // [Proceedings of the Twenty-First International Conference on Geometry, Integrability and Quantization.-2020.](#) P. 265 – 271.
- [15]. Syzdykova A.M., Shaikhova G.N., Kutum B.B. Two-dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation based on the Ablowitz - Musslimani symmetry condition // Вестник КазННТУ им. Абая. Серия «Физико-математические науки»-2020. -№4 (72). -С. 56-60.

REFERENCES

- [1]. Wazwaz A.M. Partial differential equations and solitary waves theory, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [2]. Zakharov V. E., Shabat A. B. Exact theory of two-dimensional self-focusing and one-dimensional self-modulation of waves in nonlinear media // Sov. Phys. -1972.-JETP 34(1). -P.62–69.
- [3]. Bekova G., Yesmakhanova K., Myrzakulov R and Shaikhova G. Darboux Transformation and Soliton Solution for the (2+1)-dimensional Complex Modified Korteweg-de Vries Equations // J.Phys.: Conference Series -2017.-936. P. 012045 (1-9).
- [4]. Shaikhova G N., Bekova G., Yesmakhanova K., Ozat N. Dark and bright solitons for the two-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch system with time-dependent coefficient // Journal of Physics: Conference Series - 2018. Vol.-965. P. 012035 (1-10).
- [5]. Yesmakhanova K.R., Shaikhova G.N., Bekova G.T. Soliton solutions of the two-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch equations// J. Phys.: Conf. Ser.-2016. Vol.-738. P.-012018 (1-7).



[6]. Shaikhova G N., Bekova G.T., Izgaliev I.B. Metod giperbolicheskogo tangensa dlja jevoljucionnogo uravnenija volnovoj dinamiki // Vestnik KazNITU im. K.I.Satpaeva/ Serija «Fiziko-matematicheskie nauki». -2020.-№1(137).-С. 612-616.

[7]. Mark J. Ablowitz<sup>1</sup>. and Ziad H. Musslimani Integrable Nonlocal Nonlinear Schrodinger Equation // Physical review letters -2013, Vol.-110 P. 064105 (1-5)

[8]. Ablowitz M.J. and Musslimani Z.H. Integrable nonlocal nonlinear equations, Stud. Appl. Math. 1391. -2016.-P . 7–59.

[9]. Fokas A S, Integrable multidimensional versions of the nonlocal nonlinear Schrodinger equation, Nonlinearity 29 -2016.-P.319–324.

[10]. Gerdjikov V. S. and Saxena A. Complete integrability of nonlocal nonlinear Schrodinger equation // J. Math. Phys. 58. –P.-2017. 013502.

[11]. Gurses M. and Pekcan A., Integrable Nonlocal Reductions // Sym, Diff. Eq. and Applic. 266, -2018. -P. 27–52.

[12]. Bachtiyarkyzy Zh., Shaikhova G.S. and Shaikhova G.N., Exact solutions of the nonlocal complex modified Korteweg-de Vries system of equations, Bull. of L.N. Gumilyov Eurasian National University -2018.-N4(125). –P.34–39

[13]. NazarbekZh., Yersultanova Z.S., Shaikhova G.N. Exact solutions of the (2+1)-dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation // Bulletin Abai Kazakh National Pedagogical University, Series of Physics & Mathematical Sciences -2019. -№2 (66). -С. 85-88.

[14]. Shaikhova G N., Serikbayev N., Yesmakhanova K., Myrzakulov R. Nonlocal complex modified Korteweg-de Vries equations: reductions and exact solutions // [Proceedings of the Twenty-First International Conference on Geometry, Integrability and Quantization.-2020](#). P. 265 – 271.

[15]. Syzdykova A.M., Shaikhova G.N., Kutum B.B. Two-dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation based on the Ablowitz - Musslimani symmetry condition // Bulletin Abai Kazakh National Pedagogical University, Series of Physics & Mathematical Sciences-2020. -№4 (72). -С. 56-60.

<sup>1</sup>А.М.Сыздыкова\*, <sup>1</sup>Г.Н.Шайхова, <sup>2</sup>Б.Б. Кутум

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан,

<sup>2</sup>Е.А. Букетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail: syzdykova\_am@mail.ru

### **Т-СИММЕТРИЯЛЫ ЛОКАЛЬДЫ ЕМЕС КОМПЛЕКСТІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН КОРТЕВЕГ-ДЕ ФРИЗ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІ ҮШІН ДАРБУ ТҮРЛЕНДІРУІ**

**Аңдатпа.** Сызықтық емес дербес дифференциалдық теңдеулер қатты денелер физикасы, сұйықтық механикасы, плазма физикасы, химиялық физика, конденсирленген күй физикасы, оптикалық талшықтар, биология және геохимия сияқты физикалық құбылыстарды сипаттайтын модельдер ретінде кеңінен қолданылады. Сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулердің бірі комплексті түрлендірілген Кортевег-де Фриз теңдеуі болып табылады. Бұл теңдеу плазмалық толқындардың сызықтық емес эволюциясының моделі ретінде ұсынылды, ол көлденең толқындардың молекулалық тізбек моделінде және жалпыланған серпімді қатты денеде таралуын қамтитын физикалық модель болып табылады.

Бұл жұмыста Т-симметриялы локальды емес комплексті модификацияланған Кортевег-де Фриз теңдеулер жүйесі қарастырылды. Бұл локальды емес жүйе Абловиц-Муслиmani редукциясы типі ретінде алынды және ол сәйкесінше кмКдФ теңдеулерінің Т-симметриялы локальды емес жүйесі болып табылады. Абловиц-Муслиmani типінің редукциясы АКНС шашырау есебінің қарапайым симметриялы редукцияларынан туындайды. Нақты шешім алу үшін Дарбу түрлендіру әдісі қолданылды.

**Негізгі сөздер:** нақты шешім, Дарбу түрлендіруі, кмКдФ жүйесі, Т-симметрия, локальды емес, Абловиц-Муслиmani

<sup>1</sup>A.M. Syzdykova\*, <sup>1</sup>G.N. Shaikhova, <sup>2</sup>B.B. Kutum

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>E.A. Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan

\*e-mail: syzdykova\_am@mail.ru

## DARBOUX TRANSFORMATION FOR T-SYMMETRIC NONLOCAL COMPLEX MODIFIED KORTEWEG-DE VRIES SYSTEM OF EQUATIONS

**Abstract.** Nonlinear partial differential equations are widely used as models to describe physical phenomena in various fields of sciences such as fluid mechanics, solid-state physics, plasma physics, chemical physics, condensed matter physics, optical fibers, biology, and geochemistry. One of the nonlinear partial differential equations is the complex modified Korteweg-de Vries equation. This equation has been proposed as a model for the nonlinear evolution of plasma waves and is the physical model that incorporates the propagation of transverse waves in a molecular chain model, and in a generalized elastic solid

In this paper, we study the T-symmetry nonlocal complex modified Korteweg-de Vries system of equations. This nonlocal system is obtained by Ablowitz-Musslimani type of reduction and is respectively T-symmetric nonlocal cmKdV system of equations. The Ablowitz - Musslimani type of reductions arises from remarkably simple symmetry reductions of general AKNS scattering problems. The method of the Darboux transformation is applied to obtain exact solutions.

**Keywords:** exact solution, Darboux transformation, cmKdVsystem, T-symmetry, nonlocal, Ablowitz-Musslimani.

<sup>1</sup>У.К. Турусбекова\*, <sup>1</sup>С.А. Алтынбек, <sup>2</sup>А.С. Тургинбаева, <sup>1</sup>Л. Мерейхан

<sup>1</sup>Казахский университет экономики, финансов и международной торговли,  
Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

\*e-mail: umut.t@mail.ru

## ПОСТРОЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ ПОЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРИВОДИМЫХ МНОГОЧЛЕНОВ

**Аннотация.** С увеличением количества информации усугубляются проблемы, связанные с большими объемами данных, которые в дальнейшем требуют реализации процессов хранения, передачи или обработки. Работа с большими объемами файлов существенно усложняет указанные процессы, в связи с чем возникает необходимость в существовании алгоритмов, позволяющих сжимать объемы файлов до необходимого размера, приемлемого для их эффективной обработки.

Важную роль в процессе взаимодействия с файлами играют хеш-функции. Использование хеш-функций подразумевает преобразование исходных данных по определенному алгоритму в последовательность фиксированной длины. Это позволяет значительно ускорить поиск среди большого количества файлов для просмотра, изменения или удаления, для сравнения файлов, для проверки неизменяемости в тех случаях, когда данные не должны изменяться посторонними лицами. Таким образом, хеширование используется во всех областях, где возникает вопрос о хранении, передаче или обработке данных в виде файлов, а именно в криптографии, компьютерной графике, при организации данных на компьютере и в Интернете.

На практике используются функции, для которых теоретическая вероятность возникновения коллизий близка к нулю, но с появлением более мощных вычислительных инструментов поиск коллизий может оказаться не такой неопределимой задачей. По этой причине существующие алгоритмы требуют постоянного улучшения. Особую роль в этом играет проблема теории сложности, а именно алгебраическая теория чисел. В настоящее время теория чисел широко используется в криптографии; однако этого недостаточно, когда появляются эффективные алгоритмы факторизации. В связи с этим, возникает необходимость в использовании теории конечных полей. Расчеты в таких полях позволяют выполнять операции в выбранном конечном поле над его элементами, не выходя за его пределы, а также делает хеш-функции устойчивыми к восстановлению исходных данных. Поэтому в статье рассматриваются полиномиальные функции с использованием деления по модулю неприводимого многочлена в конечных полях. Использование неприводимых многочленов над конечными полями может быть более эффективным средством защиты.

Основная цель данной статьи - построение хеш-функции на основе теории конечных полей. Рассмотрены стандартные криптографические хеш-функции для алгоритмов цифровой подписи. Проанализированы методы хеширования различных типов исходных данных. Предложен метод хеширования текстовых файлов с помощью неприводимых многочленов. Результаты статьи могут быть использованы в криптографических приложениях и теории кодирования.

**Ключевые слова:** хеш-функция, конечное поле, неприводимый многочлен, электронная цифровая подпись, коллизия.

**Введение.** Экспоненциальный характер роста объема информации влечет за собой необходимость создания новых систем защиты информации и аутентификации, а также инструментов, которые обеспечивают возможность уменьшения объема памяти, необходимой для удобства хранения и передачи больших файлов. Хеш-функция - такой инструмент. Эти функции позволяют преобразовать последовательность входных данных произвольной длины в определенную последовательность фиксированной длины с помощью определенного алгоритма. Алгоритм и длина выходной последовательности должны точно определяться важностью преобразуемых данных. Начальные данные называются «сообщением» или «ключом», а результат хеш-функции - «хеш-кодом», «хешем» или

«сверткой». Результат хэш-функции также можно определить как контрольную сумму, которая однозначно проверяет целостность данных, переданных в цифровом виде. В данной статье мы исследуем методы построения криптографических хэш-функций и их использование в алгоритмах электронной цифровой подписи, а также как средство ускорения поиска в различных структурах данных.

При разработке таких систем следует учитывать уязвимость хэш-функций. Мощности набора  $M$  входных последовательностей и набора возможных значений свертки  $H(M)$  могут быть найдены в любом соотношении. Как правило, набор входных данных  $M$  имеет большую размерность, чем набор всех возможных значений свертки  $H(M)$ , это может приводить к преобразованию разных сообщений в равные значения свертки. Такой случай называется «коллизией», и это один из важных факторов, который необходимо учитывать при построении алгоритмов хеширования. Чем ниже вероятность коллизий, тем надежнее алгоритм.

Коллизии являются основными уязвимостями хэш-функций, этот факт следует учитывать при разработке различных алгоритмов хеширования в криптографических системах, а также в некоторых структурах данных, например в хэш-таблицах. Хэш-таблицы разработаны для ускорения поиска в базах данных путем хранения пары (хэш) значений «ключ» и «адрес». Возникновение коллизий неизбежно в алгоритмах, где переменная длина входных данных хешируется в значения фиксированной длины. Коллизии затрудняют выполнение операций в таблицах, потому что разные ключи будут соответствовать одному и тому же значению, что неудобно при работе с большими данными, особенно при большом количестве коллизий. Исходя из этого, необходимы методы, которые могут разрешать конфликты в хэш-таблицах.

Основными инструментами разрешения коллизий в хэш-таблицах являются методы раздельной цепочки и открытой адресации. Метод отдельной цепочки включает объединение ключей с одним и тем же адресом в связанный список, и эти списки могут быть упорядоченными или неупорядоченными [1]. Выбор типа связанных списков зависит от целей реализации, поскольку при попытке организовать ключи с одинаковыми хэшами в упорядоченных списках он может выполнять операции с данными с большей скоростью. Однако использование неупорядоченных списков более целесообразно с точки зрения экономии памяти устройства. Также следует учитывать, что эффективность использования раздельной цепочки зависит от среднего количества элементов в списке. Чем он больше, тем медленнее работает метод. В отличие от этого метода, общедоступные списки не используют связанные списки. Одним из методов открытой адресации является метод линейного зондирования. Идея этого метода состоит в том, чтобы найти элемент с ключом, равным ключу поиска, и разрешить конфликты, поместив элемент в пустое место в таблице. В этом методе списки не используются, это помогает экономить память, но скорость нахождения пустого места в таблице зависит от ее разреженности [1]. Если таблица сильно загружена, может потребоваться большое количество зондирований. Если таблица заполнена полностью, это приведет к бесконечному количеству зондирований, что делает этот метод непригодным для разрешения коллизий.

Основная задача статьи - проанализировать существующие алгоритмы хеширования и построить метод, основанный на теории конечных полей.

**Материал и методы.** В процессе взаимодействия с файлами важную роль играют хэш-функции. В 1976 году Диффи и Хеллман впервые подчеркнули необходимость построения однонаправленной функции как составной части схемы цифровой подписи [2]. Этот год можно считать отправной точкой развития хэш-функций.

На данном этапе развития теории хеширования нет четкого определения понятия «хэш-функция», а также четкой классификации методов хеширования. По определению Д.Е. Кнут, хэш-функция преобразует любой возможный ключ  $K$  (исходные данные) в номер списка  $h(K)$

в диапазоне от 1 до  $m$ . Это верно для структур данных, в которых хранятся значения ключа и его номера [1], [3].

Хеш-функции используются в качестве строительного блока во многих приложениях. В криптографии хеш-функции предназначены для преобразования необработанных данных в последовательность фиксированной длины для проверки неизменности данных в процессах хранения или передачи [4]. Примером таких данных могут быть ценные бумаги или пароли, которые нельзя менять и которые доступны ограниченному кругу лиц.

Некоторые хэш-функции, используемые в настоящее время, оказались уязвимыми. В работе [5] автор утверждает, что их замены должны основываться на математической теории. В работе [6] исследованы потенциальные математические принципы и структуры, которые могут обеспечить основу для криптографических хеш-функций, а также представить простую и эффективно вычисляемую хеш-функцию, основанную на неассоциативной операции с многочленами над конечным полем характеристики 2. Общий обзор хеш-функций приведен в работе [7]. В работе [8] в хронологическом порядке развития приведены основные принципы построения алгоритмов хеширования. Одним из возможных способов построения хеш-функции является использование деления по модулю неприводимого многочлена [9]. В работе [10] описан метод построения хеш-функций, основанный на вычислении остатка от деления на неприводимый многочлен. Кроме того, рассмотрена проблема поиска неприводимых многочленов. Представлены результаты использования различных неприводимых многочленов и их анализ. Проблема поиска неприводимых многочленов также рассмотрена в работе [11].

В представленной работе проанализированы методы хеширования различных типов исходных данных, а также предложен метод хеширования текстовых файлов с помощью неприводимых многочленов.

**Криптографические хеш-функции в алгоритмах цифровой подписи.** Хеш-функции широко используются в различных криптосистемах. Криптографическая хеш-функция должна удовлетворять ряду требований, характерных для криптографических методов защиты информации, а именно [12]:

- устойчивость к поиску первого прототипа. Это означает, что невозможно создать эффективный полиномиальный алгоритм, который в реальном времени восстанавливает сообщение  $M$  своей сверткой  $H(M)$ ;

- устойчивость к поиску второго прототипа. Невозможно найти такое сообщение  $N$ , что  $N \neq M$  и  $H(M) = H(N)$ , зная  $M$  и  $H(M)$ ;

- устойчивость к столкновениям второго рода. Невозможно выбрать пару разных сообщений  $N \neq M$ , для которых значения хеш-функций были бы одинаковыми  $H(M) = H(N)$ ;

- при незначительном изменении исходного сообщения результат хеш-функции должен сильно отличаться, то есть иметь лавинообразный эффект.

Эти свойства независимы и должны рассматриваться только в совокупности. Каждое свойство позволяет использовать хеш-функции в криптографии, системах аутентификации, различных структурах данных для поиска, а также в компьютерной графике и вычислительной геометрии.

На данный момент существование необратимой хеш-функции остается недоказанным фактом и является нерешенной проблемой в компьютерных науках. Обычно поиск обратного значения является сложной вычислительной задачей.

Криптографические хеш-функции широко используются в алгоритмах электронной цифровой подписи. Использование хэш-функций не обязательно, но это удобный инструмент для преобразования необработанных данных в последовательность фиксированной длины, что значительно снижает вычислительную сложность применения цифровой подписи к такой последовательности.

Электронная цифровая подпись служит средством аутентификации, а не средством защиты информации. К цифровым подписям предъявляются следующие требования [13]:

1. Гарантия целостности информации в процессах ее передачи и хранения.
2. Предоставление доступа к информации исключительно ее законным пользователям.
3. Абсолютная аутентификация информации в соответствии с выбранными формами ее представления.
4. Невозможность отказа от авторства.
5. Гарантия прослеживаемости информации за счет последовательного анализа динамики формирования информационных сообщений в полном объеме.

Вышеуказанные требования позволяют использовать инструмент электронной цифровой подписи в экономических обязательствах и в других сферах, а также в системах, требующих однозначной идентификации участников. Такие документы могут содержать несколько электронных подписей, определяющих согласие всех вовлеченных в процесс подписания участников.

Схема алгоритма создания и проверки электронной подписи следующая [12]:

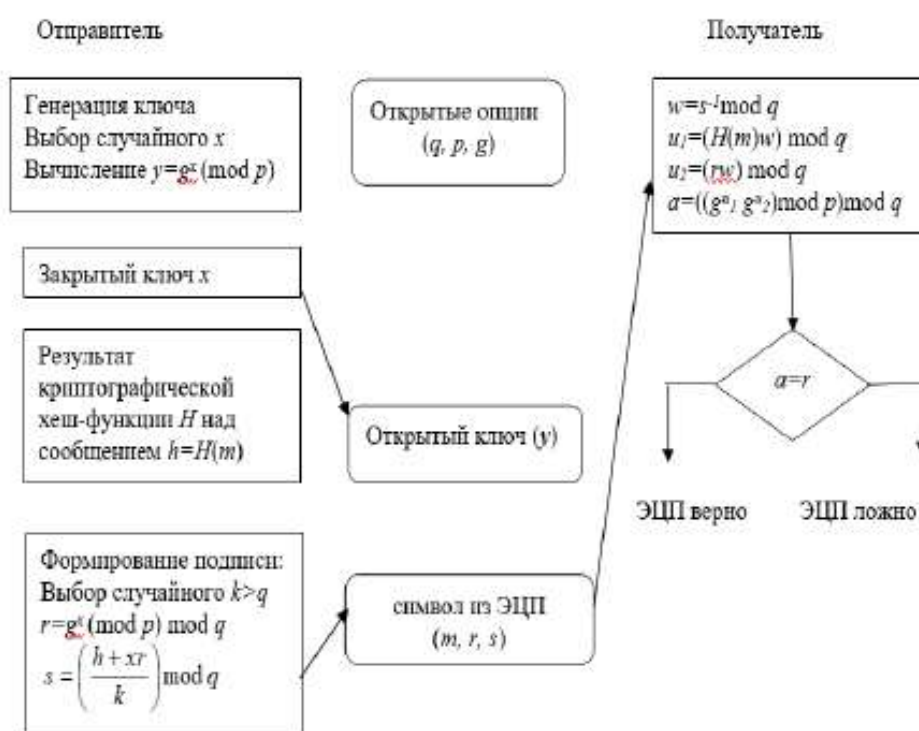


Рисунок 1. Схема алгоритма создания и проверки электронной подписи.

Из этой схемы видно, что формирование электронной подписи подписывает не сам документ или сообщение, а его свертку, то есть результат применения криптографической хеш-функции. Такая функция должна соответствовать требованиям для криптографических хеш-функций. Нет необходимости каждый раз работать с большим объемом данных, а только с их сверткой.

При разработке алгоритмов криптографических хеш-функций для систем цифровой подписи большое внимание уделяется последнему свойству, так как оно гарантирует целостность информации. Получатель должен получить сообщение в точности так, как отправитель хотел отправить, исключая возможность перехвата и изменения сообщения. В случае случайного или умышленного изменения документа электронная подпись будет считаться недействительной, поскольку рассчитывается по специальному алгоритму на

## • Физико-математические науки

основе исходного документа и соответствует только ему. Как следствие, подделка документов в большинстве случаев становится нецелесообразной.

В алгоритмах электронной цифровой подписи хэш-функция является отдельным компонентом и может выбираться в зависимости от индивидуальных требований системы, а также может изменяться в процессе ее улучшения или для обеспечения динамического изменения системы защиты, когда она подвергается воздействию. к несанкционированному доступу.

Такие хеш-функции, как MD5, RIPEMD-160 и SHA-1 широко используются в алгоритмах цифровой подписи. Каждый из них является обобщением алгоритма MD4 и носит итерационный характер [11].

Цифровая подпись должна обладать определенной стабильностью, иначе ее полезность может вызвать сомнения. Алгоритм MD5 - один из многих алгоритмов, гарантирующих необходимый уровень защиты. Этот алгоритм более устойчив к атакам с коллизиями, чем MD4, но он не является неуязвимым, поскольку было показано, что можно создать несколько разных сообщений с одним и тем же хеш-значением. В SHA-1 улучшен лавинный эффект. Более длинное хеш-значение можно получить с помощью алгоритма SHA-1, а его устойчивость к аналогичным атакам делает этот алгоритм более безопасным, чем MD5, но уступает по производительности. Функция RIPEMD-160 по производительности сравнима с SHA-1. В таблице 1 приводится сравнение производительности вышеуказанных алгоритмов [14].

Таблица 1. Таблица сравнения производительности хеш-алгоритмов

Алгоритм	Количество циклов	Скорость Мбит/с	Относительная производительность
MD4	241	191.2	1.00
MD5	337	136.7	0.72
SHA-1	837	55.1	0.29
RIPEMD-160	1013	45.5	0.24

Упомянутые выше алгоритмы относятся к классу специализированных хеш-функций. Также существуют алгоритмы на основе блочных шифров (MDC-2, MDC-4) и модульной арифметики (MASH-1, MASH-2). Такие алгоритмы имеют большую вычислительную сложность и низкую скорость. Алгоритмы, основанные на модульной арифметике, не получили широкого распространения в криптографии из-за особых требований к программному и аппаратному обеспечению.

Специализированные методы просты в реализации, поэтому широко используются не только в электронных цифровых подписях, но и в других системах защиты информации и аутентификации. Следует отметить, что такие методы более уязвимы и могут быть атакованы методами криптоанализа.

При использовании криптографических хеш-функций в алгоритме электронной цифровой подписи важна разрядность выходной последовательности, так как она должна соответствовать стандартам, предлагаемым для документов разного уровня значимости. Таким образом, оптимальный размер выходной последовательности составляет 160 - 256 бит. Следует учитывать, что эти цифры будут корректироваться в большей степени с ростом возможностей техники.

**Хеш-функции для разных типов исходных данных.** Методы, которые будут обсуждаться в этом подразделе, предназначены для преобразования массивов исходных целочисленных данных. Такие методы применимы в случаях, когда необходимо отобразить один числовой набор в другой или если исходные данные другого типа предварительно преобразуются в целые числа с помощью определенных алгоритмов.

Один из самых известных методов - метод деления [1]. Основная операция - деление по модулю, и хэш вычисляется как остаток от деления на количество всех возможных значений хеш-функции:

$$H(k)=k(\text{mod } M)$$

где  $k$  - ключ (входные данные),  $M$  - количество всех возможных хеш-кодов. Чтобы избежать большого количества коллизий, лучше выбрать простое число в качестве значения  $M$  и избежать выбора чисел по степени с основанием 2. Эта функция называется модульной. Этот метод эффективен, потому что хеш-распределение равномерно в промежутке  $[0; M-1]$ . Такой метод имеет высокую вычислительную сложность для больших значений  $M$ , что делает его непригодным для использования.

Другой метод, основанный на делении, - это нахождение хэша с использованием коэффициентов многочлена, которые получаются из остатка от деления исходных данных  $K$ , представленных в виде многочлена  $K(x)$  на предварительно выбранный многочлен  $P(x)$  по модулю 2 [15]:

$$K(x)\text{mod } P(x)=h_{m-1}x^{m-1}+\dots+h_1x+h_0$$

$$H(x)=h_{m-1}\dots h_1h_0$$

где  $h_i$  - остатки от деления многочлена,  $i = \overline{0, m-1}$ .

Как и в предыдущем случае, правильный выбор многочлена  $P(x)$  минимизирует вероятность коллизий между почти идентичными входными данными. В этом случае в качестве многочлена целесообразно использовать неприводимые многочлены. Они аналогичны простым числам в теории конечных полей. В данной статье будет проанализирована теория неприводимых многочленов. Методы, основанные на модульной арифметике, имеют большую вычислительную сложность, особенно при больших исходных данных.

Метод умножения используется в дополнение к методам, основанным на делении. Для вычисления хэш-кода методом умножения необходимо использовать хеш-функцию [14]:

$$H(k)=\lfloor M * (K * A) \rfloor$$

где  $A$  - рациональное число в диапазоне  $[0, 1]$ ,  $M$  - число всех возможных хеш-кодов,  $\{ \}$  - операция взятия дробной части,  $( )$  - скобки приоритета,  $\lfloor \rfloor$  - это операция взятия целой части числа.

Желательно выбрать значение  $M$  как степень двойки, потому что это переход к цифрам в компьютере и его можно быстро вычислить. Для равномерного распределения хеш-кодов важно выбрать соответствующее значение  $A$ . Чаще всего выбирается  $A \approx 0,6180339887$ , этот выбор основан на свойствах золотого сечения [16].

Метод свертки также используется как хэш-функция. Входные данные делятся на несколько частей, после чего выполняются операции сложения или неидентификации. Если значения двух цифр равны (0 или 1), то операция отсутствия идентичности дает 0, в противном случае -1 [16].

Существует много других хэш-функций, объем которых зависит от набора хешированных ключей. Невозможно однозначно определить, какую из функций выбрать, без учета характера входных значений. Когда выбирается хеш-функция, важно вычислять ее эффективно, поскольку поиск объекта за одну попытку не будет более эффективным, если на эту попытку затрачено больше времени, чем на несколько попыток с альтернативным



методом. Необходимо учитывать тот факт, что сжатие информации в системах защиты является неотъемлемой частью системы и должно выполняться в разумные сроки при обеспечении надлежащей надежности.

Эти методы широко используются при сжатии документов, которые будут подписаны или переданы по сети. Если исходные данные не являются числом, то перед применением хэш-функций, описанных выше, их необходимо преобразовать в целые числа. Например, для символьной строки как двоичного числа можно интерпретировать внутреннее двоичное представление кода для каждого символа.

Недостатком таких методов является то, что для большинства компьютеров двоичные представления всех букв или цифр очень похожи друг на друга. Чтобы избежать таких ситуаций, были созданы метод слияния и метод взвешивания для строковых входных данных.

В методе слияния с порядковым номером в ANSI-последовательности каждой буквы используется создание целого числа [16]. Когда есть некоторое целочисленное представление строки символов, то для того, чтобы убедить ее в приемлемом размере, можно использовать метод свертки или метод середины квадрата, который был дан ранее в работе.

Метод взвешивания использует значение позиции каждого символа, чтобы избежать коллизий при использовании анаграмм (перестановка букв определенного слова или фразы, которая приводит к другому слову или фразе) в качестве ключей [16]. В статье будет предложен метод хеш-функций, основанный на теории конечных полей.

**Результаты и обсуждения. Построение хеш-функций, основанное на теории конечных полей.** Конечные поля широко используются в криптосистемах. Большое количество криптографических протоколов и криптосистем основано на теории конечных полей. Алгоритмы, основанные на эллиптических кривых, которые являются одним из ключевых объектов исследования в современной криптографии, также используют конечные поля.

Конечное поле - это конечное множество, на котором определены произвольные операции, называемые сложением, умножением, вычитанием и делением (кроме деления на 0). Конечное поле обычно обозначается как  $F_q$ , где  $q$  - порядок поля, который всегда является степенью простого числа, его называют характеристикой поля [17]. Наиболее распространенным полем является  $F_p = Z_p$ , состоящее из всех остатков  $\{0, 1, \dots, p-1\}$  от деления по модулю простого числа  $p$ . Операции в таких полях соответствуют правилам модульной арифметики.

Конечные поля удовлетворяют ряду следующих свойств [18]:

1) Характеристика конечного поля  $F$  отлична от нуля и является простым числом.  
2) Для любых двух элементов  $a$  и  $b$  конечного поля с характеристикой  $p$  выполняется равенство:

$$(a + b)^p = a^p + b^p .$$

3) Любое конечное поле содержит  $p^k$  элементов, где  $p$  - характеристика поля,  $k$  - некоторое натуральное число.

4) Для заданных  $p$  и  $k$  существует единственное поле из  $p^k$  элементов с точностью до изоморфизма, которое обозначается  $F_{p^k}$ .

5) Мультипликативная группа  $F_{p^k}^*$  ненулевых элементов поля  $F_{p^k}$  целиком порождается степенями некоторого элемента поля (она циклическая). Изучение мультипликативных групп имеет прикладное значение в криптографии, а также в задачи возведения в степень или извлечения корней [17].

Поле  $F_{p^k}$  может быть построено как фактор-кольцо  $F_p[x]/f(x)$ , где  $f(x)$  - неприводимый многочлен над полем. Чтобы построить поле из элементов, достаточно найти неприводимый многочлен степени  $k$  над полем  $F_p$  и такой многочлен существует всегда [18].

Многочлен  $f(x) \in F[x]$  неприводим над полем  $F$  или в кольце  $F[x]$ , если он имеет положительную степень и равенство  $f(x) = g(x)h(x)$ , где  $g(x), h(x) \in F[x]$  выполняется, только если  $g(x)$  или  $h(x)$  – постоянный многочлен (степень многочлена  $\leq 0$ ) [18].

Можно построить методы хеширования на основе теории неприводимых многочленов. Результат этого метода следующий. Информационная последовательность вводится в алгоритм, который разбивается на структурные элементы - символы. Каждый символ в последовательности ANSI имеет порядковый номер, представленный как число. Простое число  $p$  выбирается в зависимости от количества возможных символов  $k$  в тексте, подаваемом на вход, оно удовлетворяет условию  $p \geq k$ . Далее, для преобразования этих символов целесообразно использовать неприводимый на поле характеристики  $p$  многочлен. Хеш-значение каждого символа можно получить, подставив его порядковое значение (в последовательности ANSI) в качестве аргумента неприводимого многочлена, а затем разделив его на простое число  $p$  по модулю. Чтобы получить хеш-значение всего текста, необходимо просуммировать хеш-значения каждого символа.

Этот метод эффективен для преобразования и сжатия исходных текстовых данных в указанный диапазон значений. Результатом этого преобразования является целочисленное значение свертки, что упрощает его использование в дальнейшем.

Использование неприводимых многочленов в качестве хеш-функции минимизирует вероятность коллизий. Это основано на том факте, что неприводимый многочлен не имеет корней в данном поле, и когда значение аргумента подставляется, функция не будет равна нулю. Можно выбрать те же числа, которые будут корнями этого многочлена и дадут нулевое значение, используя приводимый многочлен над заданным полем. Это означает, что некоторые символы можно заменить или полностью удалить, это не изменит окончательное значение хеш-функции. Таким образом, в таких алгоритмах целесообразно применять в точности неприводимые многочлены.

Однако такие методы дороги с точки зрения времени работы алгоритма и его вычислительной сложности для больших объемов входных данных. Кроме того, отдельной проблемой является выбор неприводимого многочлена над полем, который зависит от размерности исходных данных. Чем больше размерность исходных данных, тем сложнее задача нахождения неприводимого многочлена над полем данной характеристики простого числа.

Отдельный вопрос - это поиск простого числа из набора простых чисел. Основная проблема заключается в построении алгоритма факторизации простых множителей для определения простоты данного числа. К такому числу должны предъявляться особые требования, и поиск числа с заданными свойствами и размерностью, удовлетворяющего криптографическим системам, является другой сложной задачей.

**Заключение.** Как уже отмечалось ранее, хеш-функции могут использоваться в системах защиты информации и аутентификации, а также при формировании оптимальных структур данных. В ходе работы были проанализированы разрешения коллизий в таблицах данных. Рассмотрены методы хеширования целочисленных и строковых исходных данных с определением их достоинств и недостатков.

Также был предложен метод построения хеш-функции, основанный на теории конечных полей, с использованием неприводимого полинома над выбранным конечным полем характеристики простых чисел. Доказано, что этот метод устойчив к столкновениям. Но в то же время у него есть недостаток в смысле вычислительной сложности из-за работы с

большими массивами входных данных. Также должен быть построен эффективный метод нахождения простого числа заданной размерности.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Министерством науки и образования Республики Казахстан (грант «Интеллектуальная система поддержки и контроля дистанционных образовательных технологий», 2020-2022 годы, № AP08856687).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sedgewick R. Fundamental algorithms on C++.- Kyiv: Publishing house "DiaSoft".- 2001.- 688 p.
- [2] Whitfield Diffie, Martin E. Hellman. New directions in cryptography // IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-22, No. 6.- 1976. - P. 644-654.
- [3] Graham R., Knuth D. Concrete mathematics. A foundation for computer scienc .- 1998. - 703 p.
- [4] Шнайер Б. Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы, исходные тексты на Си / пер. с англ.; под ред. Н. Дубновой. - Изд. 2-е.- М.: Диалектика, 2003. – 610 с.
- [5] Landau S. Find Me a Hash // Notices Amer. Math. Soc. – 2006. - V.53. – P. 330-332.
- [6] Shpilrain V. Hashing with Polynomials // Information Security and Cryptology – ICISC 2006. - LNCS 4296. - Springer, 2006. - P. 22-28. DOI: [https://doi.org/10.1007/11927587\\_4](https://doi.org/10.1007/11927587_4)
- [7] Menezes A., P. van Oorschot, S Vanstone. Handbook of Applied Cryptography, CRC Press, 1997.
- [8] Аvezova Я.Э. Современные подходы к построению хеш-функций на примере финалистов конкурса SHA-3 // Вопросы кибербезопасности.- 2015.- №3(11).- с.60-67.
- [9] Хомич Э. А. Неприводимые многочлены над конечными полями и связь с криптографией // Academic Publicistics.- 2017.-№3.- с. 19-22.
- [10] Турусбекова У.К., Тургинбаева А.С. Хеширование на основе многочленов// Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика.- 2020.-№3(107).-с.74-83.
- [11] Abdumanapov S., Turusbekova U., Turginbayeva A., Altynbek S. Research of irreducible normal polynomials special type over a field of characteristic 2 // IAENG International Journal of Applied Mathematics. - 2020.-V.50(4). – P. 777-782.
- [12] Smart. N. Cryptography. - Moscow: Techno sphere. - 2005.- 528 p.
- [13] Vostrov G., Bezrukova Yu. Modeling of dynamic data protection processes based on a discrete logarithm // ELTECS.-2017.
- [14] <https://ru.wikipedia.org/wiki/RIPEMD-160>
- [15] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хеширование>.
- [16] [https://studopedia.ru/2\\_80095\\_funktsiiheshirovaniya.html](https://studopedia.ru/2_80095_funktsiiheshirovaniya.html)
- [17] Лидл Р., Нидеррайтер Х. Конечные поля. - в 2 т. / пер. с англ.; под ред. В.И. Нечаева. - М.: Мир.- 1988.- Т.1.- 430 с.
- [18] Crandall R. E., Pomerance C. B. Prime Numbers: cryptographic and computational aspects, Transl. from English / Ed. and with a preface by V. Chubarikova.-Moscow: URSS: Book House "LIBROKOM", -2011.- 664 p.

#### REFERENCES

- [1] Sedgewick R. Fundamental algorithms on C++.- Kyiv: Publishing house "DiaSoft".- 2001.- 688 p.
- [2] Whitfield Diffie, Martin E. Hellman. New directions in cryptography // IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-22, No. 6.- 1976. - P. 644-654.
- [3] Graham R., Knuth D. Concrete mathematics. A foundation for computer scienc .- 1998. - 703 p.
- [4] Shnaier B. Prikladnaya kriptografiya: protokoly, algoritmy, iskhodnye teksty na Ci / per. s angl.; pod red. N. Dubnovoi. - Izd. 2-е.- М.: Диалектика, 2003. – 610 s.
- [5] Landau S. Find Me a Hash // Notices Amer. Math. Soc. – 2006. - V.53. – P. 330-332.
- [6] Shpilrain V. Hashing with Polynomials // Information Security and Cryptology – ICISC 2006. - LNCS 4296. - Springer, 2006. - P. 22-28. DOI: [https://doi.org/10.1007/11927587\\_4](https://doi.org/10.1007/11927587_4)
- [7] Menezes A., P. van Oorschot, S Vanstone. Handbook of Applied Cryptography, CRC Press, 1997.
- [8] Avezova Ya.E. Sovremennye podkhody k postroeniyu khash-funktsii na primere finalistov konkursa SHA-3 // Voprosy kiberbezopasnosti.- 2015.- №3(11).- s.60-67.
- [9] Khomich E. A. Neprivodimye mnogochleny nad konechnymi polyami i svyaz' s kriptografiei // Academic Publicistics.- 2017.-№3.- s. 19-22.

- [10] Turusbekova U.K., Turginbaeva A.S. Khashirovanie na osnove mnogochlenov// Vestnik KazNU. Seriya matematika, mekhanika, informatika.- 2020.-№3(107).-s.74-83.
- [11] Abdymanapov S., Turusbekova U., Turginbayeva A., Altynbek S. Research of irreducible normal polynomials special type over a field of characteristic 2 // IAENG International Journal of Applied Mathematics. - 2020.-V.50(4). – P. 777-782.
- [12] Smart. N. Cryptography. - Moscow: Techno sphere. - 2005.- 528 p.
- [13] Vostrov G., Bezrukova Yu. Modeling of dynamic data protection processes based on a discrete logarithm // ELTECS.-2017.
- [14] <https://ru.wikipedia.org/wiki/RIPEMD-160>
- [15] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хеширование>.
- [16] [https://studopedia.ru/2\\_80095\\_funktsiiheshirovaniya.html](https://studopedia.ru/2_80095_funktsiiheshirovaniya.html)
- [17] Lidl R., Niderraiter Kh. Konechnye polya. - v 2 t. / per. s angl.; pod red. V.I. Nechaeva. - M.: Mir.- 1988.- T.1.- 430 s.
- [18] Crandall R. E., Pomerance C. B. Prime Numbers: cryptographic and computational aspects, Transl. from English / Ed. and with a preface by V. Chubarikova.-Moscow: URSS: Book House "LIBROKOM", -2011.- 664 p.

<sup>1</sup>Ү.Қ. Тұрысбекова\*, <sup>1</sup>С.А. Алтынбек, <sup>2</sup>А.С. Тургинбаева, <sup>1</sup>Л. Мерейхан

<sup>1</sup>Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

\*e-mail: umut.t@mail.ru

#### КЕЛТІРІЛМЕЙТІН КӨПМҮШЕЛІКТЕРДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АҚЫРЛЫ ӨРІСТЕР ТЕОРИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ХЕШ-ФУНКЦИЯЛАРДЫ ҚҰРУ

**Андатпа.** Ақпарат көлемінің ұлғаюымен, үлкен көлемдегі мәліметтермен байланысты проблемалар шиеленіседі, олар ілгеріде сақтау, жіберу немесе өңдеу процестерін жүзеге асыруды талап етеді. Файлдардың үлкен көлемімен жұмыс жасау бұл процестерді едәуір қиындатады, сондықтан оларды тиімді өңдеу үшін қолайлы көлемде файлдардың көлемін сығуға мүмкіндік беретін алгоритмдердің болуы қажет.

Файлдармен өзара әрекеттесу процесінде хеш - функциялары маңызды рөл атқарады. Хеш-функцияларды қолдану белгілі бір алгоритмге сәйкес бастапқы деректерді тұрақты ұзындықтағы тізбекке түрлендіруді көздейді. Бұл көптеген файлдар ішінен оларды қарау, өзгерту немесе жою, сонымен қатар мәліметтерді бөгде адамдар өзгертуге болмайтын жағдайларда олардың өзгертілмегендігін тексеру үшін файлдарды салыстыруды іздеуді жеделдетуге мүмкіндік береді. Осылайша, хештеу деректерді файл түрінде сақтау, жіберу немесе өңдеу мәселесі туындайтын барлық салаларда қолданылады, дәлірек, криптографияда, компьютерлік графикада, компьютер мен Интернетте мәліметтерді ұйымдастыру барысында.

Практикада соқтығысудың теориялық ықтималдығы нөлге жақын функциялар қолданылады, бірақ қуатты есептеу құралдарының пайда болуымен соқтығысуды табу шешілмейтін мәселе болмауы мүмкін. Осы себепті қолданыстағы алгоритмдер үнемі жетілдіруді қажет етеді. Мұнда күрделілік теориясы, атап айтқанда, алгебралық сандар теориясы ерекше рөл атқарады. Сандар теориясы қазіргі кезде криптографияда кеңінен қолданылады; алайда тиімді факторизация алгоритмдері пайда болған кезде бұл жеткіліксіз. Осыған байланысты ақырлы өрістер теориясын қолдану қажеттілігі туындайды. Мұндай өрістердегі есептеулер оның элементтері бойынша таңдалған ақырлы өрісте амалдарды оның шектерінен шықпай орындауға мүмкіндік береді, сонымен қатар хеш - функцияларын бастапқы деректерді қалпына келтіруге төзімді етеді. Сондықтан мақалада ақырлы өрістерде келтірілмейтін көпмүшелікті модуль бойынша бөлуді қолданатын полиномиалды функциялар қарастырылады. Келтірілмейтін көпмүшеліктерді ақырлы өрістерде қолдану тиімді қорғаныс құралы бола алады.

Ұсынылған мақаланың негізгі мақсаты - ақырлы өрістер теориясына негізделген хеш - функциясын құру. Электронды-цифрлық қолтаңба алгоритмдері үшін стандартты криптографиялық хеш - функциялары қарастырылған. Әр түрлі бастапқы деректерді хештеу әдістері талданды.

Мәтіндік файлдарды келтірілмейтін көпмүшеліктер көмегімен хештеу әдісі ұсынылған. Мақаланың нәтижелерін криптографиялық қосымшалар мен кодтау теориясында қолдануға болады.

**Негізгі сөздер:** хеш - функция, ақырлы өріс, келтірілмейтін көпмүшелік, электронды-цифрлық қолтаңба, соқтығысу.

**<sup>1</sup>U.K. Turusbekova\*, <sup>1</sup>S.A. Altynbek, <sup>2</sup>A.S. Turginbayeva, <sup>1</sup>L. Mereikhan**

<sup>1</sup>Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

\*e-mail: umut.t@mail.ru

### **CONSTRUCTION OF HASH FUNCTIONS BASED ON THEORY OF FINITE FIELDS WITH THE USE OF IRREDUCIBLE POLYNOMIALS**

**Abstract.** With an increase in the amount of information, the problems associated with large amounts of data are aggravated, which in the future require the implementation of storage, transfer or processing processes. Working with large volumes of files significantly complicates these processes, and therefore there is a need for the existence of algorithms that allow compressing the volumes of files to the required size, acceptable for their efficient processing.

Hash functions play an important role in the process of interacting with files. The use of hash functions implies the transformation of the original data according to a certain algorithm into a sequence of fixed length. This allows you to significantly speed up the search among a large number of files to view, modify or delete, to compare files, to verify immutability in cases where the data should not be changed by unauthorized persons. Thus, hashing is used in all areas where the question of storing, transmitting or processing data in the form of files arises, namely in cryptography, computer graphics, when organizing data on a computer and on the Internet.

In practice, functions are used for which the theoretical probability of collisions is close to zero, but with the advent of more powerful computational tools, collision detection may not be such an indescribable task. For this reason, existing algorithms require continuous improvement. A special role in this is played by the problem of complexity theory, namely, algebraic number theory. Number theory is now widely used in cryptography; however, this is not enough when efficient factorization algorithms appear. In this regard, there is a need to use the theory of finite fields. Calculations in such fields allow you to perform operations in the selected finite field on its elements without going beyond its limits, and also makes hash functions resistant to the restoration of the original data. Therefore, the article discusses polynomial functions using modulo division of an irreducible polynomial in finite fields. Using irreducible polynomials over finite fields can be a more effective means of protection.

The main purpose of this paper is to construct a hash function based on the theory of finite fields. Standard cryptographic hash functions for digital signature algorithms are considered. Methods of hashing of various types of initial data are analyzed. A method for hashing text files using irreducible polynomials is proposed. The results of the article can be used in cryptographic applications and coding theory.

**Keywords:** hash function, finite field, irreducible polynomial, electronic digital signature, collision.

Ж.К. Убаев\*, К.Ш. Шункеев

Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

\*e-mail: nczhiger@mail.ru

## ОПТИЧЕСКОЕ СОЗДАНИЕ И РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОКОЛОНАТРИЕВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В КРИСТАЛЛЕ KCl-Na

**Аннотация.** В кристалле KCl-Na экспериментально продемонстрированы излучательные релаксации с максимумом при 2,8 эВ автолокализованного экситона в поле натрия при прямом оптическом создании околонатриевого экситона с энергией фотонов 7,62 эВ, при дырочно-электронной рекомбинации в процессе рентгеновского возбуждения в области температур от 150 К до 300 К, а также электронно-дырочной рекомбинации при оптической стимуляции в области спектра  $F^{\prime}$ -центров (1,5 эВ) при 90 К, предварительно облученного рентгеновскими лучами кристалла.

Усиление интенсивности излучения при 2,8 эВ кристалла KCl-Na при рентгеновском возбуждении в области температур от 150 К до 300 К, когда потушены все экситоноподобные излучения, интерпретируется за счет увеличения длины свободного пробега нерелаксированной дырки от  $60a$  до  $600a$ , где  $a$  - постоянная решетки.

Таким образом, в кристалле KCl-Na экспериментально реализованы уникальные возможности создания автолокализованного электронного возбуждения в поле легкого иона натрия – тремя механизмами – экситонной, дырочно-электронной рекомбинации и электронно-дырочной рекомбинации, излучательная релаксация которого заканчивается люминесценцией с максимумом при 2,8 эВ.

**Ключевые слова:** KCl-Na, легкий катион, автолокализованный экситон, дырочно-электронная рекомбинация, электронно-дырочная рекомбинация.

**Введение.** Высокий квантовый выход сцинтилляции щелочногалоидных кристаллов (ЩГК) при сохранении прозрачности в широком интервале спектра может улучшаться путем управления предраспадным состоянием автолокализованного анионного экситона на первичные радиационные дефекты и излучения [1-5].

В этом направлении проведена серия оригинальных экспериментов при непосредственном воздействии на каналы распада электронных возбуждений (ЭВ) в ЩГК путем понижения симметрии решетки одноосной упругой и пластической, а также локальной деформации за счет различных размеров, как катионов-гомологов, так и анионов-гомологов [6-9].

При сверхвысоких давлениях в соединениях NaCl обнаружены стехиометрические явления, не подчиняющиеся классическим закономерностям [10].

Релаксационные процессы ЭВ чувствительны к симметрии окружающих частиц, и поэтому экспериментально можно создать экстремальные условия для детального исследования релаксации ЭВ в ЩГК [6, 11-13].

В данной работе приведены оригинальные результаты по прямому оптическому созданию анионных экситонов и рекомбинационное формирование автолокализованных экситонов (АЛЭ) в поле легкого катиона-натрия в кристалле KCl-Na.

**Техника эксперимента.** Эксперименты при 4,2 К с использованием вакуумно-ультрафиолетовой (ВУФ) спектроскопии были проведены в Институте физики Тартуского университета Эстонии.

Спектры рентгенолюминесценции (РЛ) кристаллов регистрировались с использованием рентгеновской установки РУП-120, работающей в режиме 3 мА и 100 кВ. Сканирование спектров излучения кристаллов осуществлялось с помощью светосильного монохроматора МСД-2 и фотоэлектронного умножителя типа Н 8259 фирмы «Hamamatsu», работающего в режиме счета фотонов, управляемого специальной программой SpectraSCAN. Скорость

сканирования 50 нм/с. Температурная зависимость РЛ кристаллов осуществлялась со скоростью нагрева кристалла – 0,05 К/с.

Все кристаллы KCl и KCl-NaCl с различной концентрацией NaCl были синтезированы в Институте физики Тартуского университета Эстонии по комплексной методике очистки и выращивания ЩГК [14], которая позволяет уменьшить содержание основных примесных ионов до уровня  $10^{-4} \div 10^{-6}$  моль%.

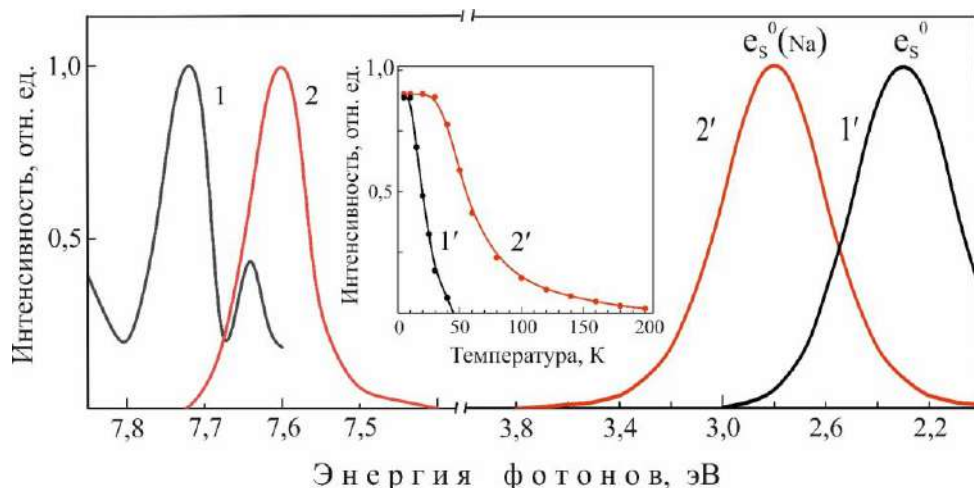
Упругая деформация кристаллов осуществлялась в специальном криостате при низких температурах (90 К) в пределах до 1% относительной деформации [15].

**Результаты и обсуждение. 1. Прямое оптическое создание автолокализованных экситонов в поле легкого натрия в кристалле KCl-Na.** Для кристалла kcl при низких температурах 4,2 к известны спектры возбуждения, состоящие из двух максимумов при 7,72 эВ и 7,66 эВ, люминесценции автолокализованного экситонного (собственного) с максимумом при 2,3 эВ [1-2]. слабый максимум при 7,66 эВ в спектре возбуждения люминесценции при 2,3 эВ характеризует автолокализацию экситонов в поле неконтролируемых примесей, вакансионных дефектов и локальных деформаций [1-2].

На рисунке 1 представлены при 4,2 К спектры возбуждения (кр.1) люминесценции АЛЭ с максимумом при 2,3 эВ (кр.1') кристалла KCl и спектры возбуждения (кр.2) люминесценции АЛЭ в поле натрия с максимумом при 2,8 эВ (кр.2') кристалла KCl-Na.

Из рис. 1 следует, что люминесценцию с максимумом при 2,8 эВ, которая эффективно возбуждается при 7,62 эВ, можно считать излучательной релаксацией АЛЭ в поле легкого катиона натрия  $e_s^0(Na)$  в кристалле KCl-Na при 4,2 К. Главным аргументом этого предположения является тот факт, что интенсивность спектра возбуждения люминесценции при 2,8 эВ имеет корреляцию с концентрацией натрия в KCl-Na и доминирует над фоном неконтролирующих дефектов (ср. кр. 2 и 2' рис. 1).

Исследование температурной зависимости интенсивности люминесценции с максимумом при 2,8 эВ в кристалле KCl-Na при возбуждении фотонами с энергией 7,6 эВ показывает, что она имеет продолжительный температурный ход тушения от 4,2 К до 200 К (кривая 2' на вставке рис. 1), в отличие от интенсивности люминесценции автолокализованного экситона в регулярных узлах решетки с максимумом при 2,3 эВ, которая тушится уже при 50 К (кривая 1' на вставке рис. 1).



**Рисунок 1.** Спектры возбуждения при 4,2 К (кр.1) люминесценции АЛЭ с максимумом при 2,3 эВ (кр.1') кристалла KCl и спектры возбуждения (кр.1) люминесценции с максимумом при 2,8 эВ (кр.2') кристалла KCl-Na.

На вставке: Температурное тушение люминесценции автолокализованного экситона (2,3 эВ) в регулярных узлах решетки (1) и околонатриевого (2) экситона (2,8 эВ) в кристалле KCl-Na при ВУФ-возбуждений с энергией фотонов при 7,7 эВ и 7,6 эВ, соответственно.

Это означает, что при температуре выше 50 К в кристалле KCl-Na автолокализованные экситоны в регулярных узлах решетки уже не существуют, о чем свидетельствует исчезнувшее собственное излучение с максимумом при 2,3 эВ.

Дальнейшее температурное тушение люминесценции при 2,8 эВ в кристалле KCl-Na показывает, что при 80К остается еще 25% от первоначальной интенсивности, а при 200 К наступает полное температурное тушение (кривая 2' на вставке рис.1).

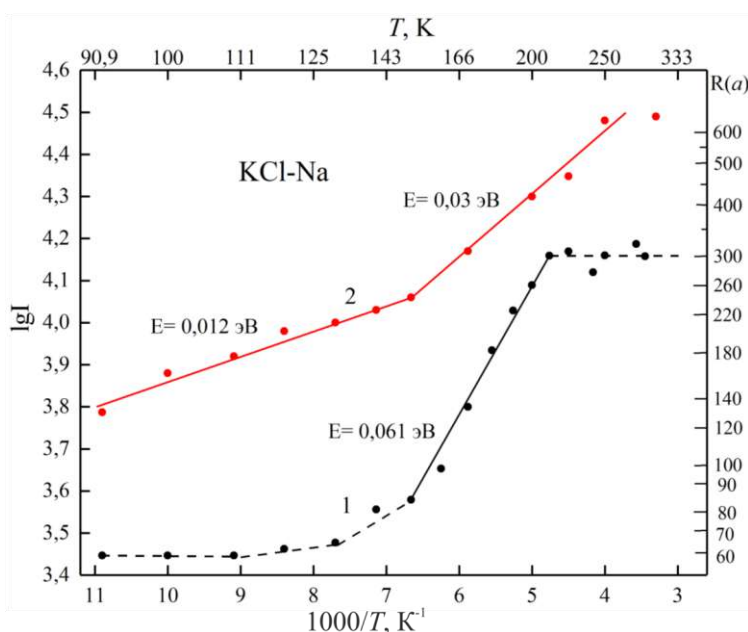
Из сравнения кривых температурного тушения люминесценции АЛЭ в регулярных узлах решетки с максимумом при 2,3 эВ (кривая 1' на вставке рис. 1) и АЛЭ около натрия с максимумом при 2,8 эВ (кривая 2' на вставке рис. 1) следует, что в кристалле KCl-Na при температуре 4,2 К сосуществуют два вида автолокализованного экситона, как собственный АЛЭ, так и околонатриевый АЛЭ, а выше температуры от 50 К до 150÷200 К создается только околонатриевый АЛЭ. Итак, анализ температурного тушения люминесценции позволяет оценить температурный диапазон оптического создания свободного экситона в кристалле KCl-Na.

Таким образом, в кристалле KCl-Na при 4,2 К экспериментально продемонстрировано оптическое создание свободных экситонов в поле легкого катиона натрия при фотовозбуждении в ВУФ-области спектра с энергией фотонов 7,62 эВ, излучательная релаксация которых заканчивается с характерной полосой люминесценции с максимумом при 2,8 эВ и полушириной 0,56 эВ.

## 2. Дырочно-электронная рекомбинация в поле легкого натрия в кристалле KCl-Na.

Из экспериментальных результатов ВУФ-спектроскопии следует, что в кристалле KCl-Na непосредственно с энергией фотонов при 7,62 эВ оптически создается АЛЭ в поле легкого катиона натрия -  $e_s^0(Na)$ , и его излучательная релаксация сопровождается люминесценцией с максимумом при 2,8 эВ в интервале температур - 150÷200 К.

В кристалле KCl-Na под воздействием рентгеновских лучей, создающих преимущественно электронно-дырочные пары (90%), в отличие от вакуумно-ультрафиолетовой радиации, селективно создающей анионные экситоны, зарегистрировано усиление интенсивности рентгенолюминесценции (РЛ) с максимумом 2,8 эВ в интервале температур - 150÷200 К (Рис. 2), когда полностью потушено свечение АЛЭ около натрия, созданное непосредственно прямым ВУФ-возбуждением (кривая 2' на вставке рис.1).



**Рисунок 2.** Температурная зависимость интенсивности рентгенолюминесценции при 2,8 эВ кристалла KCl-Na в отсутствии (1) и под воздействием низкотемпературной упругой деформации (2) в координатах Аррениуса



На рис. 2 приведена температурная зависимость интенсивности рентгенолюминесценции при 2,8 эВ кристалла KCl-Na в координатах Аррениуса. Следует напомнить, что рентгеновское возбуждение в ЩГК до 90% создает не релаксированные электронно-дырочные пары, в отличие от вакуумно-ультрафиолетовой радиации, селективно создающие анионные экситоны.

Обнаруженный нами рост интенсивности РЛ при 2,8 эВ в кристалле KCl-Na начинается от 140 К до 250 К (кривая 1 рис.2) в том температурном интервале, когда тушится излучение при 2,8 эВ, созданное прямым оптическим ВУФ-возбуждением с энергией фотонов при 7,62 эВ (кривая 2' на вставке рис.1), т.е. их температурный ход имеет антикорреляционный характер.

По линейному участку нарастания интенсивности РЛ 2,8 эВ в интервале температур 150→210 К (кривая 1 рис.2) оценена энергия активации (0,061 эВ), что на порядок меньше энергии прыжковой диффузии  $V_k$  – центров (0,54 эВ) в кристалле KCl. Это означает, что разгорание РЛ при 2,8 эВ с увеличением температуры не связано с термической делокализованной дыркой, а скорее всего за счет пробега нерелаксированных дырок в процессе рентгеновского облучения. Ниже температуры 150 К дырки эффективно автолокализуются, только незначительная доля доходит до натрия, а с ростом температуры доля автолокализованных дырок стремительно уменьшается, что дает увеличение концентрации нерелаксированных дырок в решетке.

Сравнительный анализ длины свободного пробега нерелаксированной дырки и экситона в кристалле KCl показывает, что при 80 К длина свободного пробега нерелаксированной дырки до автолокализации составляет до 60-90 $a$  [16], то есть существенно превышает длину свободного пробега экситона ( $2a$ ) в кристалле KCl [1-2]. Причем с ростом температуры длина свободного пробега экситонов сокращается, а нерелаксированной дырки – увеличивается и при комнатной температуре (300К) достигает до 1000 $a$  [16].

На основании этих данных нами отождествляется интенсивность рентгенолюминесценции при 2,8 эВ с длиной свободного пробега нерелаксированных дырок –  $R(a)$  в кристалле KCl-Na. Зеркально противоположной стороне логарифмической зависимости интенсивности –  $\lg I$  представлены соответствующие значения длины свободного пробега нерелаксированных дырок –  $R(a)$  (правая часть рисунка 2).

После таких преобразований становится очевидным, что рост интенсивности рентгенолюминесценции при 2,8 эВ в кристалле KCl-Na в температурном интервале от 150→210 К напрямую связан с увеличением длины свободного пробега нерелаксированных дырок. Из рис. 2 (кривая 1) следует, что в температурном интервале 100К-210К в 5 раз увеличивается  $R(a)$ .

Самым интересным, на наш взгляд, являются экспериментальные результаты по воздействию упругой деформации на длину свободного пробега нерелаксированных дырок, представленные на рис. 2 (кривая 2), из которого следует, что даже при низких температурах (90-125 К) длина свободного пробега нерелаксированных дырок  $R(a)$  имеет 140 $a$ , т.е. в 2 раза больше, чем в отсутствии деформации (сравните кривые 1 и 2 рис.2), где,  $a$  – постоянная решетки.

В упругодеформированных кристаллах KCl-Na по сравнению с недеформированными длина свободного пробега нерелаксированных дырок в интервале температур 100-300 К может увеличиваться в 10 раз, составляя значение 600 $a$  (сравните кривые 1 и 2 на рис.2).

В процессе рентгеновского облучения, когда в решетке создается поток свободных электронов и дырок, локальная деформация со стороны легкого натрия является центром последовательной дырочно-электронной рекомбинации с образованием экситон-подобного образования в поле натрия, а ее дальнейшая релаксация заканчивается излучением с максимумом при 2,8 эВ.

**3. Электронно-дырочная рекомбинация в поле легкого натрия в кристалле KCl-Na.** В кристалле KCl-Na под действием рентгеновского облучения при 80 К создается набор радиационных дефектов –  $I_A(Na)$ ,  $H_A(Na)$ ,  $F'$ ,  $V_K$ ,  $V_{KA}(Na)$ ,  $V_F$ ,  $Cl_3^- (V_2)$  и  $F$ -центры, которые

имеют температуру отжига при 143 К, 130 К, 200 К, 210 К, 265 К, 235К и 360-400 К, соответственно. Из всех радиационных дефектов  $F$  и  $F'$  - центры являются электронными, которые имеют полосы поглощения с максимумами при 2,3 эВ и 1,5 эВ, соответственно.

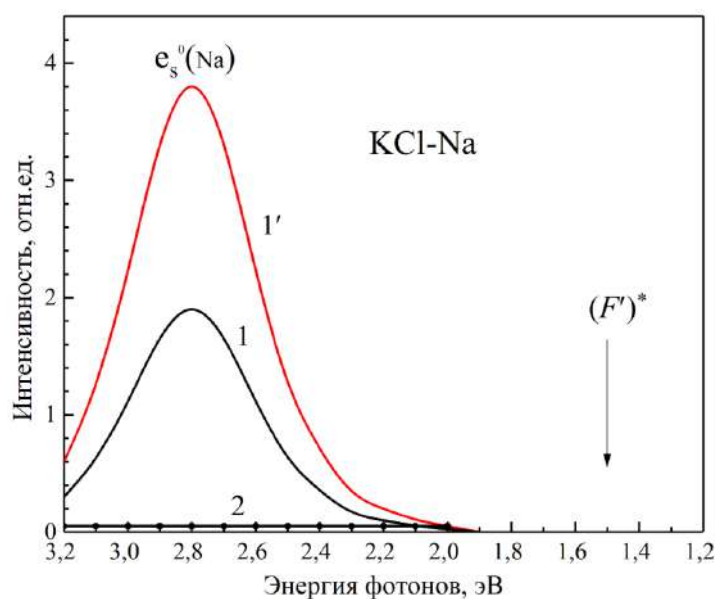
Суть эксперимента по обнаружению электронно-дырочной рекомбинации в поле натрия заключается в следующем: кристаллы KCl и KCl-Na облучаются рентгеновскими лучами при 80 К в изодозовом режиме с целью накопления вышеперечисленных радиационных дефектов, а затем через решеточный монохроматор МДР-12 с применением набора светофильтров осуществляется при 80 К оптическая стимуляция  $F'$ -центров в спектральной области при 1,5 эВ (823 нм).

На рисунке 3 приведен спектр излучения при оптической стимуляции в  $F'$ -полосе поглощения (1,5 эВ), предварительно облученного в изодозовом режиме рентгеновскими лучами при 80 К кристаллов KCl-Na(1) и KCl (2).

В кристалле KCl-Na (рис. 3, кр. 1) оптическая стимуляция в области спектра 1,5 эВ приводит к разрушению  $F'$ -центров ( $F' \rightarrow F + e^-$ ), в результате чего высвобожденные электроны от  $F'$ -центров легко могут рекомбинировать с неподвижными  $V_{KA}(Na)$ -центрами с образованием  $e^- + e_s^+(Na) \rightarrow e_s^0(Na)$ , которые проявляются с характерными излучениями при 2,8 эВ.

В кристалле KCl (рис. 3, кр.2) в тех же условиях эксперимента аналогичное излучение не зарегистрировано. В принципе высвобожденные электроны от  $F'$ -центров могут и рекомбинироваться с аналогичным дырочным  $V_K$  – центром, представляющим собой автолокализованную дырку в регулярной решетке, как в кристалле KCl, так и в кристалле KCl-Na. Однако, в спектре излучения при оптической стимуляции (вспышки)  $F'$ -центров в обоих кристаллах не зарегистрировано излучение, ответственное за электронно-дырочную рекомбинацию ( $e^- + V_K$ ) в регулярных узлах решетки, кроме излучения при 2,8 эВ в кристалле KCl-Na.

Экспериментально установлено, что в кристалле KCl-Na эффект электронно-дырочной рекомбинации усиливается при упругой деформации за счет накопления  $F'$ -центров (кривая 1' рис.3).



**Рисунок 3.** Спектры излучения при оптической стимуляции в  $F'$ -полосе поглощения (1,5 эВ), предварительно облученного по 30 минут рентгеновскими лучами при 90 К кристаллов KCl-Na в отсутствии деформации (1), при деформации до 1% (1') и KCl (2).

Таким образом, в кристалле KCl-Na экспериментально зарегистрирован эффект электронно-дырочной рекомбинации в поле легкого натрия при оптической стимуляции  $F'$ -полосе поглощения (1,5 эВ). В процессе рекомбинации свободных электронов с автолокализованными дырками в поле натрия формируется экситоноподобное образование в поле легкого натрия, излучательная релаксация которого заканчивается идентично люминесценции АЛЭ в поле натрия с максимумом при 2,8 эВ.

**Заключение.** В настоящей работе на базе кристалла KCl-Na были реализованы излучательная релаксация экситонно-подобного образования в поле натрия имеющая полосу люминесценции с максимумом при 2,8 эВ тремя способами:

во-первых, путем оптического создания в ВУФ-области спектра с энергией фотонов 7,62 эВ в температурном интервале 4,2÷200 К, во-вторых, путем дырочно-электронного формирования при рентгеновском облучении в температурном диапазоне при 150-250 К, в-третьих, путем электронно-дырочного формирования при оптической  $F'$  - стимуляции предварительно облученного рентгеновскими лучами кристаллов при 90К.

**Благодарность.** Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МОН РК (ИРН AP08855672).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Lushchik Ch., Lushchik A. Evolution of Anion and Cation Excitons in Alkali Halide Crystals // *Phys. Solid State.* – 2018. – Vol. 60. – P. 1487–1505.

[2] Lushchik A., Lushchik Ch., Vasil'chenko E., Popov A.I. Radiation creation of cation defects in alkali halide crystals: Review and today's concept // *Low Temperature Physics.* – 2018. – Vol. 44. – No. 4. – P. 357-367.

[3] Kaplunov I.A., Kropotov G.I., Rogalin V.E., Shakhmin A.A. On the Transparency of Alkali-Halide Crystal in the Terahertz Spectral Range // *Optics and Spectroscopy.* – 2020. – Vol. 128 (10). – P. 1583-1587.

[4] Kuzovkov V.N., Popov A.I., Kotomin E.A., Vasil'chenko E., Lushchik A. Theoretical analysis of the kinetics of low-temperature defect recombination in alkali halide crystals // *Fizika Nizkikh Temperatur.* – 2016. – Vol. 42. – P. 588-593.

[5] Bryukvina L., Ivanov N., Nebogin S. Relationships between lithium and sodium nanoparticles and color centers formation in LiF and NaF crystals with hydroxide and magnesium ions impurities // *Journal of Physics and Chemistry of Solids.* – 2018. – Vol. 120. - P. 133-139.

[6] Babin V., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasil'chenko E., Zazubovich S. Luminescent defects created in alkali iodides by plastic deformation at 4.2K // *J. Lumin.* – 1999. – Vol. 81. – P. 71-77.

[7] Shunkeyev K., Myasnikova L., Barmina A., Zhanturina N., Sagimbaeva S., Aimaganbetova Z., Sergeyev D. The thermostimulated luminescence of radiation defects in KCl, KBr and KI crystals at elastic and plastic deformation // *J. of Physics: Conference Series.* – 2017. Vol. 830(1). - 012138.

[8] Myasnikova L., Shunkeyev K., Zhanturina N., Ubaev Zh., Barmina A., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. Luminescence of self-trapped excitons in alkali halide crystals at low temperature uniaxial deformation // *Nucl. Instrum. Meth. B.* – 2020. Vol. 464. P. 95-99.

[9] Shunkeyev K., Zhanturina N., Aimaganbetova Z., Barmina A., Myasnikova L., Sagymbaeva S., Sergeyev D. The specifics of radiative annihilation of self-trapped excitons in a KI-Tl crystal under low-temperature deformation // *Low Temp. Phys.* 2016. Vol. 42. P. 580-583.

[10] Zhang W., Oganov A.R., Goncharov A.F., Zhu Q., Boulfelfel S.E., Lyakhov A.O., Stavrou E., Somayazulu M., Prakapenka V.B., Konopkova Z. Unexpected Stable Stoichiometries of Sodium Chlorides // *Science.* - 2013. - Vol. 342. - P. 1502–1505.

[11] Babin V., Bekeshev A., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasilchenko E., Zazubovich S. Effect in uniaxial stress on luminescence of undoped and thallium-doped KI and RbI crystals // *J. Physics: Condensed Matter.* – 1999. – Vol. 11. – P. 2303-2317.

[12] Shunkeyev K., Zhanturina N., Shunkeev S., Sagimbaeva S. The bonding mechanisms of electron-hole pairs in KCl crystal at lattice symmetry lowering by cation-homologs and low temperature elastic stress // *Известия вузов. Физика.* - 2014. - Т. 57, №12/3. - С. 36-42.

[13] Shunkeyev K., Sergeyev D., Drozdowski W., Brylev K., Myasnikova L., Barmina A., Zhanturina N., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. The deformation stimulated luminescence in KCl, KBr and KI crystals // *J. Physics: Conf. Series.* - 2017. – Vol. 830. – 012139.

[14] Гиндина Р.И., Маароос А.А., Плом Л.А., Янсон Н.А. Разработка методики получения кристаллов KCl и KBr с содержанием примесей  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  // *Труды ИФ АН ЭССР.* - 1979. - Т. 49. - С. 45–89.

[15] Shunkeyev K., Sarmukhanov E., Bekeshev A., Sagimbaeva S., Bizhanova K. The cryostat for deformation of crystals at low temperatures // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2012. – Vol. 400(5). – 052032.

[16] Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочногалогидных кристаллов. -Рига, "Зинатне", 1979. - 251 с.

## REFERENCES

[1] Lushchik Ch., Lushchik A. Evolution of Anion and Cation Excitons in Alkali Halide Crystals // *Phys. Solid State.* – 2018. – Vol. 60. – P. 1487–1505.

[2] Lushchik A., Lushchik Ch., Vasil'chenko E., Popov A.I. Radiation creation of cation defects in alkali halide crystals: Review and today's concept // *Low Temperature Physics.* – 2018. – Vol. 44. – No. 4. – P. 357-367.

[3] Kaplunov I.A., Kropotov G.I., Rogalin V.E., Shakhmin A.A. On the Transparency of Alkali-Halide Crystal in the Terahertz Spectral Range // *Optics and Spectroscopy.* – 2020. – Vol. 128 (10). – P. 1583-1587.

[4] Kuzovkov V.N., Popov A.I., Kotomin E.A., Vasil'chenko E., Lushchik A. Theoretical analysis of the kinetics of low-temperature defect recombination in alkali halide crystals // *Fizika Nizkikh Temperatur.* – 2016. – Vol. 42. – P. 588-593.

[5] Bryukvina L., Ivanov N., Nebogin S. Relationships between lithium and sodium nanoparticles and color centers formation in LiF and NaF crystals with hydroxide and magnesium ions impurities // *Journal of Physics and Chemistry of Solids.* – 2018. – Vol. 120. - P. 133-139.

[6] Babin V., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeyev K., Vasil'chenko E., Zazubovich S. Luminescent defects created in alkali iodides by plastic deformation at 4.2K // *J. Lumin.* – 1999. – Vol. 81. – P. 71-77.

[7] Shunkeyev K., Myasnikova L., Barmina A., Zhanturina N., Sagimbaeva S., Aimaganbetova Z., Sergeyev D. The thermostimulated luminescence of radiation defects in KCl, KBr and KI crystals at elastic and plastic deformation // *J. of Physics: Conference Series.* – 2017. Vol. 830(1). - 012138.

[8] Myasnikova L., Shunkeyev K., Zhanturina N., Ubaev Zh., Barmina A., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. Luminescence of self-trapped excitons in alkali halide crystals at low temperature uniaxial deformation // *Nucl. Instrum. Meth. B.* – 2020. Vol. 464. P. 95-99.

[9] Shunkeyev K., Zhanturina N., Aimaganbetova Z., Barmina A., Myasnikova L., Sagymbaeva S., Sergeyev D. The specifics of radiative annihilation of self-trapped excitons in a KI-Tl crystal under low-temperature deformation // *Low Temp. Phys.* 2016. Vol. 42. P. 580-583.

[10] Zhang W., Oganov A.R., Goncharov A.F., Zhu Q., Boulfelfel S.E., Lyakhov A.O., Stavrou E., Somayazulu M., Prakapenka V.B., Konopkova Z. Unexpected Stable Stoichiometries of Sodium Chlorides // *Science.* - 2013. - Vol. 342. - P. 1502–1505.

[11] Babin V., Bekeshev A., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeyev K., Vasilchenko E., Zazubovich S. Effect in uniaxial stress on luminescence of undoped and thallium-doped KI and RbI crystals // *J. Physics: Condensed Matter.* – 1999. – Vol. 11. – P. 2303-2317.

[12] Shunkeyev K., Zhanturina N., Shunkeyev S., Sagimbaeva S. The bonding mechanisms of electron-hole pairs in KCl crystal at lattice symmetry lowering by cation-homologs and low temperature elastic stress // *Известия вузов. Физика.* - 2014. - Т. 57, №12/3. - С. 36-42.

[13] Shunkeyev K., Sergeyev D., Drozdowski W., Brylev K., Myasnikova L., Barmina A., Zhanturina N., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. The deformation stimulated luminescence in KCl, KBr and KI crystals // *J. Physics: Conf. Series.* - 2017. – Vol. 830. – 012139.

[14] Gindina R.I., Maaros A.A., Ploom L.A., YAanson N.A. Razrabotka metodiki polucheniya kristallov KCl i KBr s sodержaniem primesej  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  // *Trudy IF AN ESSR.* – 1979. – Т. 49. – С. 45–89.

[15] Shunkeyev K., Sarmukhanov E., Bekeshev A., Sagimbaeva S., Bizhanova K. The cryostat for deformation of crystals at low temperatures // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – Vol. 400(5). – 052032.

[16] Aluker E.D., Lusic D.YU., Chernov S.A. Elektronnye vozbuzhdeniya i radiolyuminescenciya shchelochnogaloidnyh kristallov. -Riga, "Zinatne", 1979. - 251 s.

**Ж.К. Убаев\*, К. Ш. Шункеев**

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

\*e-mail: nczhiger@mail.ru

### **KCl-Na КРИСТАЛЫНЫҢ НАТРИЙ МАҢЫНДАҒЫ ЭКСИТОНДАРДЫ ОПТИКАЛЫҚ ӨНДІРУ ЖӘНЕ РЕКОМБИНАЦИЯЛЫҚ ЖИНАҚТАУ**

**Андатпа.** KCl-Na кристалының натрий өрісіндегі өздігінен қармалған экситонның 2,8 эВ максимумда радиациялық релаксациялануы, фотон энергиясы 7,62 эВ болатын натрийге жақын экситонды тікелей оптикалық құру кезінде, 150 К – 300 К температура диапазонында рентгендік қозу жағдайындағы кемтікті-электрон рекомбинациясы, сондай-ақ алдын-ала рентген сәулелерімен сәулелендірілген кристалл, 80 К температурада (1,5 эВ)  $F'$  - центрі аумағындағы спектрлер оптикалық ынталандыру кезінде электронды-кемтік рекомбинациясы эксперименталды түрде көрсетілді.

Рентгендік қоздыру кезіндегі KCl-Na кристалының 2,8 эВ кезіндегі сәулелену қарқындылығының барлық экситон тәрізді сәулелену сөнген кезде температурасы 150 К-300 К аралығында, еркін жүру жолының 60  $a$  - 600  $a$  аралығында ұзаруымен түсіндіріледі, мұндағы  $a$  - тордың тұрақтысы.

Осылайша, KCl-Na кристалында жеңіл натрий ионының аймағында өздігінен қармалған электронды қозуды құрудың бірегей мүмкіндіктері эксперименталды түрде үш механизммен жүзеге асады – экситондық, кемтікті-электрондық рекомбинация және электронды-кемтіктік рекомбинация, оның радиациялық релаксациясы 2,8 эВ максимумдық люминесценциямен аяқталады.

**Негізгі сөздер:** KCl-Na, жеңіл катион, өздігінен қармалған экситон, кемтікті-электрон рекомбинациясы, электронды-кемтік рекомбинациясы.

**Zh. Ubayev\*, K. Shunkeyev**

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

\*e-mail: nczhiger@mail.ru

### **THE OPTICAL CREATION AND RECOMBINATION ASSEMBLY OF NEAR-SODIUM ELECTRON EXCITATIONS IN KCl-Na CRYSTAL**

**Abstract.** The radiative relaxations of self-trapped excitons with a maximum at 2.8 eV in the sodium field are experimentally demonstrated in KCl-Na crystal – at direct optical creation of a near-sodium exciton with a photon energy of 7.62 eV, at electron – hole recombination in the process of X-ray excitation in the temperature range from 150 K to 300 K, as well as electron-hole recombination at optical stimulation in  $F'$  - centers spectrum region (1.5 eV) at 90 K in crystal, pre-irradiated by X.

The increase in the radiation intensity at 2.8 eV of KCl-Na crystal at X-ray excitation in the temperature range from 150 K to 300 K, when all exciton-like radiation is quenched, is interpreted by increasing the free path of the unrelaxed hole from 60  $a$  to 600  $a$ , where  $a$  is the lattice constant.

Thus, in KCl-Na crystal, unique possibilities of self-trapped electronic excitation creation in the field of a light sodium ion are experimentally realized by three mechanisms – exciton, hole-electron recombination, and electron-hole recombination, the radiative relaxation of which ends by luminescence with a maximum at 2.8 eV.

**Keywords:** KCl-Na, light cation, self-trapped exciton, hole-electron recombination, electron-hole recombination.

**А.К. Искакова\*, М.Ж. Байсалова**

Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан

\*e-mail: akzholtay.iskakova@mail.ru

## ДВЕ ВЕТВИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

**Аннотация.** В статье приводятся две основные задачи интегрального исчисления в их прикладном аспекте, которые вызывают живой и непрекращающийся интерес, проявляемый математиками и инженерами. Рассматривается вопрос о возникновении интегрального исчисления, на примере задачи о вычислении площадей и задачи о вычислении первообразных. Эти задачи привели к двум ветвям интегрального исчисления: теории определенных интегралов и теории неопределенных интегралов. Интегральное исчисление является одной из самых сложных тем математического анализа, так как процесс вычисления интегралов в целом не поддается формальной систематизации, в то же время является мощным средством решения прикладных задач. Актуальность статьи в первую очередь в содержательном раскрытии основных понятий элементов математического анализа, в потребности в соответствующем математическом обеспечении других дисциплин поскольку в основном практическое приложение интеграла используется в физике и технике, а также при нахождении объемов геометрических тел и при вычислении площадей разнообразных фигур. Статья интересна с точки зрения повышения мотивации к изучению высшей математики на технических специальностях. Таким образом знание связи интегрального исчисления с потребностями практики необходимо для глубокого усвоения теории, развития конкретного математического мышления, привития интереса к математическим дисциплинам.

**Ключевые слова:** задача о квадратуре, задача о кубатуре, первообразная, дифференциальное исчисление, интегральное исчисление.

**Введение.** В тесной и неразрывной связи с дифференциальным исчислением, являясь его естественным продолжением, стоит интегральное исчисление. Подобно тому как на возникновение дифференциального исчисления сильное влияние оказали две задачи: задача о касательной и задача о скорости, то точно так же интегральное исчисление возникло из двух задач. К числу тех задач, которые возникли при зарождении геометрии как науки, принадлежит, прежде всего, задача о вычислении площадей. Эта задача имеет не только теоретический, но и практический интерес. И не случайно начала геометрии были заложены в Древнем Египте. Ежегодные бурные разливы Нила, смывая границы земельных участков и изменяя их форму, делали актуальным вопрос о вычислении площадей.

**Методы исследования.** Задача о квадратуре площадей есть первая задача интегрального исчисления. В наше время уже в элементарной геометрии вычисляются площади простейших фигур, как, например, треугольника и трапеции. Метод, который древние геометры применяли при вычислении площадей, состоял в следующем: необходимо было построить квадрат, равновеликий площади данной фигуры. Если это удавалось, то задача считалась решенной. Благодаря этому методу и в настоящее время задачу о вычислении площади данной фигуры называют задачей о квадратуре площади фигуры. По аналогии объем данного тела называется его кубатурой, так как древние геометры, чтобы вычислить объем тела, строили равновеликий этому телу куб.

Умея вычислять площадь треугольника, мы можем вычислить площадь любого многоугольника. Для этого достаточно разбить его на систему треугольников, что можно сделать разнообразными способами, например, проводя всевозможные диагонали из одной какой-нибудь его вершины (Рис.1).

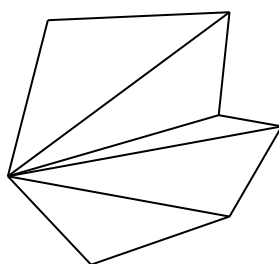


Рисунок 1. Многоугольник

Но если в этом случае не возникают особые теоретические трудности при вычислении площадей, ограниченных отрезками прямых линий, то задача усложняется, в случае, когда в число границ данной фигуры входят не только отрезки прямых, но и дуги кривых линий. Так задача о квадратуре круга решается в элементарной геометрии с большими трудностями, требуя для своего решения понятия о пределе. Эти трудности возрастают, если границами фигуры служат более сложные кривые.

Если необходимо измерить площадь, ограниченную кривыми линиями, то мы должны узнать, сколько и каких частей квадрата, принятого за единицу меры, можно вместить в данной площади. Но на какие бы малые квадраты мы не разделили квадрат, принятый за единицу, и сколько бы и как бы мы их не размещали эти малые квадраты, мы всегда будем получать фигуру, ограниченную не кривой линией, а ломаной. Следовательно, площадь, ограниченная кривыми линиями, никогда не может быть полностью заполнена частями квадрата. Аналогично, тело, ограниченное кривыми поверхностями, не может быть заполнено никакими частями куба.

Древние геометры не могли преодолеть трудностей, вытекающих из этого факта. Хотя они и вычисляли площади и объемы более или менее сложных фигур, но они не имели общего метода, который мог быть применен для вычисления любой произвольно данной площади. Это метод был выработан математикой, которая опиралась на понятие предела. Пользуясь понятиями предела, координат и функции, стало возможным облечь в аналитическую форму геометрическую задачу о квадратуре площади.

Преобразованная таким образом, эта задача привела к понятию определенного интеграла. Возник новый раздел математики под названием теории определенных интегралов. Задачи о квадратуре и кубатуре являются теперь частными случаями приложения этой теории. Здесь интересно то, что, только облакая в аналитическую форму геометрическую задачу о квадратуре, можно легко перейти к понятию определенного интеграла, потому что с геометрической точки зрения теория определенных интегралов есть не что иное, как замаскированная задача о квадратуре площади. Поставленная в глубокой древности, эта задача служит предметом постоянного исследования математиков, но теперь ее геометрическая сущность скрыта под теми аналитическими формами, в которые ее облачают.

Рассмотри еще одну задачу интегрального исчисления. Эта задача связана с понятием производной: всякая функция, производная которой равна данной функции, называется первообразной, или интегралом, данной функции. От термина интеграл произошло название интегрального исчисления.

Так, например, как известно,

$$\frac{d\sin x}{dx} = \cos x, \quad \frac{d\cos x}{dx} = -\sin x.$$

Следовательно, синус есть первообразная косинуса. В свою очередь косинус есть первообразная минус синуса.

Функция  $\arcsin x$  служит интегралом, или первообразной, для  $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ , потому что

$$\frac{d \arcsin x}{dx} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}.$$

Так как  $\frac{d e^x}{dx} = e^x$ , то показательная функция  $e^x$  является первообразной для самой себя.

Введя понятие функции, мы должны рассмотреть две обратные друг другу задачи: задачу нахождения производной данной функции и задачу отыскания интеграла данной функции. Обе эти задачи могут быть поставлены для любой функции. Так, например, если нам дана функция  $x^5$ , то, с одной стороны, мы можем найти ее производную, и это будет задача дифференциального исчисления. Как известно,

$$\frac{d x^5}{dx} = 5x^4.$$

Но, с другой стороны, мы можем искать функцию, производная которой равнялась бы данной функции  $x^5$ , то есть можем искать такую функцию  $f(x)$ , которая удовлетворяла бы уравнению:

$$\frac{d f(x)}{dx} = x^5.$$

Этому уравнению удовлетворяет функция  $\frac{x^6}{6}$ . Действительно,

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{x^6}{6} \right) = x^5.$$

Следовательно, функция  $\frac{x^6}{6}$  есть интеграл функции  $x^5$ .

Задача о вычислении интегралов данной функции и есть вторая задача интегрального исчисления. Таким образом, мы видим, что задача: найти производную данной функции, есть задача дифференциального исчисления, а задача: найти интеграл данной функции уже является задачей интегрального исчисления.

Известно, что всякий переход от данной функции к ее производной называется дифференцированием. Аналогично, всякий переход от данной функции к ее интегралу называется интегрированием. Мы знаем, что действие интегрирования обратное действию дифференцирования. Действительно, предположим, что даны две функции  $\varphi(x)$  и  $\psi(x)$ , удовлетворяющие условию  $\varphi(x) = \psi'(x)$ . Возможны два случая:

1) дана функция  $\varphi(x)$ . Требуется вычислить функцию  $\psi(x)$ . Это задача дифференциального исчисления.

2) дана функция  $\psi(x)$ . Требуется вычислить функцию  $\varphi(x)$ . Это задача интегрального исчисления.

Понятия действий дифференцирования и интегрирования показывают, что математический анализ, подобно элементарной алгебре, изучает различные действия, но в отличие от алгебры, он изучает действия не над числами, а над функциями.

К вычислению интегралов приводит бесчисленное множество задач. Рассмотрим одну из них. Пусть по прямой, которую примем за ось  $X$ , движется точка  $M$ . Если через  $s$  обозначим путь точки  $M$ , то есть ее абсциссу, то  $s$  будет некоторой функцией времени  $t$ . Пусть  $s = f(t)$ . Как известно, скорость  $v$  точки равна производной от  $s$  по  $t$ :

$$v = \frac{ds}{dt} = f'(t).$$

Следовательно, если известна зависимость  $s$  от  $t$ , то вычисление скорости точки приводится к вычислению производной, то есть к задаче дифференциального исчисления. Но предположим, что зависимость пути  $s$  от времени  $t$  нам не известна. Требуется найти путь  $s$ ,



зная скорость точки в каждый момент времени, а именно пусть  $v = \varphi(t)$ , где  $\varphi(t)$  - данная известная функция. переписав это равенство в виде:

$$\frac{ds}{dt} = \varphi(t).$$

Мы видим, что  $s$  есть интеграл функции  $\varphi(t)$ , а потому задача о вычислении пути, проходимогo точкой с заданной скоростью, есть задача интегрального исчисления.

В общем случае к вычислению соответствующих интегралов приводится всякая задача, в которой требуется найти закон изменения самой величины, зная закон, по которому меняется ее скорость.

Приведем еще пример, приводящий к вычислению интегралов как первообразных. Пусть  $s$  – прямолинейный путь, пройденный точкой, то есть  $s$  – абсцисса движущейся точки. Всякая движущаяся точка в каждый момент времени имеет не только скорость, но и ускорение, которое равно производной от скорости по времени. поэтому, обозначая скорость через  $v$ , а ускорение через  $a$ , имеем равенства:

$$v = \frac{ds}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}.$$

Пусть дана задача: вычислить зависимость пути  $s$  от времени, проходимогo точкой, если известно ускорение точки в каждый момент времени. Пусть  $a = \psi(t)$ , где  $\psi(t)$  - данная известная функция. Переписав последнее равенство в виде:  $\frac{dv}{dt} = \psi(t)$ , имеем  $dv = \psi(t)dt$ , отсюда  $v$  интеграл от функции  $\psi(t)$ :

$$v = \int \psi(t)dt.$$

Предположим, что мы вычислили этот интеграл и нашли, что

$$\int \psi(t)dt = \varphi(t),$$

тогда имеем

$$v = \frac{ds}{dt} = \varphi(t),$$

$$ds = \varphi(t)dt,$$

а потому  $s$  – интеграл функции  $\varphi(t)$ :

$$s = \int \varphi(t)dt = \int \left( \int \psi(t)dt \right) dt.$$

Из этого примера мы видим, что если ускорение дано как функция времени, то, чтобы вычислить путь  $s$ , мы должны вычислить два интеграла: сначала интеграл  $\int \psi(t)dt$ , а потом интеграл от этого интеграла.

**Заключение.** Мы рассмотрели две задачи, приведшие к возникновению интегрального исчисления: задачу о вычислении площадей и задачу о вычислении первообразных. Как мы видим, эти две задачи по своему содержанию глубоко различны, поэтому вполне естественно, что они привели к двум ветвям интегрального исчисления: из первой развилась та ветвь, которая называется «Теория определенных интегралов», вторая задача дала ветвь, названная «Теория неопределенных интегралов». Но хотя корни этих ветвей глубоко различаются, однако местами они настолько тесно переплетаются между собой, что составляют почти одно целое.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Искакова А.К., Ханжарова Б.С., Кокажаева А. On teaching of bases of real variable functions theory. // Вестник Карагандинского университета. -2017. -№1(85). С. 76-80.
- [2] Искакова А.К., Байсалова М.Ж. О профессионально ориентированной подготовке специалистов в неязыковых вузах на примере математики. // II Всемирный конгресс в реальном и виртуальном режиме «Восток-Запад пересечения культур». -Япония, университет Киото, 2019. -II т. С. 484-489.
- [3] Petrova M., Uteubayeva E.A., Kokhanover T.A. Didactic approach to the process of communicative competence formation. // Вестник Карагандинского университета. Серия Педагогика. - 2020. № 4(100). С.79-85.
- [4] Panaoura A., Michael-Chrysanthou P., Philippou A. Teaching the concept of function: definition and problem solving [Электронный ресурс]. -2016. P.440-445. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01286927/document>.
- [5] Сапрунова А.С. Историческое развитие интегрального исчисления. // Сборник трудов конференции «Методика преподавания математических и естественнонаучных дисциплин: современные проблемы и тенденции развития» / -СПб, 2018. -С.189-192.
- [6] Steele M., Hillen A., Smith M. Developing mathematical knowledge for teaching in a methods course: the case of function. // Journal of Mathematics Teacher Education/ -2013. -V.16, P.P.451-482.
- [7] Синкевич Г.И. Историография математического анализа. // Сборник «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» Вып. 20./ -СПб.: Издательство СПбГАСУ, -2014. -С. 3-22.
- [8] Розенфельд Б.А. История неевклидовой геометрии: Развитие понятия о геометрическом пространстве. -2-е изд. -М.: URSS, 2021. -416с.
- [9] Цейтен И.Г. История математики в древности и в Средние века. -пер. с фр. Изд. стереотип. -М.: URSS, 2019. -230с.
- [10] Iskakova A., Iskakova An. Digital literacy - efficient system of professionalization of education // The American scholarly journal Cross-Cultural Studies: Education and Science (CCS&ES). Vermont, USA. -2019. -V. 4. -P.85-90.
- [11] Искакова А.К., Ханжарова Б.С. Some of Methods Teaching the Theory valid Variable Functions. // XIX международная научно-практическая конференция «Современные концепции научных исследований». / -М.: Евразийский Союз ученых, 2015. -№10(19)/ Ч.4. -С.109-110.
- [12] Ван дер Варден Б.Л. Пробуждающая наука: Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. -пер. с голл. -4-е изд. стереотип. -М.: URSS, 2010. -458с.
- [13] Dubchak V., Manzhos E. The investigation of conditions of the extreme arrangement of several classical geometric figures with a common center by estimating the length of the line and the area of their divergence. // Slovak international scientific journal. Bratislava, Slovakia. -2021. =№49, -P.21-30.
- [14] Antonov A. The physical reality and essence of imaginary numbers. // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway. -2017. -VOL.2. -№6. P.50-64.
- [15] Tseeva L., Panesh B., Simbuletova R. Independent activity of students in the conditions of block-module teaching // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway. - 2018. -VOL.6. -№17. -P.25-29.

#### REFERENCES

- [1] Iskakova A.K., Khanzharova B.S., Kokazhaeva A. On teaching of bases of real variable functions theory. // Vestnik Karagandinskogo universiteta. -2017. -№1(85). S. 76-80.
- [2] Iskakova A.K., Baisalova M.Zh. O professional'no orientirovannoi podgotovke spetsialistov v neyazykovykh vuzakh na primere matematiki. // II Vsemirnyi kongress v real'nom i virtual'nom rezhime «Vostok-Zapad peresecheniya kul'tur». -Yaponiya, universitet Kioto, 2019. -II t. S. 484-489.
- [3] Petrova M., Uteubayeva E.A., Kokhanover T.A. Didactic approach to the process of communicative competence formation. // Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya Pedagogika. -2020. № 4(100). S.79-85.
- [4] Panaoura A., Michael-Chrysanthou P., Philippou A. Teaching the concept of function: definition and problem solving [Elektronnyi resurs]. -2016. P.440-445. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01286927/document>.

- [5] Saprunova A.S. Istoricheskoe razvitiye integral'nogo ischisleniya. // Sbornik trudov konferentsii «Metodika prepodavaniya matematicheskikh i estestvennonauchnykh distsiplin: sovremennyye problemy i tendentsii razvitiya» / -SPb, 2018. -S.189-192.
- [6] Steele M., Hillen A., Smith M. Developing mathematical knowledge for teaching in a methods course: the case of function. // Journal of Mathematics Teacher Education/ -2013. -V.16, P.P.451–482.
- [7] Sinkevich G.I. Istoriografiya matematicheskogo analiza. // Sbornik «Matematicheskoe modelirovaniye, chislennyye metody i komplekсы programm» Vyp. 20./ -SPb.: Izdatel'stvo SPbGASU, -2014. -С. 3-22.
- [8] Rozenfel'd B.A. Istoriya neevklidovoi geometrii: Razvitiye ponyatiya o geometricheskom prostranstve. -2-e izd. -M.: URSS, 2021. -416с.
- [9] Tseiten I.G. Istoriya matematiki v drevnosti i v Srednie veka. -per. s fr. Izd. stereotip. -M.: URSS, 2019. -230s.
- [10] Iskakova A., Iskakova An. Digital literacy - efficient system of professionalization of education // The American scholarly journal Cross-Cultural Studies: Education and Science (CCS&ES). Vermont, USA. -2019. -V. 4. -P.85-90.
- [11] Iskakova A.K., Khanzharova B.S. Some of Methods Teaching the Theory valid Variable Functions. // XIX mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennyye kontseptsii nauchnykh issledovaniy». / -M.: Evraziiskii Soyuz uchenykh, 2015. -№10(19)/ Ch.4. -S.109-110.
- [12] Van der Varden B.L. Probuzhdayushchayasya nauka: Matematika Drevnego Egipta, Vavilona i Gretsii. -per. s goll. -4-e izd. stereotip. -M.: URSS, 2010. -458s.
- [13] Dubchak V., Manzhos E. The investigation of conditions of the extreme arrangement of several classical geometric figures with a common center by estimating the length of the line and the area of their divergence. // Slovak international scientific journal. Bratislava, Slovakia. -2021. =№49, -P.21-30.
- [14] Antonov A. The physical reality and essence of imaginary numbers. // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway. -2017. -VOL.2. -№6. P.50-64.
- [15] Tseeva L., Panesh B., Simbuletova R. Independent activity of students in the conditions of block-module teaching // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway. -2018. -VOL.6. -№17. -P.25-29.

**А.Қ. Искакова\*, М.Ж. Байсалова**

Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: akzholtay.iskakova@mail.ru

### **ИНТЕГРАЛДЫҚ ЕСЕПТЕУДІҢ ЕКІ ТАРМАҒЫ**

**Андатпа.** Мақалада математиктер мен инженерлер қызығушылық тудыратын интегралды есептеудің негізгі екі мәселесі келтірілген. Интегралдық есептеулердің пайда болуы туралы мәселе аудандарды есептеу есебі мен алғашқы функцияларды есептеу есебінің мысалын қолдана отырып қарастырылады. Бұл есептер интегралдық есептеудің екі саласына әкелді: анықталған интегралдар теориясы және анықталмаған интегралдар теориясы. Интегралдық есептеу математикалық талдаудың ең күрделі тақырыптарының бірі болып табылады, өйткені интегралдарды есептеу процесі тұтастай алғанда жүйелеуге берілмейді, сонымен бірге қолданбалы есептерді шешудің қуатты құралы болып табылады. Мақаланың өзектілігі, ең алдымен, математикалық талдау элементтерінің негізгі ұғымдарының мазмұнды ашылуында, басқа пәндерді тиісті математикалық қамтамасыз ету қажеттілігінде, өйткені интегралдың практикалық мазмұны негізінен физика мен техникада, сондай-ақ геометриялық денелердің көлемін табу кезінде және әртүрлі фигуралардың аудандарын есептеу кезінде қолданылады. Мақала техникалық мамандықтарда жоғары математиканы оқуға деген ынтаны арттыру тұрғысынан қызықты. Сонымен қатар, интегралдық есептеулердің практиканың қажеттіліктерімен байланысын білу теорияны терең игеру, нақты математикалық ойлауды дамыту, математикалық пәндерге қызығушылықты ояту үшін қажет.

**Негізгі сөздер:** квадратура туралы есеп, кубатура туралы есеп, ауданды есептеу, дифференциалдық есептеу, интегралдық есептеу, алғашқы функция.

**A.K. Iskakova\*, M.Zh. Baisalova**

Almaty University of Energy and Communications named after G.Daukeev, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: akzholtay.iskakova@mail.ru

## **TWO BRANCHES OF INTEGRAL CALCULATION**

**Abstract.** The article presents two main problems of integral calculus in their applied aspect, which arouse a lively and continuing interest shown by mathematicians and engineers. The question of the origin of integral calculus is considered, using the example of the problem of calculating areas and the problem of calculating primordial ones. These problems led to two branches of integral calculus: the theory of definite integrals and the theory of indefinite integrals. Integral calculus is one of the most difficult topics of mathematical analysis, since the process of calculating integrals in general does not lend itself to formal systematization, at the same time it is a powerful tool for solving applied problems. The relevance of the article is primarily in the content disclosure of the basic concepts of the elements of mathematical analysis, in the need for appropriate mathematical support for other disciplines, since the practical application of the integral is mainly used in physics and engineering, as well as in finding the volumes of geometric bodies and in calculating the areas of various shapes. The article is interesting from the point of view of increasing motivation to study higher mathematics in technical specialties. Thus, knowledge of the connection of integral calculus with the needs of practice is necessary for a deep assimilation of the theory, the development of specific mathematical thinking, and instilling interest in mathematical disciplines.

**Keywords:** quadrature problem, cubature problem, antiderivative, definite and indefinite integrals.

Д.О. Ауельбекова\*, А.Е. Амантаева, А.А.Хохлов  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: dianaauel11@gmail.com

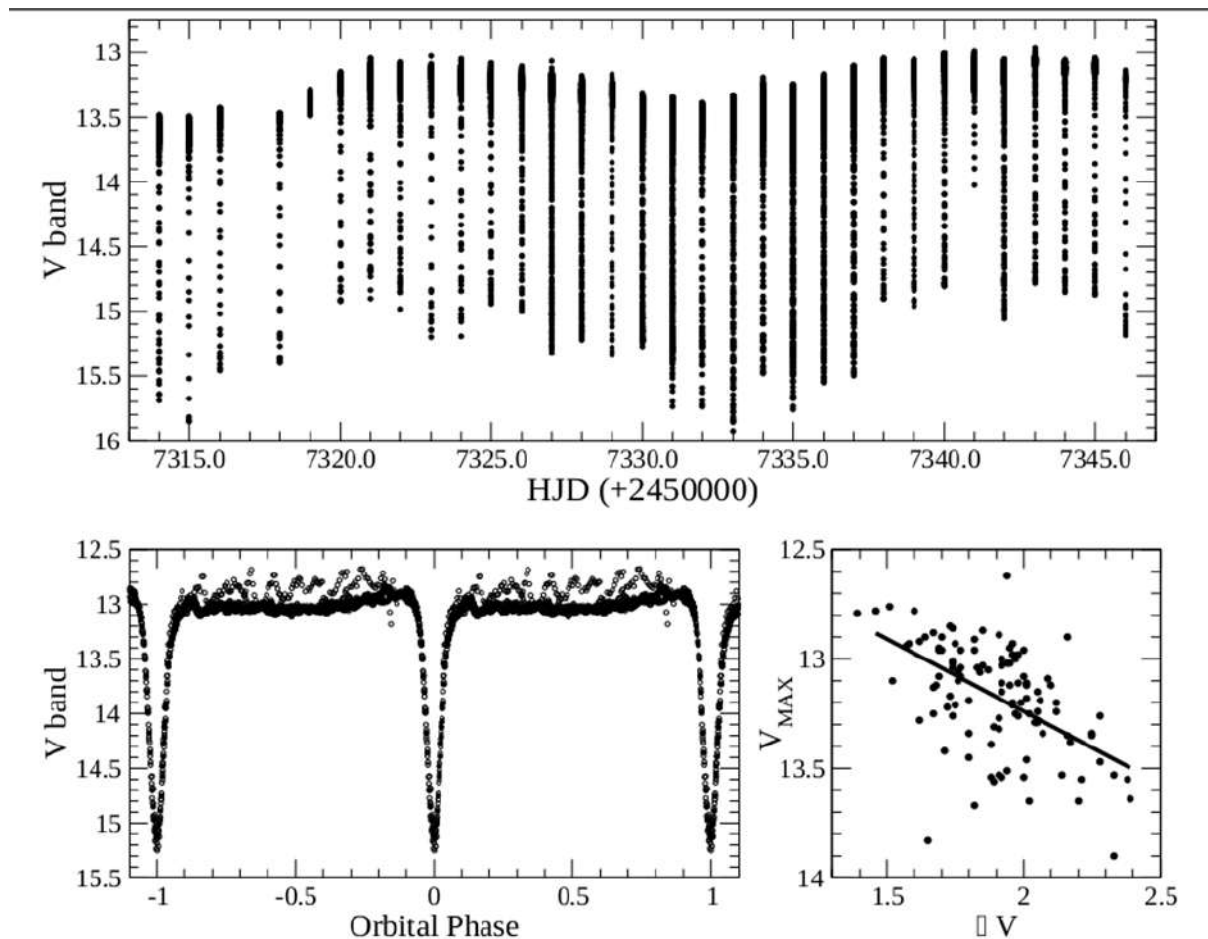
### ТҰТЫЛМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДЫ МОДЕЛЬДЕУ 2MASS J02253615+2805508

**Андатпа.** Бұл мақалада жаңатәріздес 2MASS J02253615+2805508 катаклизмалық айнымалының фотометриялық зерттеулері келтірілген. Қос жүйе бастапқы және екінші жұлдыздардан, аккрециялық зат ағынынан, аккрециялық дискіден және оның шетіндегі ыстық дақтан тұратындығына негізделген жарқырау қисығы модельденді. Gaia миссиясының нәтижелерінен алынған жұлдызға дейінгі қашықтықты ескере отырып,  $d=315$  (5) пк, жүйенің көлбеу бұрышы  $i=77,2^\circ$ , бастапқы және екінші жұлдыздардың массалары,  $M_1=0,70 M_\odot$  және  $M_2=0,42 M_\odot$ , сәйкесінше, аккрециялық дискінің радиусы  $R_{\text{disk}}=0,58 R_\odot$  анықталды.

**Негізгі сөздер:** фотометрия, жарқырау қисығы, катаклизмалық айнымалылар, жаңа тәріздес, модельдеу

**Кіріспе.** Катаклизмалық айнымалылар (CVs) - бұл өзара әсерлесуші қос жүйе, құрамында біріншітекті ретінде ақ ергежейліден (WD) тұратын және бас тізбектегі кеш спектралды класстағы (К-М типті) жұлдыздан немесе екіншітекті ретінде қоңыр ергежейліден тұрады [1]. Екіншітекті жұлдыз Рош қуысын толтырып және ақ ергежейлінің магнит өрісі жеткілікті деңгейде оған қарсы келуге күші жетпесе, екіншітекті жұлдыз ақ ергежейлінің айналасында аккрециялық диск құрай отырып, Лагранж  $L_1$  ішкі нүктесі арқылы материяны тасымалдайды. Төмен және жоғары температура/тығыздық күйлері дискідегі жарылғыш ауысумен байланысты іс-әрекеттер көрсететін объектілерді жаңа ергежейлілер (DNe) деп атайды. Олардан өзге аккреция жылдамдығы жоғары  $\geq 10^{-9} M_\odot$  болып келетін ұзақпериодты орбиталды периодқа ие катаклизмалық айнымалы ( $P_{\text{orb}} > 3\text{h}$ ) жүйелер бар. Мұндай жүйелер жаңа тәріздес (NLs) деп аталады; олардың аккрециялық дискілері уақыттың көп бөлігінде жоғары күйде болады. Төмен шамаға ие оптикалық спектрлері бірконтурлы эмиссионды Бальмер сызықтарымен қоса тұтылуы жоғары еңкеюге ие жүйелер үшін де көк континуумды көрсетеді. Кейбір жағдайларда эмиссиялық сызықтар жұтылу элементтерімен қоршалған. Жаңа тәріздестердің ультракүлгін спектрінде аккрециялық дисктің сәулеленуі басым. Олар көбінесе P Cygni тәрізді және/немесе көкшіл жұтылу профильдері бар  $N_v$ ,  $Si_{IV}$  және  $C_{IV}$  сияқты резонанстық сызықтарды көрсетеді. Бірнеше модельдер: штарковтық кеңейтулер - [2]; магниттік аккреция - [3]; дискіні толтыру кезіндегі аккреция - [4]; эмиссионды сызықтардың басым көзі ретінде кеңейтілген ашық дақ - [5]; [6]; және жел сәулеленуі - [7]; [8]; [9]; [10] жаңа тәріздестер сипаттамаларын түсіндіру үшін ұсынылды. Басқаларға қарағанда әлдеқайда жетілдірілген жел моделі жаңа тәріздестердің ультракүлгін спектрлеріндегі сутегі мен гелийдің рекомбинациялық сызықтарын, сондай-ақ Бальмер сызықтарының көгілдір өрістерінің рекомбинациялық континуумын қайта жаңғыртуға қабілетті. Бірақ бұл модель оптикалық аймақтағы бақыланатын He II сызықтарынан да күшті және коллизиялық қозудың үлкен үлесін ультракүлгін резонанс сызықтарына береді. Жаңа тәріздестердегі бірконтурлы Бальмер сызықтарының профильдері күрделі құрылымға ие болуы мүмкін екендігі туралы хабарланды ([12]; [13]; [14]). Жақында екі жаңа тәріздестер жүйесін жоғары өлшеммен жүргізген спектрлік зерттеу [15] Бальмер эмиссионды сызығының профильдерін екі түрлі аймақтан туындайтын екі компонентке бөлуге болатындығын көрсетеді. Тар, төмен жылдамдықты компоненттің көзі – екіншітекті жұлдыздың сәулеленген беті болып табылады. Кең компонент  $L_3$  нүктесінің маңындағы шығу аймағынан келеді.

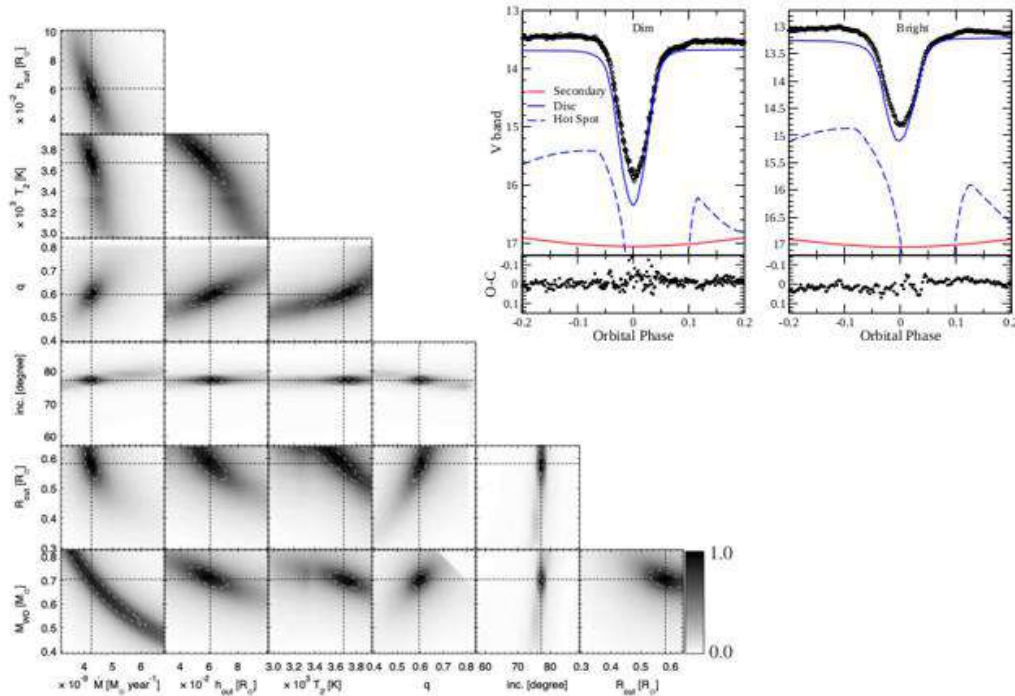
**Модельдеу үшін жарқырау қисығының морфологиясы.** AAVSO деректеріне негізделген шамамен ай сайынғы 2MASS J02253615 + 2805508 V диапазонындағы жарқырау қисығының көрінісі 1-суретте көрсетілген. Тұтылудан өзге, объект 12,8 - 13,7 шамалар аралығында ұзақ мерзімді айнымалылықты көрсетеді. Бір орбиталық кезеңнің масштабталуы төменгі сол жақ панельде екі түрлі жағдайда (қабаттасу) жылтырын өзгерткен кезде (толтырылған шеңберлер) және ол болмаған кезде (толтырылған шеңберлер; период ішінде жарқырау қисығы екі рет қайталанады) көрсетілген. Жылтырының өзгерісі кездейсоқ жағдайда пайда болады және жоғалады. Тұтылу тереңдігі ( $\Delta V$ ) объектінің жарықтығының (V) негізіне байланысты (1-суреттегі төменгі оң жақ панельді қараңыз). Бұл барлық ерекшеліктер, әдетте, өте белгілі, алайда жүйенің алынған параметрлері үлкен шашырандылықты көрсетеді. Жүйенің анықтамасын жақсарту үшін жасалған [16] құрал көмегімен біз жинақталған фотометриялық бақылауларды тұтылудың жарқырау қисықтарын талдау үшін пайдаландық. Қысқаша айтқанда, модельдеу негізі біріншітекті ақ ергежейлі, екіншітекті қызыл ергежейлі жұлдыз, аккрециялық материя ағыны, қалың аккреция дискісі және кеңейтілген ыстық нүкте/сызықты қамтиды.



**1 сурет.** Жоғарғы панель: AAVSO деректерінен құрастырылған 2MASS J02253615 + 2805508 ұзақ мерзімді жарқырау қисығы. Төменгі сол жақта: 2MASS J02253615 + 2805508 үшін орбиталық кезеңде бүктелген V диапазонды жарқырау қисығының мысалы. Деректер OAN-SPM-де төрт түн қатарынан жиналды. Жылтыр өзгерісі жарқырау қисығында ашық шеңберлермен көрсетілген, ал қарама-қарсы беті толтырылған шеңберлермен көрсетіледі. Әр түрлі орбиталық циклдар үшін тұтылудан тыс іс-әрекеттің айырмашылығы өте анық көрінеді. Төменгі оң жақ: Күн тұтылғаннан кейінгі максималды жарықтылық пен тұтылу тереңдігі арасындағы байланыс көрсетілген.

Ақ ергежейлі – [1] масса мен радиустың қатынасымен анықталған сфера. Екіншітекті бөлік өзінің Рош қуысын толтырады деп алынып, ал Рош қуысының формасы  $\Phi(L_1)$  эквипотенциалына [1] арналған теңдеуі арқылы тікелей есептеледі. Жүйедегі әрбір компонент жазықтығы үшбұрыштармен қатарларға бөлінген. Біз әр үшбұрышты сәйкес температураға ие қара дене түрінде сәулеленеді деп аламыз. Айналаның қараңғылануы [17] және екіншітектінің біріншітектімен жарықтандырылуы да қосылған. Әрбір элементтің қарқындылығы өзіне сәйкес фильтрдің өткізу жолағымен ширатылып, элементтің беткі қабатын, бағдарлануын, жүйеге дейінгі қашықтықты және жұлдызаралық жұтылуды ескере отырып ағынға айналады. Жеке компоненттер мен қос жүйенің жарқырау қисықтары, көрінетін барлық сәулелену элементтерін біріктіру арқылы алынды.

Жаңа тәріздеске ұқсас объектілердің жарқырау қисығын модельдеудің мәліметтері [15] сипатталған. AAVSO деректерінің үлкен көлемін және өз бақылауларымызды қайта қарастырғаннан кейін, біз 2-суреттің жоғарғы оң жақ бұрышында ұсынылған 2MASS J02253615+2805508 екі түрлі тұтылудың мысалдарын таңдадық. Алайда, біз осы екі тұтылудың типтік мысалдары профильдерін ашық және күңгірт күйде бейнелейтінін және көптеген баламаларды AAVSO деректерінде әртүрлі дәуірлерде табылғанын айтылады. Сурет. 2-нің оң жақ панелінде ең кіші тұтылу тереңдігі бар тұтылу профилін ұсынылған (жүйе ашық болған кезде). Сол жақ панельдегі график, объектінің жарқырауының жалпы төмендеуі кезінде байқалған ең терең тұтылулардың біріне сәйкес келеді. Екеуі де сәйкес модельдермен жабдықталған. Таңдау 2MASS J02253615 + 2805508 жүйесінің параметрлерін анықтауға бағытталған, өйткені бұл 315 пк қашықтықта орналасқан жоғары еңкеюге ие жүйе. Сондай-ақ,  $K_2 = V \sin(i) = 200\text{-}240 \text{ км с}^{-1}$  екінші орбиталық жылдамдық өлшемі бар. Сонымен қатар, стандартты стационарлық аккреция  $T \approx R^{-3/4}$  диск температурасының радиалды профилін аккреция жылдамдығымен анықтайды деп болжаймыз  $M \approx 10^{-9} - 10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ .



**2-сурет.** Оң жақ жоғарғы панель: тұтылу мысалдары (ашық шеңберлер) "ашық" (оң жақта) және "күңгірт" (сол жақта) күйіндегі және жарық қисығын модельдеу нәтижелері (қатты сызық). Жүйенің әртүрлі компоненттерінің жалпы ағынға қосқан үлесі атап өтілді. Тиісті О–С диаграммалары (минус есептелген) осы графиктің төменгі панельдерінде келтірілген. Сұр шкаланың сол жақ панельдері: жарқырау қисығының "күңгірт" күйдегі қателіктері. Қара нүктелі сызықтар параметрлердің ұқсас, жақын мәндерін белгілейді. Ақ ұзын нүктелі сызықтар  $1\sigma$  параметр қателіктеріне сәйкес келеді.

**Фотометрия нәтижелері.** Негізгі параметрлері-бастапқы масса ( $M_{WD}$ ), масса қатынасы ( $q \equiv M_2/M_{WD}$ ), масса тасымалдау жылдамдығы ( $\dot{M}$ ), жүйенің еңкеюі( $i$ ), аккрециялық дискінің сыртқы радиусы ( $R_{out}$ ), сыртқы радиустағы дискінің биіктігі ( $h_{out}$ ) және екіншінің ақ ергежейлінің температурасы 30,000 K болып таңдалды, ол әлдеқайда жоғары болуы мүмкін, өйткені негізгі сәулелену көзі аккрециялық дискінің ішкі бөлігі болып табылады. 18,000-35,000 K диапазонындағы ақ ергежейлі температураның өзгеруі тұтылу профиліне әсер етпейді. Біз  $\phi \approx 0.12$  орбиталық фазада байқалған кішкене шыңды көбейту үшін, ашық және күңгірт жарқырау қисықтары үшін ыстық нүктенің параметрлерін (ұзындығы, ені және температурасы) тіркедік.

Модельдің ең жақсы сәйкестік мәндері 1-кестеде келтірілген. 2-суреттің сол жағындағы шаршы панельдердің бейнесі күңгірт жарықтық күйінде терең тұтылу үшін қол жеткізілген қателіктерді көрсетеді. Жарқырау қисығы жарқырауы жоғары күйінде жүйенің параметрлерімен бірдей, бірақ күңгірт күйге қарағанда масса тасымалдау жылдамдығының жоғары мәні бар. Біздің модельдегі жарық және күңгірт күйлердің, масса тасымалдау жылдамдығының өзгеруінен басқа, басты айырмашылығы: шетіндегі аккрециялық дискінің енімен байланысты. Жалпы алғанда, барлық байқалған оптикалық тұтылу қисықтарын осы екі параметрді өзгерте отырып, ең қолайлы мәндерді қолдана отырып, қателіктермен көбейтуге болады.

### 1-кесте. Модельдеу кезінде қолданылатын жүйе параметрлері

Бекітілген шамалар

Орбиталық период	200034,74 с
Арақашықтық	315 (5) пк
Жұлдызаралық жұтылу	0,10
Қоңыр ергежейлінің орбиталық жылдамдығы	221(29) км/с

Өзгеретін шамалар және олардың модельге ең жақсы сәйкестігі

Жүйенің еңкеюі	77,2 (5)
Ақ ергежейлі массасы	0,70 (3) $M_{\odot}$
Ақ ергежейлінің радиусы	0,011 $R_{\odot}$
Массалар қатынасы	0,60 (3)
Қоңыр ергежейлінің массасы	0,42 $M_{\odot}$
Қоңыр ергежейлінің температурасы	3675 (125) K
Қоңыр ергежейлінің радиусы	0,55 $R_{\odot}$
Дискінің сыртқы жиегінің радиусы	0,58 (4) $R_{\odot}$

Біздің модельдеріміздің күңгірт және жарық күйін қолдана отырып, жариялаған nIR J- және K-диапазондарының жарқырау қисықтарын таңдадық. Біздің модель NiG жарқырау қисығының байқалған формаларын сәтті шығаратынын анықтадық. Алайда есептелген ағын



бақылаудан шамамен 0,5 шамаға әлсіз. Толқын ұзындығы  $\approx 3-5$  мкм үшін ИҚ ағындарының стандартты модельде асып кетуі бұрын [18] 12 жаңа тәріздестерде белгіленген болатын. Сондықтан біз толқын ұзындығының қысқа диапазонында пайда болатын ИҚ сәулеленуін артық мөлшерін жоққа шығармаймыз. Тұтылудың мөлшері мен формасы ультракүлгін, оптикалық және инфрақызыл диапазондарда әр түрлі.

#### REFERENCES

- [1] Warner B. Systematics of superoutbursts in dwarf novae //Astrophysics and Space Science. – 1995. – Т. 226. – №. 2. – С. 187-211.
- [2] Lin D. N. C., Williams R. E., Stover R. J. Stark-broadened emission lines in the accretion disks of cataclysmic variables //The Astrophysical Journal. – 1988. – Т. 327. – С. 234-247.
- [3] Williams R. E. Eclipse line profiles in cataclysmic variables-Evidence for absence of accretion disks //The Astronomical Journal. – 1989. – Т. 97. – С. 1752-1758.
- [4] Hellier C., Robinson E. L. PX Andromedae and the SW Sextantis phenomenon //The Astrophysical Journal. – 1994. – Т. 431. – С. L107-L110.
- [5] Dhillon V. S., Marsh T. R., Jones D. H. P. On the nature of SW Sex //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1997. – Т. 291. – №. 4. – С. 694-708.
- [6] Tovmassian G. et al. On the SW Sex-type eclipsing cataclysmic variable SDSS0756+ 0858 //The Astronomical Journal. – 2014. – Т. 147. – №. 3. – С. 68.
- [7] Honeycutt R. K., Schlegel E. M., Kaitchuck R. H. Evidence for a bipolar wind in the cataclysmic variable PG 1012-029 //The Astrophysical Journal. – 1986. – Т. 302. – С. 388-402.
- [8] Murray N., Chiang J. Wind-dominated optical line emission from accretion disks around luminous cataclysmic variable stars //Nature. – 1996. – Т. 382. – №. 6594. – С. 789-791.
- [9] Puebla R. E. et al. A Method for the Study of Accretion Disk Emission in Cataclysmic Variables. I. The Model //The Astrophysical Journal. – 2011. – Т. 736. – №. 1. – С. 17.
- [10] Matthews J. H. et al. The impact of accretion disc winds on the optical spectra of cataclysmic variables //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Т. 450. – №. 3. – С. 3331-3344.
- [11] Horne K., Lanning H. H., Gomer R. H. A first look at the eclipsing cataclysmic variable Lanning 10 //The Astrophysical Journal. – 1982. – Т. 252. – С. 681-689.
- [12] Mauche C. W. et al. Optical, iue, and rosat observations of the eclipsing nova-like variable v347 puppis (Ib 1800) //The Astrophysical Journal. – 1994. – Т. 424. – С. 347-369.
- [13] Thoroughgood T. D. et al. The masses of the cataclysmic variables AC Cancri and V363 Auriae //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Т. 353. – №. 4. – С. 1135-1150.
- [14] Hernandez M. S. et al. Structure of accretion flows in nova-like cataclysmic variables: RW Sextantis and 1RXS J064434. 5+ 334451 //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Т. 470. – №. 2. – С. 1960-1970.
- [15] Zharikov S. et al. The accretion disk in the post period-minimum cataclysmic variable SDSS J080434. 20+ 510349.2 //Astronomy & Astrophysics. – 2013. – Т. 549. – С. A77.
- [16] Claret A., Hauschildt P. H., Witte S. New limb-darkening coefficients for PHOENIX/1D model atmospheres-I. Calculations for  $1500 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 4800 \text{ K}$  Kepler, CoRot, Spitzer, uvby, UVRIJHK, Sloan, and 2MASS photometric systems //Astronomy & Astrophysics. – 2012. – Т. 546. – С. A14.
- [17] Hoard D. W. et al. Nova-like cataclysmic variables in the infrared //The Astrophysical Journal. – 2014. – Т. 786. – №. 1. – С. 68.

**Д.О. Ауельбекова\*, А.Е. Амантаева, А.А. Хохлов**

Казахский национальный университет им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: dianaauel11@gmail.com

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ 2MASS J02253615+2805508

**Аннотация.** В данной статье приведены фотометрические исследования катаклизмической переменной 2MASS J02253615+2805508, которая относится к новоподобным. Проведено моделирование кривой блеска, на основе того, что двойная система состоит из первичной и вторичной звезд, потока аккреционного вещества, аккреционного диска и горячего пятна на его краю.

С учетом расстояния до звезды, взятого из результатов миссии Gaia, равного  $d=315$  (5) пк, получены некоторые параметры системы, такие как наклон системы  $i=77,2^\circ$ , массы первичной и вторичной звезд,  $M_1=0,70 M_\odot$  и  $M_2=0,42 M_\odot$  соответственно, радиус аккреционного диска  $R_{\text{disk}}=0,58 R_\odot$ .

**Ключевые слова:** фотометрия, кривая блеска, катаклизмические переменные, новоподобные, моделирование.

**D.O. Auyelbekova\***, A.E. Amantayeva, A.A. Khokhlov  
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: dianaauel11@gmail.com

### MODELLING OF AN ECLIPSING STAR 2MASS J02253615+2805508

**Abstract.** This article presents photometric studies of the cataclysmic variable 2MASS J02253615+2805508, which belongs to nova-like. The light curve is modeled based on the fact that the binary system consists of a primary and secondary star, an accretion material flow, an accretion disk, and a hot spot on its edge. Taking into account the distance to the star taken from the results of the Gaia mission, equal to  $d=315$  (5) pc, some system parameters are obtained, such as the inclination of the system  $i=77.2^\circ$ , the masses of the primary and secondary stars,  $M_1=0.70 M_\odot$  and  $M_2=0.42 M_\odot$ , respectively, the radius of the accretion disk  $R_{\text{disk}}=0.58 R_\odot$ .

**Keywords:** photometry, light curve, cataclysmic variables, nova-like, modeling

С.А. Сарманбетов\*, А.А. МаксUTOва, Е. Сагидолда, Д.М. Жексебай, Е.Т. Кожагулов

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

## КЛАССИФИКАЦИЯ МОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию сверточных нейронных сетей для применения в классификации модулированных радиосигналов. Автоматическая классификация сигналов модуляции имеет широкий спектр применения в беспроводной связи. Также, показаны модулированные радиосигналы при различном уровне SNR. В данной работе использовались данные с базы радиомодулированных сигналов DeepSig, созданные с помощью GNU Radio. Исходя из этого, рассмотрена классификация модуляции с помощью сверточных нейронных сетей последнего поколения. В работе показаны графики зависимостей показывающие точности обучения сети, а также матрицы неточностей с различными видами модулированных радиосигналов. Показано, что сверточные нейронные сети последнего поколения являются наиболее подходящими для решения данной проблемы, так как имеют способность быстрого обучения и точного определения.

**Ключевые слова:** модуляция, сверточные нейронные сети, SNR, GNU Radio.

**Введение.** Радиосвязь представляет собой уникальную область для обработки сигналов с рядом интересных проблем и возможностью для машинного обучения. В этой области экспертные характеристики и критерии были тщательно разработаны и проанализированы на предмет оптимальности в течение многих лет.

Традиционные методы автоматической классификации модуляции [1-2] можно разделить на две части: методы, основанные на правдоподобии и методы, основанные на признаках. Метод, основанный на правдоподобии, может минимизировать частоту ошибок, но его вычислительная сложность высока, и он не адаптирован к неизвестным условиям канала и помехам между передатчиком и приемником. Методы на основе признаков вычисляют определенные характеристики принятого сигнала, как абсолютная нормализованная мгновенная частота, среднее значение, стандартное отклонение и нарушение нормализованной центрированной амплитуды принятого сигнала. Вычислительная сложность этих методов относительно невысока, но выбор признаков сильно зависит от ручного анализа. Очень сложно найти характеристики, которые могли бы адаптироваться к неидеальным условиям и различать несколько типов модуляции. Из этого следует, что автоматическая классификация модуляции является очень сложной задачей, особенно, когда не имеется предварительная информация о принятых сигналах.

В последние годы глубокое обучение извлекло пользу из нейросетевых элементов, что помогло изучить более детальную информацию входных данных, демонстрируя отличную производительность во многих задачах, таких как классификация и обработка изображений, машинный перевод и т.д. Глубокое обучение, в частности, сверточные нейронные сети (CNN) широко использовались в нескольких областях беспроводной связи и обработки радиосигналов, в регулировании и восстановлении разреженного сигнала, оценке канала, распределении ресурсов и локализации. CNN - это особый тип искусственной нейронной сети, предназначенный в первую очередь для задач компьютерного зрения. Классические CNN часто содержат четыре основных уровня: сверточный слой, слой объединения, полностью связанный входной слой и первый полностью связанный слой. Сверточный слой - «фильтр» проходит по изображению, сканируя несколько пикселей за раз и создавая карту объектов, которая предсказывает класс, к которому принадлежит каждый объект. Слой объединения (понижающая дискретизацию) - уменьшает количество информации в каждой

характеристике, полученной в сверточном слое, сохраняя при этом наиболее важную информацию (обычно существует несколько циклов свертки и объединения). Полностью связанный входной слой (сглаживание) - принимает выходные данные предыдущих слоев, «сглаживает» их и превращает их в единый вектор, который может быть входом для следующего этапа. Первый полностью связанный слой [3-5] принимает входные данные из объектов и применяет веса для предсказания правильной метки. Первый полностью связанный слой дает окончательные вероятности для каждой метки [6-8]. Сверточные нейронные сети обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям.

Из анализа современной литературы [9] сверточная нейронная сеть и ее модификации считаются лучшими по точности и скорости алгоритмов нахождения объектов. Начиная с 2012 года, нейросети занимают первые места на известном международном конкурсе по распознаванию образов ImageNet [10]. На сегодняшний день нерешенной задачей является применение современных моделей нейронных сетей для решения классификаций типов модуляции с разными уровнями соотношения сигнал / шум (SNR).

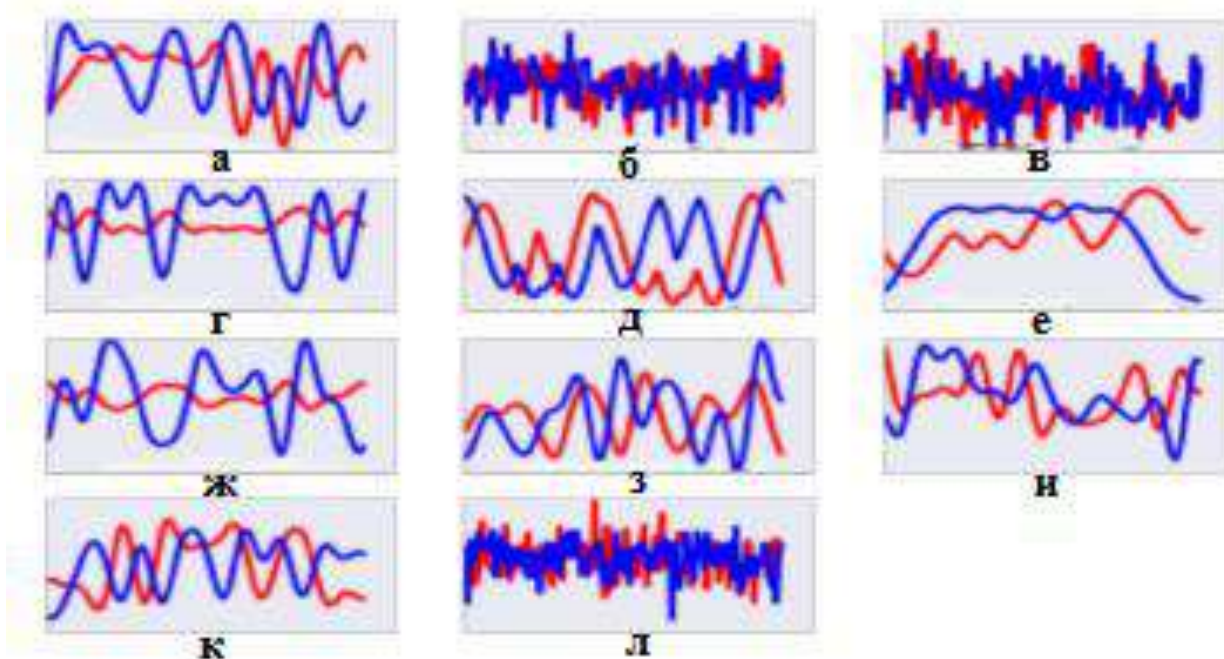
Целью данной работы является классификация типов модуляции с разными уровнями соотношения сигнал / шум (SNR) с помощью разных архитектур сверточных нейронных сетей для повышения точности классификации.

**Экспериментальная часть.** Данные показанные в этой работе были взяты из ресурса DeepSig [11-12]. DeepSig содержит небольшие стандартные наборы данных, которые могут использоваться для воспроизводимых исследований и экспериментов. Набор данных создан с помощью GNU Radio, состоящий из радиосигналов, модулированных разными типами модуляции и также охваченными значением отношений сигнал/шум (SNR). Рассматриваются 11 типов модуляций, а именно 8PSK, AM-DSB, AM-SSB, BPSK, CPFSK, GFSK, PAM4, QAM16, QAM64, QPSK и WBFM.

**Обучение сетей.** Во время обучения нейросети размер мини-пакета устанавливается равным 128. Количество эпох обучения сети CNN-Net составляет 120. Общее количество классов 11, размер батча составляет 1024. Прежде чем обучать данные, разделим их на обучающую и тестовую выборку. Обучающий набор признаков – это то, что предоставляется нашей модели вместе с ответами в ходе обучения. Модель должна выучить соответствие признаков цели. Тестовый набор признаков используется для оценки обученной модели. Когда она обрабатывает тестовый набор, то не видит правильных ответов и должна прогнозировать, опираясь только на доступные признаки. Ответы для тестовых данных известны и можно сравнить с ними полученные результаты прогнозирования. Тестовая выборка составила 20% исходных данных с коэффициентом валидации 5%. Размеры выборок после их разделения: X\_train (129648, 2, 128), X\_test (32412, 2, 128), labels\_train (129648, 2), labels\_test (32412, 2), y\_train (129648,), y\_test (32412,).

Для переменной ответа использовался LabelBinarizer (). Label Binarizer - это класс SciKit Learn, который принимает категориальные данные в качестве входных данных и возвращает массив NumPy. В отличие от Label Encoder, он кодирует данные в фиктивные переменные, указывающие наличие конкретной метки или ее отсутствие. Было проведено кодирование данных столбца с использованием Label Binarizer. После применения данного кодирования размеры переменной составили: y\_train (129648, 11), y\_test(32412, 11).

В данной работе использовался классический полносвязанный слой, с добавлением BatchNormalization слоя для повышения точности, который нормализует данные путем вычитания среднего и стандартизации, при обучении некоторых параметров, позволяющих сети обучать представление нормализации между ненормализованным и полностью нормализованным данными. Модули начального уровня представляют собой типичные сверточные нейронные сети (CNN), которые состоят из сложных сверточных слоев в сочетании с максимальным объединением и отключением.



**Рисунок 1.** Примеры из базы данных DeepSig модулированных сигналов  
а) график времени модуляции 8PSK, б) график времени модуляции AM-DSB,  
в) график времени модуляции AM-SSB, г) график времени модуляции BPSK,  
д) график времени модуляции CPFSK, е) график времени модуляции GFSK, ж) график времени модуляции PAM4, з) график времени модуляции QAM16, и) график времени модуляции QAM64, к) график времени модуляции QPSK, л) график времени модуляции WBFM.

На рисунке 2 показана архитектура, которая использована, в обобщенном виде с помощью keras. Определение самой модели можно разбить на несколько характеристик: количество слоев, типы этих слоев, количество единиц (нейронов) в каждом слое, функции активации каждого слоя, размер ввода и вывода.

Существует много типов слоев для моделей глубокого обучения. Convolutional и pooling layers используются в CNN, которые классифицируют или выполняют обнаружение объектов.

На рисунке 3 показан график сравнения точностей проверки и обучения.

Dense layers являются наиболее распространенными и популярными типами слоя - это просто обычный слой нейронной сети, в котором каждый из ее нейронов связан с нейронами предыдущего и следующего слоя. Каждый из них имеет функцию активации, которая определяет выход нейронов на основе входных данных и весов синапсов.

Dropout layers - это просто слои регуляризации, которые случайным образом сбрасывают некоторые входные единицы до 0. С ее помощью можно снизить вероятность переобучения нейронной сети. В построении модели были использованы несколько Dense layers и Dropout layers. Число нейронов в каждом слое варьировался от 11 и 640.

Самыми распространенными функциями активации являются ReLU (Rectified Linear Unit), сигмоидная функция и линейная функция. В нашей модели были использованы несколько разных функций.

Всего было использовано 497 515 параметров модели. Обучаемые параметры: 496 875. Необучаемые параметры: 640.

Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
input_5 (InputLayer)	(None, 2, 128)	0	
reshape_5 (Reshape)	(None, 1, 2, 128)	0	input_5[0][0]
conv2d_29 (Conv2D)	(None, 1, 2, 128)	16512	reshape_5[0][0]
conv2d_31 (Conv2D)	(None, 1, 2, 128)	32896	reshape_5[0][0]
conv2d_33 (Conv2D)	(None, 1, 2, 128)	16512	reshape_5[0][0]
max_pooling2d_5 (MaxPooling2D)	(None, 1, 2, 128)	0	reshape_5[0][0]
conv2d_30 (Conv2D)	(None, 1, 2, 64)	49216	conv2d_29[0][0]
conv2d_32 (Conv2D)	(None, 1, 2, 64)	32832	conv2d_31[0][0]
conv2d_34 (Conv2D)	(None, 1, 2, 64)	32832	conv2d_33[0][0]
conv2d_35 (Conv2D)	(None, 1, 2, 128)	16512	max_pooling2d_5[0][0]
batch_normalization_17 (Batch Normalization)	(None, 1, 2, 64)	256	conv2d_30[0][0]
batch_normalization_18 (Batch Normalization)	(None, 1, 2, 64)	256	conv2d_32[0][0]
batch_normalization_19 (Batch Normalization)	(None, 1, 2, 64)	256	conv2d_34[0][0]
batch_normalization_20 (Batch Normalization)	(None, 1, 2, 128)	512	conv2d_35[0][0]
concatenate_5 (Concatenate)	(None, 1, 2, 320)	0	batch_normalization_17[0][0] batch_normalization_18[0][0] batch_normalization_19[0][0] batch_normalization_20[0][0]
flatten_5 (Flatten)	(None, 640)	0	concatenate_5[0][0]
dropout_4 (Dropout)	(None, 640)	0	flatten_5[0][0]
dense_8 (Dense)	(None, 360)	230760	dropout_4[0][0]
dense_9 (Dense)	(None, 120)	43320	dense_8[0][0]
dense_10 (Dense)	(None, 64)	7744	dense_9[0][0]
dense_11 (Dense)	(None, 11)	715	dense_10[0][0]

Total params: 481,131  
Trainable params: 480,491  
Non-trainable params: 640

Рисунок 2. Начальная архитектура используемой сверточной нейронной сети

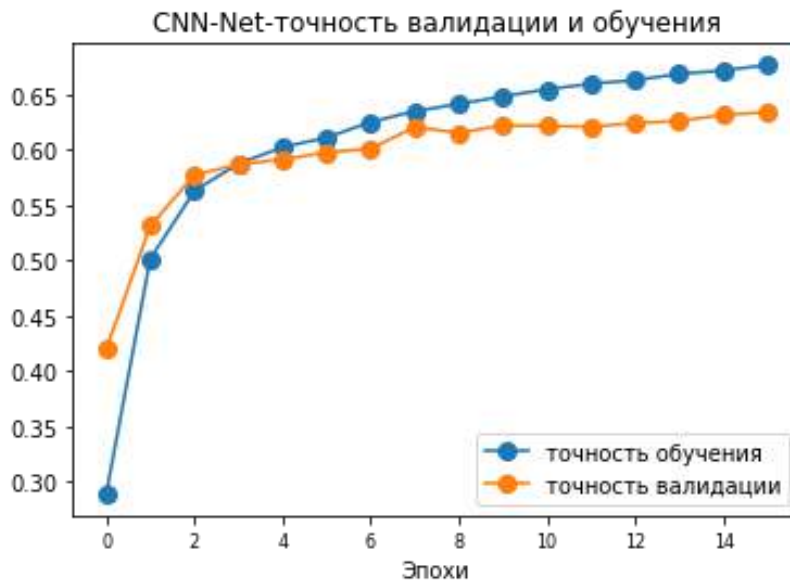


Рисунок 3. Сравнительный график точности проверки и точности обучения

С увеличением эпох видно, что точность для тестовых данных не опускается ниже производительности тренировочного набора, значит, переобучения нет. Модель способна правильно классифицировать 61% данных, при этом точность модели равна 60.94%.

На рисунке 4 показано построение матрицы неточностей для всех тестовых данных.

Как видно на матрице неточностей модель смогла правильно идентифицировать верно большинство классов. Наиболее верно были предсказаны классы модуляции AM-SSB, QAM64 более 80%, также PAM4, QAM16 более 60%. Но при этом модель неверно предсказала наиболее часто с 8PSK, AM-DSB до 40%.

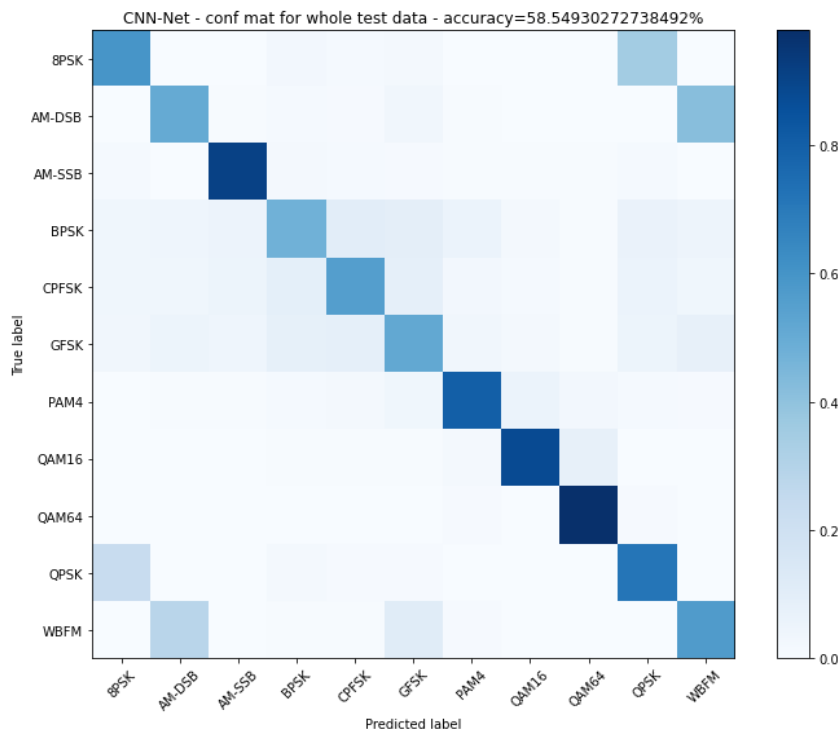


Рисунок 4. Матрица начального замешательства CNN и точность всех тестовых данных

На рисунке 5 показан график матрицы ошибки при  $SNR = 0$ .

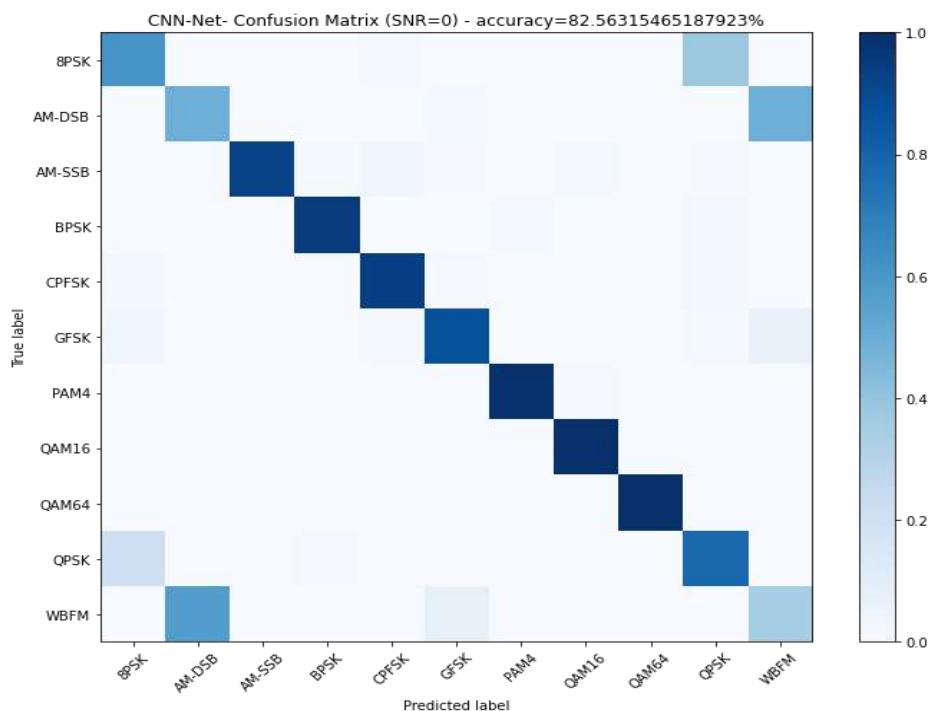


Рисунок 5. Матрица начальной ошибки CNN для  $SNR = 0$

При  $SNR = 0$  показатели confusion matrix улучшились, модель верно предсказала классы модуляции AM-SSB, BPSK, CPFSK, GFSK, PAM4, QAM16, QAM64 более 80%, также QPSK, 8PSK более 60%.

На рисунке 6 показан график зависимости точности от отношения сигнал / шум.

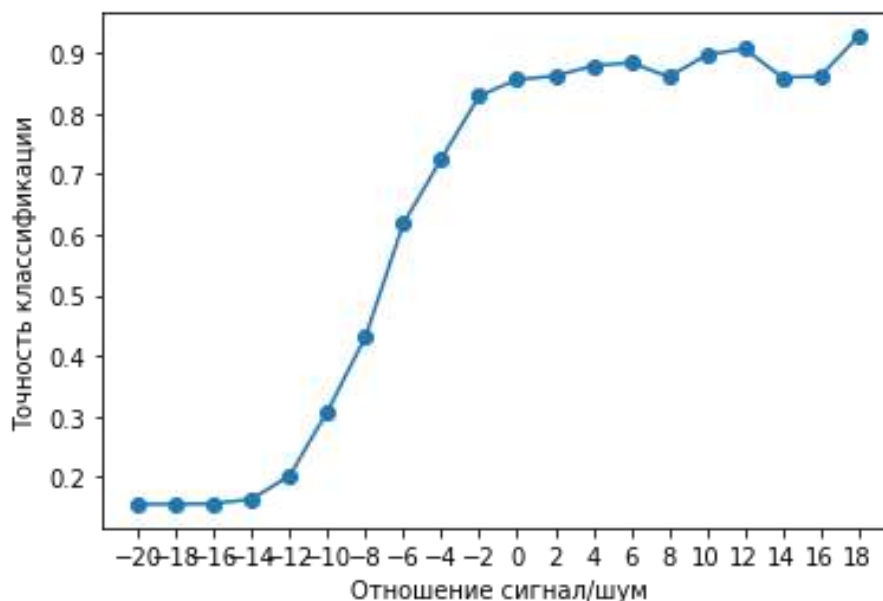


Рисунок 6. График зависимости точности классификации и отношения SNR



Точность классификации сначала быстро возрастает по мере увеличения SNR в пределах -20dB до 20dB, что согласуется с нашим теоретическим анализом. При SNR=18dB, точность классификации составляет 92%, следовательно, метод классификации модуляции на основе CNN эффективен даже при низком уровне SNR.

**Заключение.** В данной статье была проведена работа метода классификации модулированных радиосигналов на основе сверточной нейронной сети CNN. Хотя эти результаты не являются сравнением существующих классификаторов модуляции, основанных на лучших экспертных характеристиках, результаты демонстрируют, что для примеров с низким SNR, CNN представляет собой мощный, вероятно, современный подход точности к классификации модуляции. Сигналы с различными соотношениями сигнал/шум при низком уровне показала максимальный результат 92%. Этот подход может легко масштабироваться до дополнительных классов модуляции и должен рассматриваться как сильный кандидат для систем DSA и CR [13-15], которые полагаются на надежную классификацию радиоизлучателей с низким отношением сигнал/шум.

#### REFERENCES

- [1] W. A. Gardner and C. M. Spooner, "Signal interception: performance advantages of cyclic-feature detectors," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 40, no. 1, pp. 149-159, 1992.
- [2] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr, "Cognitive radio: making software radios more personal," *Personal Communications, IEEE*, vol.6, no. 4, pp. 13-18, 1999
- [3] C. Nvidia, "Compute unified device architecture programming guide," 2007.
- [4] T. W. Rondeau, "Application of artificial intelligence to wireless communications," PhD thesis, Virginia Tech, 2007.
- [5] M. D. Zeiler, D. Krishnan, G. W. Taylor, and R. Fergus, "Deconvolutional networks," in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010. IEEE Conference on, IEEE, 2010, pp. 212-215.
- [6] H. Lee, A. Battle, et al., "Efficient sparse coding algorithms," in *Advances in neural information processing systems*, 2006, pp.801-808.
- [7] C. Clancy, J. Hecker, E. Stuntebeck, and T. O'Shea, "Applications of machine learning to cognitive radio networks," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 14, no. 4, pp. 47-52, 2007.
- [8] K. Kim, I. A. Akbar, et al., "Cyclostationary approaches to signal detection and classification in cognitive radio," in *New frontiers in dynamic spectrum access networks*, 2007. DySPAN 2007, IEEE, 2007, pp. 212-215.
- [9] H. Lv, X. Zhou, J. Huo, J. Yuan. Joint OSNR monitoring and modulation format identification on signal amplitude histograms using convolutional neural network. *Optical Fiber Technology*, Volume 61, January 2021, 102455
- [10] D. Mishkina, N. Sergievskiy, J. Matas. Systematic evaluation of convolution neural network advances on the Imagenet. *Computer Vision and Image Understanding*, Volume 161, 2017, Pages 11-19.
- [11] E. Blossom, "Gnu radio: tools for exploring the radio frequency spectrum," *Linux journal*, vol. 2004, no. 122, p. 4, 2004.
- [12] P. J. Kolodzy, "Dynamic spectrum policies: promises and challenges," *CommLaw Conspectus*, vol. 12, p. 147, 2004.
- [13] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," in *Advances in neural information processing systems*, 2012, pp. 1097-1105.
- [14] T. Tieleman and G. Hinton, "Lecture 6.5-rmsprop: divide the gradient by a running average of its recent magnitude," *COURSERA: Neural Networks for Machine Learning*, vol. 4, p. 2, 212.
- [15] T. O'Shea, "Gnu radio channel simulation," in *GNU Radio Conference 2013*, 2013.

---

**С.А. Сарманбетов\***, А.А. Максұтова, Е. Сағидолда, Д.М. Жексебай, Е.Т. Кожагулов  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

### МОДУЛЯЦИЯЛАНҒАН РАДИОСИГНАЛДАРДЫ ҮЙІРТКІЛІ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ ЖІКТЕУ

**Андатпа.** Жұмыс модуляцияланған радиосигналдарды жіктеуде қолдану үшін үйірткілі нейрондық желіні зерттеуге арналған. Модуляциялық сигналдарды автоматты түрде жіктеу сымсыз қосымшалардың алуан түрлілігіне ие. Сондай-ақ әр түрлі SNR деңгейлеріндегі модуляцияланған радио сигналдар көрсетілген. Бұл жұмыста GNU Radio көмегімен құрылған DeepSig радио модуляцияланған сигналдар базасының деректері пайдаланылды. Осыған сүйене отырып, соңғы буын үйірткілі нейрондық желілерді қолдана отырып модуляцияны жіктеу қарастырылады. Жұмыста желіні оқытудың дәлдігін көрсететін тәуелділік графиктері, сондай-ақ модуляцияланған радио сигналдардың әртүрлі типтерімен дәлсіздіктер матрицалары көрсетілген. Соңғы буынның үйірткілі нейрондық желілері бұл мәселені шешуге ең қолайлы екендігі көрсетілген, нейрондық желі тез үйренуге және дәл анықтауға қабілетті.

**Негізгі сөздер:** модуляция, үйірткілі нейрондық желі, SNR, GNU Radio.

**S.A. Sarmanbetov\***, A.A. Maksutova, Y. Sagidolda, D.M. Zhexebai, Y.T. Kozhagulov  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

### CLASSIFICATION OF MODULATED RADIOSIGNALS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

**Abstract.** The work is devoted to the study of convolutional neural networks for use in the classification of modulated radio signals. Automatic classification of modulation signals has a wide variety of wireless applications. Also shown are modulated radio signals at different SNR levels. In this work, we used data from the DeepSig base of radio modulated signals, created using GNU Radio. Based on this, the classification of modulation using the latest generation convolutional neural networks is considered. The work shows graphs of dependences showing the accuracy of training the network, as well as matrices of inaccuracies with various types of modulated radio signals. It is shown that convolutional neural networks of the latest generation are the most suitable for solving this problem, since they have the ability to quickly learn and accurately determine.

**Keywords:** modulation, convolutional neural networks, SNR, GNU Radio.

**П.В. Панченко\***

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: p\_p\_97@mail.ru

## **ГРАФЕНОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ЛИТИЕМ, ДЛЯ ПЕРЕДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

**Аннотация.** В работе представлены результаты моделирования процесса адсорбции лития на поверхность графенового бездефектного/дефектного листа 4x4. Исследование осуществлялось посредством использования метода компьютерного моделирования в программном обеспечении Materials Studio. Вычисления произведены при разных степенях покрытия адатомами поверхности графена для выяснения влияния данных структурных изменений на энергетические и электрохимические характеристики представленных систем. В работе представлены модели исследуемых объектов, а также таблицы, характеризующие энергию адсорбции и величину переносимого заряда Li-C при наименьшем расстоянии между адсорбатом и атомом углерода. По результатам исследования максимальное значение теоретической удельной емкости составило 332,727 мАч/г.

**Ключевые слова:** Materials Studio, теория функционала плотности, графен, литий, энергия адсорбции, переносимый заряд.

**Введение.** Перезаряжаемые элементы питания, литий-ионные батареи (LIB), применяют в качестве накопителей энергии во всевозможных отраслях деятельности человека, таких как портативная электроника, гибридные и электрические транспортные средства [1-4]. Характеристики литий-ионных батарей обусловлены структурой и составом анодного и катодного электродов [5]. Графит применяется в качестве материала, используемого для изготовления электрода (анода) литий-ионных батарей [6], при этом теоретический предел емкости графита установлен на уровне 372 мАч/г (интеркаляционные соединения конфигурации LiC<sub>6</sub>) [7]. Текущие, а также будущие потребности человечества в энергоресурсах, диктуют потребность в поиске материалов для литий-ионных батарей со значительно большей емкостью, чем у графита. В случае, когда применяются другие углеродные материалы, к примеру, графен [8,9], C<sub>60</sub>, а также углеродные нанотрубки, происходит повышение емкостей LIB до 540 мАч/г, 730 мАч/г и 784 мАч/г соответственно [10].

Повышенная емкость LIB на основе графена по сравнению с литий-ионными батареями на основе графита, предположительно, указывало на то, что на графене адсорбируется повышенное количество атомов лития по сравнению с графитом. Однако, обратное было обнаружено с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света *in situ* [11]. Адсорбция лития на дефектном графене описана с помощью расчетов на основе компьютерного моделирования [12]. Наличие двойных углеродных вакансий на подложке из графена, легированного азотом, также может улучшить характеристики литий-ионных батарей [13].

Основным недостатком LIB является стоимость лития, которая в последние годы неуклонно растет [14]. Литий – очень редкий элемент и поэтому есть опасения, что лития может быть недостаточно для удовлетворения будущих потребностей в энергии. LIB, так же как и ионно-натриевые батареи [14], испытывают явление кластеризации, что снижает их производительность [1,15]. Li образует кластеры из-за малого диффузионного барьера лития на графеновой подложке [19]. Формирование кластеров Li на бездефектном и дефектном графене было исследовано с помощью теории функционала плотности (DFT) [16].

**Методы исследования.** В данной работе расчеты выполнялись в программном обеспечении Materials Studio в рамках DFT метода в приближении обобщенного градиента GGA с

использованием функционала PBE, включая учет спиновой поляризации, геометрическую оптимизацию и применяя поправку DFT – D3. Базис плоских волн с максимальной энергией плоских волн 500 эВ использовался для волновых функций валентных электронов. Все параметры в расчете были выбраны так, чтобы полная энергия сводилась к 0,01 эВ

Графен моделировался листом размером 9.844x9.844 Å (направления  $x$  и  $y$  соответственно), содержащим 32 атома углерода, с периодическими граничными условиями. При этом предполагалось, что направление оси  $Oz$  перпендикулярно плоскости графена и составляет 15 Å. Ближайшее расстояние между атомами углерода задано величиной 1,42028 Å.

Осуществлено моделирование процесса адсорбции одного атома лития на поверхность графенового дефектного, а также бездефектного листа для трех положений: Т-, В- и Н-центров, а также рассмотрено адсорбирование 3 и 5 атомов лития на поверхность бездефектного и дефектного однослойного графена. Вычислены полные энергии данных структур, энергии адсорбции и оптимальные расстояния от атома лития до плоскости графена, а также рассчитан перенос заряда по анализу Mulliken.

Для анализа адсорбции  $n$ -атомов лития на поверхность графенового листа использовались следующие формулы для энергий  $E_{ads}$  и  $E_c$ :

$$\begin{aligned} E_{ads} &= (E_{Li-graphene} - nE_{Li} - E_{graphene}) / n, \\ E_c &= (E_{Li-graphene} - E_{n-Li} - E_{graphene}) / n. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $n$  – общее количество адсорбированных атомов лития на поверхность графенового листа,  $E_{Li-graphene}$  – полная энергия системы «бездефектный/дефектный графен +  $n$  адсорбированных атомов лития»,  $E_{graphene}$  – полная энергия дефектного/бездефектного графена,  $E_{Li}$  – энергия одного атома лития,  $E_{n-Li}$  – энергия кластера, образованного  $n$  атомами лития. Энергии  $E_{Li-graphene}$  и  $E_{graphene}$  используются из системы с оптимизированной структурой DFT – методом.

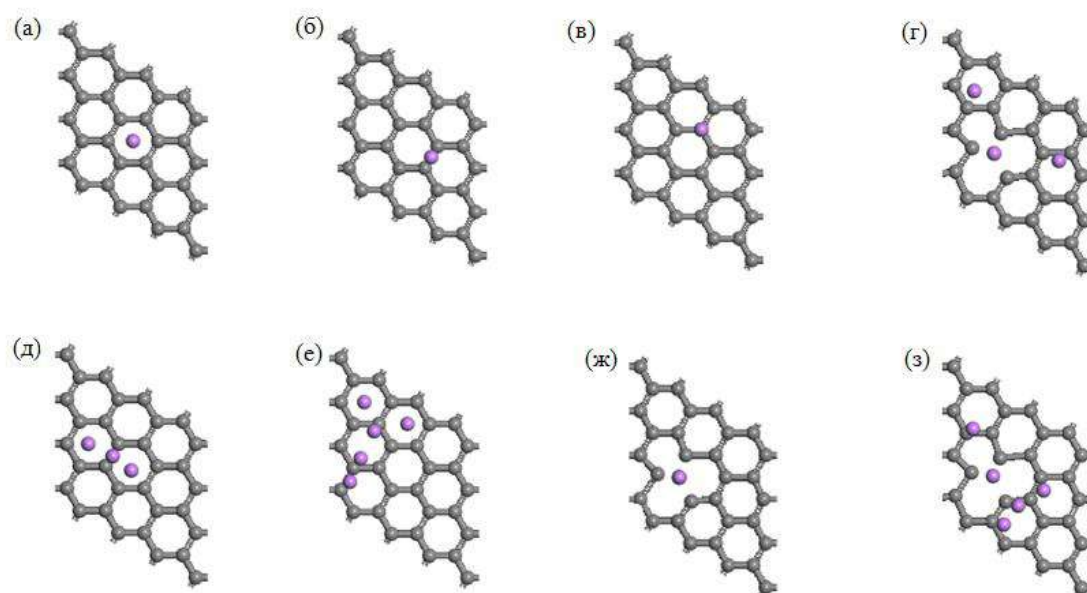
Для расчета накопительной способности легированного литием графена использовалось следующее выражение:

$$C = \frac{nF}{M} \times \frac{1000}{3600} \quad (2)$$

где  $n$  показывает количество адсорбированных зарядов (ионов лития),  $F$  – постоянная Фарадея,  $M$  – молярная масса графена с примесью / примесями (графен, легированный литием), а отношение 1000/3600 используется для преобразования Кл в мАч.

Осуществляя данное исследование по изучению процесса адсорбции атомов лития на поверхность графенового листа 4x4, ставилась цель выяснить, как повлияет степень покрытия атомами и наличие дефектов на энергетические и электрохимические характеристики исследуемых объектов. Расчеты проводились с учетом поправки DFT-D (DFT-D3) для эффективного учета слабых дисперсионных взаимодействий. Этот метод является вполне надежным, в силу того, что был проверен и удачно применен на данный момент. Усовершенствование метода DFT-D3 относительно DFT-D2 состоит том, что употребляются значения, обусловленные величиной координационных чисел, и характеризуются не только сортом имеющихся атомов. Таким образом, этот метод принимает во внимание химическое окружение выбранного атома.

**Результаты.** На рис. 1 изображены модели исследуемых структур, полученные с помощью программного обеспечения Materials Studio с учетом геометрической оптимизации структур.



**Рисунок 1.** Структуры с адсорбированными атомами лития на поверхность бездефектного/дефектного графена. (а)  $\text{LiC}_{32}$  Н-центр, (б)  $\text{LiC}_{32}$  В-центр, (в)  $\text{LiC}_{32}$  Т-центр, (г) 3 адатома лития на графене 4x4 с одной вакансией, (д)  $\text{Li}_3\text{C}_{32}$ , (е)  $\text{Li}_5\text{C}_{32}$ , (ж) 1 адатом лития на графене 4x4 с одной вакансией, (з) 5 адатомов лития на графене 4x4 с одной вакансией. Серые сферы – атомы углерода, фиолетовые – атомы лития.

Известно, что в случае, когда энергия адсорбции отрицательна, исследуемая система характеризуется стабильностью. Таким образом, в связи с этим утверждением, следует, что все рассмотренные конфигурации адсорбции адатомов лития на поверхность графенового бездефектного и дефектного листа являются устойчивыми при любой степени покрытия. Согласно расчетам следует, при повышении плотности накопления адсорбата, эти адсорбированные атомы, в данном случае лития, расположены, если смотреть относительно друг друга, на более меньшем расстоянии. В этом случае можно заключить, что при наступлении некоторого момента, когда степень покрытия достигает примерно 15% (в данных расчетах) начинает играть большую роль взаимотталкивание адатомов лития, что приводит к повышению энергии системы графен-адсорбат.

Вероятно, энергия адсорбции на поверхности графенового листа включает в себя следующие составляющие: изменение энергии, возникающее в силу происходящего перехода от  $sp^2$ -гибридизации электронных оболочек, присущих адсорбенту, к  $sp^3$ -гибридизации, возникающих отталкивающих взаимодействий атомов адсорбата между собой, а также за счет возникновения деформационных явлений в углеродном каркасе графена. Предположительно, повышение литиевого покрытия приводит к следующему. Опираясь на данные расчеты видно, что не происходит роста количества  $sp^3$ -гибридизированных орбиталей, уменьшающего энергию адсорбции. Не рассматривая полного покрытия, видно, что увеличение количества адсорбированных атомов ведет к деформациям графенового листа, что ведет к повышению энергии адсорбции. Во – вторых, расстояния между адатомами лития становятся меньше, а их отталкивание друг от друга сильнее, что также, вероятно, ведет к увеличению энергии адсорбции. Таким образом, при увеличении количества адсорбированных атомов лития главными факторами, влияющими на величину энергии адсорбции, становятся отталкивания между атомами лития и деформация

графена, в результате чего энергия адсорбции увеличивается с -0,673 до -0,26 эВ. Вероятно существуют покрытия, при которых будет происходить увеличение количества  $sp^3$ -гибридизаций орбиталей адсорбента, приводящих к уменьшению энергии гибридизации.

Сравнив энергии адсорбции из таблицы 1 для покрытия в один адатом для бездефектного и в случае присоединения одного атома лития в районе дефекта – вакансии на плоском листе графена можно заметить, что наблюдается существенное различие в энергиях адсорбции: -1,3948 эВ и -3,28 эВ соответственно, из этого можно сделать следующее заключение, что дефектная структура более стабильна, чем бездефектная. Таким образом, наличие дефекта (одна вакансия) значительно повышает адсорбцию лития по сравнению с адсорбцией данных адатомов на бездефектном графене.

Таблица 1. Энергетические и структурные свойства систем «графен – *n* адатомов лития». Значения энергии указаны с учетом поправки DFT – D.

Структура	Позиция адатома	$E_{Li-graphene}$ , (эВ)	$E_c$ , (эВ)	$h$ , Å	$d_{Li-C}$ , Å	$d_{Li-Li}$ , Å
Li – бездефектный графен	H	-5452,6939	-1,3948	1,67	2,19228	-
	B	-5452,1442	-0,8450	1,88	2,00965	-
	T	-5452,0597	-0,7606	1,89	1,89000	-
3Li – бездефектный графен	-	-5858,9813	-0,6737	1,83	-	2,9409
3Li – дефектный графен	-	-5691,1298	-1,6734	1,62	-	3,5675
5Li – бездефектный графен	-	-6264,6509	-0,2606	1,93	-	2,7081
5Li – дефектный графен	-	-6095,9178	-1,2361	1,68	-	2,8541
Li – дефектный графен	-	-5285,3882	-3,2884	1,67	-	-

В таблице 2 показаны расчеты, полученные методом анализа Mulliken, для определения величины перенесенного заряда и характера переноса, то есть определялось происходит ли перенос заряда от адсорбируемых атомов к графену или же наоборот.

Таблица 2. Электронные заряды для лития, полученные с помощью анализа по Малликену (средние значения на металл), и для металла-С для минимального расстояния между металлом и атомом углерода в случае лития, поглощенного графеном. Значения включают поправку DFT-D3.

<i>n</i> Li - графен	Вакансии	Заряд металла, ( $\bar{e}$ )	Металл-С, ( $\bar{e}$ )
n=1 (H-site)	0	2,637	0,0390
n=1	1	2,731	0,0451
n=3	0	2,982	0,0236
n=3	1	2,827	0,0248
n=5	0	3,020	0,0218
n=5	1	2,906	0,0224

Вычисления по определению значения переноса металл-С для минимального расстояния между металлом, в данном случае литий, и атомом углерода, в случае поглощения адатома поверхностью графенового листа проводились с учетом дисперсионной поправки DFT-D3. В работе [17] показали, что использование поправки DFT-D2 дает следующие значения для величины переноса металл-С при минимальном расстоянии между литием и атомом углерода, при поглощении адатомов графеном:  $0,040 \bar{e}$ ,  $0,024 \bar{e}$  и  $0,022 \bar{e}$  для  $LiC_{32}$ ,  $Li_3C_{32}$  и  $Li_5C_{32}$  соответственно. В указанной работе рассчитана данная величина с учетом поправки DFT-D2 для дефектной структуры графена 4x4 при наличии одной вакансии, которая составляет 0,138, однако количество значений металл-С, включенных в расчет, равно трем.

Согласно исследованиям, проведенным по сравнению электронных свойств бездефектного графена и графена, содержащего одну вакансию, известно, что при наличии вакансии появляются локальные электронные состояния близ уровня Ферми, что приводит к возникновению неадиабатического гетерогенного переноса электронов. Принимая это во внимание, а также учитывая результаты, заключенные в таблицу 2, полученные в результате адсорбции одного адатома на бездефектный/дефектный графен, видно, что значение величины переноса металл-С при минимальном расстоянии между данными атомами больше в случае наличия одной вакансии. Также можно заметить, что данный перенос заряда уменьшается вместе с увеличением степени покрытия адатомами, что согласуется с уменьшением  $|E_c|$  и, таким образом, происходит ослабление взаимодействия Li-графен. Полученные результаты показывают, что во всех рассмотренных случаях заряд переносится от адатома лития, поглощенного графеновым листом, к атому углерода, так как данные величины положительны. Известно, что, если данная величина принимает положительное значение, то перенос заряда происходит от адатома к графену, если отрицательное, то перенос осуществляется в обратном направлении. Используя выражение (2), возможно оценить теоретические удельные емкости систем, так для  $LiC_{32}$  (бездефектная структура и система с одной вакансией) составляет 69,428 мАч/г и 71,978 мАч/г, для  $Li_3C_{32}$  (бездефектная структура и система с одной вакансией) составляет 208,574 мАч/г и 218,173 мАч/г, а для  $Li_5C_{32}$  (бездефектная структура и система с одной вакансией) принимает значение 325,293 мАч/г и 332,727 мАч/г, что значительно больше, чем недавно сообщенное значение (212,6 мАч /г), оцененное для  $Li_{6.84}V_2C_{70}$ . В то время, как у графита (~ 372 мАч/г для  $LiC_6$ ) и у графена (~ 93 мАч/г для  $LiC_{24}$ ).

**Заключение.** Потребность в создании наиболее эффективных элементов питания приводит к увеличению количества проводимых исследований в области процесса адсорбции атомов химических элементов на поверхность графенового листа.

Компьютерное моделирование приведенных структур в программном обеспечении Materials Studio в рамках DFT метода в приближении обобщенного градиента GGA с использованием функционала PBE, включая учет спиновой поляризации, геометрическую оптимизацию и применяя поправку DFT – D3 привело к следующим результатам:

1) Присоединение адсорбированных атомов лития на поверхность графенового листа 4x4 в районе одной вакансии по результатам исследования наиболее энергетически выгодно в силу присутствия оборванных углеродных связей близ дефекта.

2) Максимальное значение теоретической удельной емкости, полученное в рамках данной работы, составляет 332,727 мАч/г.

## REFERENCES

- [1] Taracson J.M., Armand M. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries // Nature,– 2001. – p. 359-367
- [2] Goodenough J.B., Park K.S. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective // J. Am. Chem. Soc.,– 2013. – p.1167-1176

- [3] Bruce P.G., Scrosati B., Taracson J.M. Nanomaterials for Rechargeable Lithium Batteries // *Angew. Chem. Int. Ed.*,– 2008. – p.2930-2946
- [4] Dahn J.R., Zheng T., Liu Y.H., Xue J.S. Mechanisms for Lithium Insertion in Carbonaceous Materials // *Science*,– 1995. – p. 590-593
- [5] Kheiradabi N., Shafiekhani A. Graphene/Li-ion battery // *J. Appl. Phys.*,– 2012. – p.124323-124325
- [6] Yang S., Li S., Tang S., Dong W., Sun W., Shen D., Wang M. Sodium adsorption and intercalation in bilayer graphene from density functional theory calculations // *Theor. Chem. Acc.*,– 2016. – p. 164
- [7] Winter M., Besenhard J.O., Spahr M.E., Novak P. Insertion Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries // *Adv. Matter*,–1998. – p.725-763
- [8] Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene // *Nat. Mater*,– 2007. – p. 183-191
- [9] Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Katsnelson M.I., Grigorieva I.V., Firsov A.A. Electric field effect in anatomically thin carbon films // *Science*,– 2004. – p. 666-669
- [10] Wu M., Cao C., Jiang J.Z. Light non-metallic atom (B, N, O and F)-doped graphene: A first-principles study // *Nanotechnology*,– 2010. – p. 505202-505206
- [11] Pollak E., Geng B., Jeon K., Lucas I.T., Richardson T.J., Wang F., Kosteckii R. The Interaction of Li<sup>+</sup> with Single-Layer and Few-Layer Graphene // *Nano Lett.*,– 2010. – №10 – p. 3386-3388
- [12] Okamoto Y. Density Functional Theory Calculations of Lithium Adsorption and Insertion to Defect-Free and Defective Graphene // *J. Phys. Chem.*,– 2016. – №120. – p. 14009-14014
- [13] Yu Y. Can all nitrogen-doped defects improve the performance of graphene anode materials for lithium-ion batteries? // *Phys. Chem.*,– 2013. – №15. – p. 16819-16827
- [14] Slater M.D., Kim D., Lee E., Johnson C.S. Sodium-ion batteries // *Adv. Funct. Mater.*,– 2013. – №23. – p. 947-958
- [15] Harris S.J., Timmons A., Baker D.R., Monroe C. Direct in situ Measurements of Li Transport in Li-Ion Battery Negative Electrodes // *Chem. Phys. Lett.*,– 2010. – p.265-274
- [16] Zhou J., Sun Q., Wang Q., Jena P. Tailoring Li adsorption on graphene // *Phys. Rev.*,– 2014. – p.205
- [17] Dimakis N., Salas i., Gonzalez L., Vadodaria O., Ruiz K., Bhatti M. Li and Na Adsorption on Graphene and Graphene Oxide Examined by Density functional Theory, Quantum Theory of Atoms in Molecules, and electron localization Function // *Molecules*,– 2019.

**П.В. Панченко\***

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: p\_p\_97@mail.ru

### ЭНЕРГЕТИКАДА ҚОЛДАНЫЛУҒА АРНАЛҒАН LI ЛЕГИРЛЕНГЕН ГРАФЕН НЕГІЗІНДЕГІ НАНОҚҰРЫЛЫМДАР

**Андатпа.** Мақалада литий адсорбциясы процесін графеннің ақаусыз / ақаулы 4x4 парағының бетінде модельдеу нәтижелері келтірілген. Зерттеулер Materials Studio бағдарламалық жасақтамасында компьютерлік модельдеу әдісін қолдану арқылы жүргізілді. Осы құрылымдық өзгерістердің ұсынылған жүйелердің энергетикалық және электрохимиялық сипаттамаларына әсерін анықтау үшін графеннің беткі қабатын әр түрлі дәрежеде атоммен жабу кезінде есептеулер жүргізілді. Жұмыста зерттелген объектілердің модельдері, сонымен қатар адсорбция энергиясы мен адсорбат пен көміртек атомы арасындағы ең аз арақашықтықтағы Li-C зарядының мәнін сипаттайтын кестелер келтірілген. Зерттеу нәтижелері бойынша теориялық меншікті қуаттың максималды мәні 332,727 мАч / г құрады.

**Негізгі сөздер:** Materials Studio, тығыздықтың функционалдық теориясы, графен, литий, адсорбция энергиясы, зарядтың берілуі.



**P. Panchenko\***

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: p\_p\_97@mail.ru

### **LITHIUM DOPED GRAPHENE NANOSTRUCTURES FOR ADVANCED ENERGETIC APPLICATIONS**

**Abstract.** This work presents the results of modeling the process of lithium adsorption on the surface of a pristine/defective grapheme sheet 4x4. The study was carried out using the method of computer simulation in the Materials Studio software. The calculations were performed at different degrees of adatom coverage of the graphene surface to determine the effect of these structural changes on the energy and electrochemical characteristics of the presented systems. The work presents models of the studied objects, as well as tables characterizing the energy of adsorption and the magnitude of the transferred charge of Li-C at the smallest distance between the adsorbate and the carbon atom. According to the results of the study, the maximum value of the theoretical specific capacity was 332,727 mAh/g.

**Keywords:** Materials Studio, density functional theory, graphene, lithium, energy of adsorption, transferred charge.

Е.М. Хайруллин\*, Г.А. Тулешева, А.Т. Шакуликова

Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*e-mail: khairullin\_42\_42@mail.ru

## ОБ ОДНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА С НОРМАЛЬНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА В ГРАНИЧНОМ УСЛОВИИ

**Аннотация.** Рассматривается краевая задача для уравнений тепло- и массообмена, когда одно из граничных условий содержит нормальные производные третьего порядка, к которой сводится некоторая граничная задача тепло- и массообмена в процессах сушки. Решение краевой задачи ищется в виде теплового потенциала двойного слоя. Приведена лемма о нахождении пределов нормальной производной третьего порядка. Используя граничные условия, получена система интегро-дифференциальных уравнений (СИДУ) с различными операторами теплопроводности. Характеристическая часть СИДУ решена методом интегральных преобразований Фурье-Лапласа при выполнении условия разрешимости. Методом регуляризации СИДУ сведена к системе интегральных уравнений Вольтерра-Фредгольма. Приведена теорема о разрешимости краевой задачи при выполнении условия разрешимости уравнений тепло- и массообмена с нормальными производными в граничных условиях.

**Ключевые слова:** тепло- и массообмен, краевая задача, нормальные производные третьего порядка, условия разрешимости, регуляризация.

1. Постановка задачи. Найти регулярное решение системы

$$\frac{\partial U_k(x,t)}{\partial t} = \lambda_k \Delta U_k(x,t), \quad k = \overline{1,3} \quad (1)$$

в области  $Q_T \equiv \{(x', x_n, t): x' \in R^{n-1}, x_n \in R_+, t \in ]0, T[ \}$ , удовлетворяющее начальным условиям

$$U_k(x, 0) = 0 \quad (2)$$

и граничным условиям

$$(U_1(x,t) + a_1 U_3(x,t))|_{x_n=0} = \varphi_1(x', t), \quad (x', t) \in Q_T^{(1)} \equiv Q_T \setminus x_n, \quad (3)$$

$$(U_2(x,t) + a_2 U_3(x,t))|_{x_n=0} = \varphi_2(x', t), \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{k_n=0}^3 a_{k_n}^{(k)} \frac{\partial^{k_n} U_k(x,t)}{\partial x_n^{k_n}} \Big|_{x_n=0} = \varphi_3(x', t), \quad (5)$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа по переменной  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;

$\lambda_k$  ( $k = \overline{1,3}$ ) – заданные постоянные, причем  $0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ ;  $a_1, a_2, a_{k_n}^{(k)}$  – заданные постоянные, причем  $a_3^{(k)} \neq 0$ ;  $\varphi_k(x', t) \in C_{x', t}^{4,2}(Q_T^{(1)})$ .

2. Интегральное представление решения краевой задачи (1) – (5).

Решение краевой задачи (1) – (5) будем искать в следующем виде:

$$U_k(x,t) = -\psi_k * G_{x_n}^{(k)}[x,t], \quad k = \overline{1,3}, \quad (6)$$

где  $G^{(k)}(x,t) = \frac{2\lambda_k \exp\left[-\frac{|x|^2}{4\lambda_k t}\right]}{[2\sqrt{\pi\lambda_k t}]^n}$ ,  $G_{x_n}^{(k)}(x,t) = \frac{\partial}{\partial x_n} G^{(k)}(x,t)$ ,

$$\psi_k * G_{x_n}^{(k)}[x,t] = \int_0^t d\tau \int_{R^{n-1}} \psi_k(\xi', \tau) G_{x_n}^{(k)}(x' - \xi', x_n, t - \tau) d\xi',$$

$R^{n-1} - (n-1)$  - мерное евклидовое пространство точек  $x' = (x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$  с нормой  $|x'| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n-1}^2}$ ,

$\psi_k(x', t)$  - неизвестные ограниченные непрерывные функции с частными производными достаточно высокого порядка по переменным  $x'$  и  $t$ .

3. Сведение задачи (1) – (5) к СИДУ.

Функция  $U_k(x, t)$ , определенная равенством (6), удовлетворяет системе (1) и начальным условиям (2). Неизвестные функции  $\psi_k(x', t)$  нужно определить так, чтобы функции  $U_k(x, t)$ , определяемые формулами (6), удовлетворяли граничным условиям (3)-(5). Для этого приведем следующую лемму.

**Лемма.** Если  $\omega(x', t) \in C_{x', t}^{4,2}(Q_T^{(1)})$ ,

$$\text{то } \lim_{x_n \rightarrow 0} \frac{\partial U_k(x, t)}{\partial x_n} = -\frac{1}{\lambda_k} F_k[\omega] * G^{(k)}[x', 0, t], \quad \lim_{x_n \rightarrow 0} \frac{\partial^2 U_k(x, t)}{\partial x_n^2} = \frac{1}{\lambda_k} F_k[\omega],$$

$$\lim_{x_n \rightarrow 0} \frac{\partial^3 U_k(x, t)}{\partial x_n^3} = -\frac{1}{\lambda_k^2} F_k^2[\omega] * G^{(k)}[x', 0, t],$$

где  $F_k \equiv \frac{\partial}{\partial t} - \lambda_k \Delta_{x'}$ ,  $\Delta_{x'}$  – оператор Лапласа по переменной  $x'$ .

Лемма доказывается интегрированием по частям после замены  $G_{x_n x_n}^{(k)}$  через  $\frac{1}{\lambda_k} \left( \frac{\partial}{\partial t} - \lambda_k \Delta_{x'} \right) G^{(k)}$  и используя свойства тепловых потенциалов простого и двойного слоя.

Для определения функции  $\psi_k(x', t)$ , подставим (6) в граничные условия (3) - (5). При этом, используя лемму, получим СИДУ

$$\psi_1(x', t) + a_1 \psi_3(x', t) = \varphi_1(x', t), \quad (7)$$

$$\psi_2(x', t) + a_2 \psi_3(x', t) = \varphi_2(x', t), \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^3 \left[ a_0^{(k)} \psi_k(x', t) + a_1^{(k)} \left( \left( -\frac{1}{\lambda_k} \right) F_k[\psi_k] * G^{(k)}[x', 0, t] \right) + a_2^{(k)} \left( \frac{1}{\lambda_k} F_k[\psi_k] \right) + a_3^{(k)} \left( -\frac{1}{\lambda_k^2} F_k^2[\psi_k] * G^{(k)}[x', 0, t] \right) \right] = \varphi_3(x', t). \quad (9)$$

Исключая функции  $\psi_2(x', t)$  и  $\psi_3(x', t)$  из системы (7) - (9), получим

$$\sum_{k=1}^2 \left[ a_0^{(k)} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{k-1} \psi_1 + \frac{a_1^{(k)}}{(-\lambda_k)} F_k[\psi_1] * G^{(k)}[x', 0, t] + \frac{a_2^{(k)}}{\lambda_k} F_k \left[ \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{k-1} \psi_1 \right] - \frac{a_3^{(k)}}{\lambda_k^2} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{k-1} F_k^2[\psi_1] * G^{(k)}[x', 0, t] \right] +$$

$$+ \left( -\frac{1}{a_1} \right) \left[ a_0^{(3)} \psi_1(x', t) - \frac{a_1^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\psi_1] * G^{(3)}[x', 0, t] + \frac{a_2^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\psi_1] - \frac{a_3^{(3)}}{\lambda_3^2} F_3^2[\psi_1] * G^{(3)}[x', 0, t] \right] = \Phi_1(x', t), \quad (10)$$

где

$$\Phi_1(x', t) = \varphi_3(x', t) - \left\{ a_0^{(2)} \Phi(x', t) + \frac{a_1^{(2)}}{-\lambda_2} F_2[\Phi(x', t)] * G^{(2)}[x', 0, t] + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{a_2^{(2)}}{\lambda_2} F_2[\Phi] - \frac{a_3^{(2)}}{\lambda_2^2} F_2^2[\Phi] * G^{(2)}[x', 0, t] \Big\} + a_0^{(3)} \Phi(x', t) - \frac{a_1^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\Phi(x', t)] * \\
 & G^{(3)}[x', 0, t] + \frac{a_2^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\Phi] - \frac{a_3^{(3)}}{\lambda_3^2} F_3^2[\Phi] * G^{(3)}[x', 0, t],
 \end{aligned} \tag{11}$$

причем  $\Phi(x', t) = \varphi_2(x', t) - \frac{a_2}{a_1} \varphi_1(x', t)$ .

4. Решение характеристической части системы (7) - (9).

Выделяя главную часть ИДУ (10), рассмотрим его характеристическую часть:

$$\sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k^2} F_k^2[\psi_1] * G^{(k)}[x', 0, t] = \Phi_2(x', t), \tag{12}$$

где

$$\begin{aligned}
 \Phi_2(x', t) = & \Phi_1(x', t) - \sum_{k=1}^2 \left[ a_0^{(k)} \left( \frac{a_2}{a_1} \right) \psi_1 - \frac{a_1^{(k)}}{\lambda_k} F_k[\psi_1] * G^{(k)}[x', 0, t] + \right. \\
 & \left. + \frac{a_2^{(k)}}{\lambda_k} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{k-1} F_k[\psi_1] \right] + \frac{1}{a_1} \left[ a_0^{(3)} \psi_1(x', t) - \frac{a_1^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\psi_1] * G^{(3)}[x', 0, t] + \right. \\
 & \left. + \frac{a_2^{(3)}}{\lambda_3} F_3[\psi_1] \right],
 \end{aligned} \tag{13}$$

где  $\Phi_1(x', t)$  определяется равенством (11);  $A_k$  - заданные постоянные, зависящие от  $a_1, a_2, a_3^{(k)}, \lambda_k$  ( $k = \overline{1,3}$ ).

Временно считая правую часть уравнения (12) известной функцией и предполагая, что функции  $\psi_1(x', t)$ ,  $\Phi_2(x', t) \in C_{x',t}^{4,2}(Q_T^{(1)})$ , применим интегральные преобразования Фурье по переменной  $x'$  к обеим частям уравнения (12). Тогда

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k^2} \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{n-1}} \int_{R^{n-1}} \left[ \int_0^t d\tau \int_{R^{n-1}} F_k^2[\psi_1] G^{(k)}(x' - \xi', t - \tau) \times \right. \\
 & \left. \times \exp[i(x', s')] dx' \right] d\xi' = \widetilde{\Phi}_2(s', t),
 \end{aligned}$$

где 
$$\widetilde{\Phi}_2(s', t) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{n-1}} \int_{R^{n-1}} \Phi_2(x', t) \exp[i(x', s')] dx'.$$

Производя замену  $x' - \xi' = y'$ , будем иметь

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k^2} \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{n-1}} \int_0^t d\tau \left( \int_{R^{n-1}} F_k^2[\psi_1] \exp[i(\xi', s')] d\xi' \right) \times \\
 & \times \int_{R^{n-1}} G^{(k)}(y', t - \tau) \exp[i(y', s')] dy' = \widetilde{\Phi}_2(s', t).
 \end{aligned}$$

Используя значение интеграла

$$\int_{R^{n-1}} G^{(k)}(y', t - \tau) \exp[i(y', s')] dy' = \frac{\sqrt{\lambda_k}}{\sqrt{\pi(t-\tau)}} \exp[-\lambda_k |s'|^2 (t - \tau)],$$

перепишем последнее равенство

$$\sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k \sqrt{\lambda_k}} \int_0^t \widetilde{F}_k^2[\tilde{\psi}_1] \frac{\exp[-\lambda_k |s'|^2 (t-\tau)]}{\sqrt{\pi(t-\tau)}} d\tau = \widetilde{\Phi}_2(s', t).$$

Применяя к этому уравнению преобразование Лапласа по переменной  $t$ , получим

$$\sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k \sqrt{\lambda_k}} \int_0^\infty \left( \int_0^t \widetilde{F}_k^2[\tilde{\psi}_1] \frac{\exp[-\lambda_k |s'|^2 (t-\tau)]}{\sqrt{\pi(t-\tau)}} d\tau \right) \exp[-pt] dt = \widetilde{\Phi}_2(s', p),$$

где  $\overline{\Phi}_2(s', p) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{n-1}} \int_0^\infty \exp[-pt] \left( \int_{R^{n-1}} \tilde{\Phi}(s', t) \exp[i(x', s')] dx' \right) dt.$

Переставляя интегралы по формуле Дирихле, имеем

$$\sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k \sqrt{\lambda_k}} \int_0^\infty \left( \int_\tau^\infty \tilde{F}_k^2[\tilde{\psi}_1(s', \tau)] \frac{\exp[-(pt + \lambda_k |s'|^2)(t-\tau)]}{\sqrt{\pi(t-\tau)}} d\tau \right) dt = \overline{\Phi}_2(s', p).$$

Производя замену интегрирования  $t - \tau = t_1$ , будем иметь

$$\sum_{k=1}^3 \frac{A_k}{\lambda_k \sqrt{\lambda_k}} \int_0^\infty \frac{\exp[-(p + \lambda_k |s'|^2)t_1]}{\sqrt{\pi t_1}} dt_1 \tilde{F}_k^2[\tilde{\psi}_1(s', p)] = \overline{\Phi}_2(s', p).$$

В силу равенства

$$\int_0^\infty \frac{\exp[-(p + \lambda_k |s'|^2)t_1]}{\sqrt{\pi t_1}} dt_1 = \frac{1}{\sqrt{p + \lambda_k |s'|^2}}$$

получим

$$\tilde{\psi}_1(s', p) = (p + \lambda_1 |s'|^2) \tilde{L}(s', p) \overline{\Phi}_2(s', p), \quad (14)$$

где 
$$\tilde{L}(s', p) = \frac{\overline{L}_0(s', p)}{\sqrt{p + \lambda_1 |s'|^2}}, \quad (15)$$

причем 
$$\overline{L}_0(s', p) = \frac{1}{\sqrt{p + \lambda_1 |s'|^2} \tilde{\Delta}(s', p)}, \quad (16)$$

в свою очередь 
$$\tilde{\Delta}(s', p) = \sum_{k=1}^3 A_k \sqrt{\frac{p}{\lambda_k} + |s'|^2}. \quad (17)$$

Если  $\tilde{\Delta}(s', p) \neq 0$ , то задача корректно поставлена и с помощью композиции операторов

$$U_k(x, t) = \Phi_{2, \lambda_k} \left[ F_{\lambda_k}^{-1} [\varphi_k(x', t); x_n] \right]$$

задача сводится к системе интегральных уравнений типа Вольтерра-Фредгольма второго рода относительно неизвестных плотностей с интегрируемой особенностью.

Если  $\tilde{\Delta}(s', p) = 0$ , то известное условие Лопатинского не выполнено, т.е. надо исследовать корни иррационального уравнения  $\tilde{\Delta}(s', p) = 0$ .

Вводя обозначение  $\sqrt{\frac{p}{\lambda_k} + |s'|^2} = z_k$  и учитывая (17), перепишем так:

$$\tilde{\Delta}(s', p) = \sum_{k=1}^3 B_k(z_k) z_k = 0, \quad (18)$$

где  $B_k(z_k) = A_k z_k^2$ .

Займемся рационализацией иррационального уравнения (18), умножая обе части на выражение  $B_1 z_1 + B_2 z_2 - B_3 z_3$ , получим уравнение

$$(B_1 z_1 + B_2 z_2)^2 - B_3^2 z_3^2 = 0 \text{ или } (B_1^2 z_1^2 + B_2^2 z_2^2 - B_3^2 z_3^2) + 2B_1 B_2 z_1 z_2 = 0.$$

Далее умножая последнее уравнение на  $(B_1^2 z_1^2 + B_2^2 z_2^2 - B_3^2 z_3^2) - 2B_1 B_2 z_1 z_2$  и учитывая введенное ранее обозначение, найдем уравнение шестой степени

$$P_6(p) = B_0 p^6 + B_1 p^5 |s'|^2 + B_2 p^4 |s'|^4 + B_3 p^3 |s'|^6 + B_4 p^2 |s'|^8 + B_5 p |s'|^{10} + B_6 |s'|^{12} = 0,$$

где  $B_i$  ( $i = \overline{0,6}$ ) выражается через заданные постоянные  $a_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ),

$A_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ) и  $\lambda_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ). Выделим среди всех корней многочлена  $P_6(p)$  только те,

которые удовлетворяют уравнению (18) и обозначим их через  $q_k$  и их кратность через  $\mu_k$ ,

$k = \overline{1,6}$ , причем  $\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_6 = 6$ ,  $Re q_k > 0$ . Тогда равенство (16) можно переписать так:

$$\overline{L}_0(s', p) = \frac{1}{\sqrt{p + \lambda_1 |s'|^2}} \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^{\mu_k} \frac{A_{ik}}{(p + q_k |s'|^2)}. \quad (19)$$

Отсюда используя известные соотношения

$$\frac{1}{\sqrt{p + \lambda_1 |s'|^2}} \div \rightarrow \frac{\exp[-\lambda_1 |s'|^2 t]}{\sqrt{\pi t}},$$

$$\frac{1}{(p + q_k |s'|^2)^i} \div \rightarrow \frac{t^{i-1}}{\Gamma(i)} \exp[-q_k |s'|^2 t]$$

и применяя формулу свертки двух изображений к равенству (19), найдем

$$\widetilde{L}_0(s', t) = \int_0^t \frac{\exp[-\lambda_1 |s'|^2 \tau]}{\sqrt{\pi \tau}} \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^{\mu_k} \frac{A_{ik} (t-\tau)^{i-1}}{\Gamma(i)} \exp[-q_k |s'|^2 (t-\tau)] d\tau.$$

Отсюда применяя замену  $\tau = tz$ , имеем

$$\widetilde{L}_0(s', t) = \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^{\mu_k} \frac{A_{ik} t^{i-1} (1-z)^{i-1}}{\Gamma(i) \sqrt{z}} \exp[-a(q_k, z) |s'|^2 t] dz, \quad (20)$$

где  $a(q_k, z) = \lambda_1 z + q_k (1-z)$ .

Используя (20) и применяя формулу свертки к выражению (15) и производя замену  $\tau = tz$ , будем иметь

$$\begin{aligned} & \widetilde{L}(s', t) = \\ & = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \left( \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^{\mu_k} \int_0^1 \frac{A_{ik} t^i (1-z)^{i-1} (1-z_1)^{i-1}}{\Gamma(i) \sqrt{zz_1}} \exp[-a(q_k, z, z_1) |s'|^2 t] dz \right) dz_1, \quad (21) \end{aligned}$$

где  $a(q_k, z, z_1) = \lambda_1 z_1 + a(q_k, z)(1-z_1)$ .

Далее учитывая (21) и применяя формулу свертки в правой части формулы (14), найдем функцию  $\widetilde{\psi}_1(s', t)$ :

$$\widetilde{\psi}_1(s', t) = \left( \frac{\partial}{\partial t} + \lambda_1 |s'|^2 \right) \int_0^t \widetilde{\Phi}_k(s', \tau) \widetilde{L}(s', t-\tau) d\tau, \quad (22)$$

где  $\widetilde{L}(s', t)$  определяется выражением (21).

Отсюда применяя обратное преобразование Фурье по переменной  $s'$ , при этом считая, что  $Re q_k > 0$ , имеем

$$\psi_1(x', t) = \int_0^t d\tau \int_{R^{n-1}} \Phi_2(\xi', \tau) H(x' - \xi', t-\tau) d\xi', \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} H(x', t) = & \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^{\mu_k} \frac{A_{ik}}{\Gamma(i)} \int_0^1 \left( \int_0^1 \frac{(t-\tau)^i (1-z_1)^{i-1} (1-z)^{i-1}}{\sqrt{zz_1}} \left( \frac{\partial}{\partial t} - \lambda_1 \Delta_{x'} \right) \times \right. \\ & \left. \times \frac{\exp\left[-\frac{|x'-\xi'|^2}{4a(q_k, z, z_1)(t-\tau)}\right]}{[2\sqrt{\pi a(q_k, z, z_1)t}]^{n-1}} dz \right) dz_1. \quad (24) \end{aligned}$$

Подставляя в (23) вместо функции  $\Phi_2(x', t)$  ее выражение из (13) и при этом учитывая (11), получим относительно неизвестной функции  $\psi_1(x', t)$  интегральное уравнение

$$\psi_1(x', t) = \Phi_3(x', t) - \int_0^t d\tau \int_{R^{n-1}} \psi_1(\xi', \tau) K(x' - \xi', t-\tau) d\xi', \quad (25)$$

где свободный член  $\Phi_3(x', t)$  определяется равенством:

$$\Phi_3(x', t) = \int_0^t d\tau \int_{R^{n-1}} \Phi_1(\xi', \tau) H(x' - \xi', t-\tau) d\xi',$$

ядро  $K(x', t)$  имеет вид

$$K(x', t) = \sum_{k=1}^2 \left[ a_0^{(k)} \left( \frac{a_2}{a_1} \right) H(x', t) - \frac{a_1^{(k)}}{\lambda_k} F_k \times \right]$$

$$\left[ \int_{\tau_1}^t d\tau \int_{R^{n-1}} G^{(k)}(\xi' - \sigma', \tau - \tau_1) H(x' - \xi', t - \tau) d\xi' \right] + \\ + \frac{a_2^{(k)}}{\lambda_k} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{k-1} F_k[H(x', t)] \left[ - \frac{a_0^{(3)}}{a_1} H(x', t) + \frac{a_1^{(3)}}{a_1 \lambda_3} F_3 \times \right. \\ \left. \times \left[ \int_{\tau}^t d\tau \int_{R^{n-1}} G^{(3)}(\xi' - \sigma', \tau - \tau_1) \times H(x' - \xi', t - \tau) d\xi' \right] - \frac{a_2^{(3)}}{a_1 \lambda_3} F_3[H(x', t)] \right],$$

причем  $\Phi_1(x', t)$  и ядро  $H(x', t)$  соответственно определяются из (11) и (23). Теперь для оценки ядра  $K(x', t)$  найдем частные производные  $F_k = \frac{\partial}{\partial t} - \lambda_k \Delta_{x'}$  от функции вида  $t \cdot \exp\left[-\lambda \frac{|x'|^2}{t}\right]$  и используя неравенство  $|x' - \xi'|^r \exp\left[-\varepsilon \delta \frac{|x' - \xi'|^2}{t}\right] \leq M t^{\frac{r}{2}}$ , ( $\varepsilon > 0$ ), где  $M, \delta$  – положительные числа,  $r$  – любое положительное число, для ядра  $K(x', t)$  можно получить оценку

$$|K(x', t)| \leq M_1 \frac{\exp\left[-(1-\varepsilon)\delta \frac{|x'|^2}{t}\right]}{(\sqrt{t})^n}, \quad (0 < \varepsilon < 1) \quad (26)$$

где

$M_1$  – положительное число.

На основании оценки (26), интегральное уравнение (25) можно решить методом последовательных приближений.

Итак, подытоживая полученные результаты, приводим теорему о разрешимости краевой задачи.

**Теорема.** Если  $\varphi_k(x', t) \in C_{x', t}^{4,2}(Q_T^{(1)})$  и  $Re q_k > 0$  ( $q_k$  – корни характеристического уравнения (18)), то существует функция

$U_k(x, t) \in C_{x_n}^3(Q_T)$ , являющаяся решением краевой задачи (1)–(5), выраженная формулой (6), где неизвестная функция  $\psi_1(x', t)$  определяется из интегрального уравнения (25), остальные функции  $\psi_2(x', t)$  и  $\psi_3(x', t)$  из системы (7) и (8).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванова Л.П., Ким Е.И. Двумерная задача тепло- и массообмена в процессах сушки. Известия АН СССР. Энергетика и автоматика, 1959.-N3, с.76-84.
- [2] Ким Е.И., Иванова Л.П. Об условиях разрешимости одной краевой задачи уравнения теплопроводности. Доклады АН СССР, 1961.-N4, с.795-798.
- [3] Лыков А.В. О системах дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых телах. Инж.физ.журнал, 1974.-т.27(№1), с.18-25.
- [4] Гамаюнов Н.И. Решение m-уравнений переноса. –В сб.: Математические и физические вопросы тепло- и массообмена. Минск, 1973, с. 73-86.
- [5] Хайруллин Е.М., Әмір Е.М. Двухмерная особая граничная задача тепло- и массообмена. Труды Сатпаевских чтений «Инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии», Алматы, 2018.-С.1089-1092.
- [6] Хайруллин Е.М., Тулешова Г.А., Шакуликова А.Т. Об одной граничной задаче тепло- и массообмена. Вестник КазННТУ, 2019. - N4, с.510-516.

#### REFERENCES

- [1] Ivanova L.P., Kim E.I. Dvumernaya zadacha teplo- i massoobmena v protsessakh sushki. Izvestiya AN SSSR. Energetika i avtomatika, 1959.-N3, с.76-84.
- [2] Kim E.I., Ivanova L.P. Ob usloviyakh razreshimosti odnoi kraevoi zadachi uravneniya teploprovodnosti. Doklady AN SSSR, 1961.-N4, с.795-798.

[3] Lykov A.V. O sistemakh differentsial'nykh uravnenii teplo- i massoperenosa v kapillyarno-poristykh telakh. Inzh.fiz.zhurnal, 1974.-t.27(№1), s.18-25.

[4] Gamayunov N.I. Reshenie m-uravnenii perenosa. –V sb.: Matematicheskie i fizicheskie voprosy teplo- i massoobmena. Minsk, 1973, s. 73-86.

[5] Khairullin E.M., Әmir E.M. Dvukhmernaya osobaya granichnaya zadacha teplo- i massoobmena. Trudy Satpaevskikh chtenii «Innovatsionnye resheniya traditsionnykh problem: inzheneriya i tekhnologii», Almaty, 2018.-S.1089-1092.

[6] Khairullin E.M., Tuleshova G.A., Shakulikova A.T. Ob odnoi granichnoi zadache teplo- i massoobmena. Vestnik KazNITU, 2019. - N4, c.510-516.

**Е.М. Хайруллин\*, Г.А. Тулешева, А.Т. Шакуликова**

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: khairullin\_42\_42@mail.ru

### **ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТТА ҮШІНШІ РЕТТІ НОРМАЛЬ ТУЫНДЫЛАРЫ БАР ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССА АЛМАСУ ТЕНДЕУЛЕРІНІҢ БІР ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕБІ**

**Андатпа.** Шекаралық шартта үшінші ретті нормаль туындылары бар жылу және масса алмасу теңдеулерінің бір шекаралық есебі қарастырылып, осындай шеттік есептерге келтіру кезіндегі жылу және масса алмасудың кейбір шекаралық есептері келтіріледі. Есептің шешімі қосқабат жылу потенциалы түрінде ізделінеді. Гипержазықтықта ізделінетін функцияның үшінші ретті нормаль туындыларының шектерін табу жөнінде лемма келтірілген. Шекаралық шарттарды пайдаланып, жылуөткізгіштік операторлары арқылы интегралды-дифференциалдық теңдеулер жүйесі (ИДТЖ) алынған. Белгілі бір шарттар орындалғанда, ИДТЖ-нің характеристикалық бөлігінің шешімі Фурье - Лаплас интегралдық түрлендірулері арқылы табылған. ИДТЖ-сі регулярлау әдісімен Вольтерр-Фредгольм интегралдық теңдеулер жүйесіне келтірілген. Шекаралық шартта үшінші ретті нормаль туындылары бар және белгілі бір шарттар орындалғанда, жылу және масса алмасу шеттік есебінің шешімі бар болу жөнінде теорема келтірілген.

**Негізгі сөздер:** жылу және масса алмасу, шеттік есеп, үшінші ретті нормаль туындылар, шешілу шарттары, регулярлау.

**Y. Khairullin\*, G. Tulesheva, A. Shakulikova**

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: khairullin\_42\_42@mail.ru

### **ABOUT ONE BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE EQUATIONS OF HEAT AND MASS TRANSFER WITH NORMAL DERIVATIVES OF THE THIRD ORDER IN THE BOUNDARY CONDITION**

**Abstract.** A boundary value problem is considered for the equations of heat and mass transfer when one of the boundary conditions contains normal derivatives of the third order, to which a certain problem of heat and mass transfer in drying processes is reduced. The solution of the boundary value problem is sought in the form of the thermal potential of a double layer. A lemma on finding the limits of the third order normal derivatives is given. Using the boundary conditions, a system of the integro-differential equations (SIDE) with various heat conduction operators is obtained. A characteristic part of SIDE is solved by the method of integrated transformations of Fourier-Laplace when performing a condition of solvability. By the method of regularization of SIDE it is reduced to the system of the integrated equations of Volterra-Fredholm. A theorem of solvability of a boundary value problem is given under the condition of solvability of the heat and mass transfer equations with normal derivatives in the boundary conditions.

**Keywords:** heat and mass transfer, boundary value problem, third-order normal derivatives, solvability conditions, regularization.



# • ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ӘОЖ:665.6.03 / FTAMP 61.51.37

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.16>

<sup>1</sup>А.С. Ермакова\*,<sup>2</sup>Е. Тілеуберді, <sup>2</sup>Е.О. Досжанов, <sup>2</sup>В. Кошикэнь  
<sup>1</sup>М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан  
<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: ainura\_1995\_kz@mail.ru

## МҰНАЙБИТУМДЫ ЖЫНЫСТАРДЫҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

**Андатпа.** Бұл ғылыми жұмыста, Мұнайлы-Мола, Беке, Дөңгелек сор кен орындарының мұнайбитумды жыныстарының ылғалдылығы зерттелді. Алынған жұмысты орындау үшін, зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның батыс өңірі Атырау, Манғыстау және Ақтөбе облыстарының мұнайбитумды жыныстары пайдаланылды. Мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығын анықтау, кептіргіш пештің көмегімен орындалды. Мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығы 106<sup>0</sup> С және 150<sup>0</sup> С -та салыстырып, 90 мин бойы кептірілді. Нәтижесінде аталған мұнайлы шикізаттардың ылғалдығын анықтаудың 150<sup>0</sup> С температурасындағы көрсеткіштер 106<sup>0</sup> С-тағы сәйкес үлгілердің көрсеткіштеріне қарағанда жоғары болған. МБЖ-ны пиролиз әдісі арқылы өңдеу барысында, оның құрамындағы ылғалдық мөлшері буланған көмірсутек фракцияларымен бірге конденсацияланып жиналған сұйық өнімге толығымен қосылып, құрамынағы судың мөлшері артады. Бұл шикізаттың ылғалдығын анықтаудың қажеттілігі міне осыдан туындап отыр.

**Негізгі сөздер:** мұнайбитумды жыныстар, Мұнайлы-мола, Беке, Дөңгелек сор, кен орыны, ылғалдылық, пиролиз әдісі, көмірсутекті шикізат кептіргіш пеш, аналитикалық таразы.

**Кіріспе.** Қазіргі таңда кез-келген елдің экономикасы мұнай өнімдеріне тікелей тәуелді. Оны энергетикалық қорларды пайдалану мен елдегі экономикалық жағдайдың одан әрі өсуі көрсетіп отыр. Бірақ қазіргі күннің өзінде мұнай өнімдерінің жетіспеушілігі байқалуда. Кейбір ғалымдардың көзқарасынша, қазіргі қалған мұнай қоры адамзаттың қажеттілігін шамамен тек осы ғасырдың 60-70-ші жылдарына дейін қамтамасыз ете алады. Сол себепті қазіргі кезде мұнай химия саласының басты мәселелерінің бірі көмірсутек шикізатының баламалы көздерін іздестіріп, игеру болып табылады. Сол шикізаттың бағалы бір түрі мұнайбитумды жыныстар (МБЖ) болып есептелінеді [1].

Мұнайбитумды жыныстар – жоғары молекулалық қосылыс, сұйық және қатты көмірсутектермен, шайырлы заттардың қоспасы. Құрамында табиғи битум немесе органикалық бөліктен және минералды бөліктен тұратын, дәстүрлі мұнайға жатпайтын тұтқырлығы жоғары мұнайлар кіретін, көп компонентті шикізат. Республикамыздың өнеркәсіптерінде алуан түрлі жанғыш материалдар, жол құрылыс битумы және жартылай өнім алу үшін, мұнай химиясы өнеркәсібінде қолданылады. Еліміздің батыс бөлігінде қоры мол, бірақ қазіргі таңда, мұнайбитумды жыныстарды зерттеу жұмыстары жеткіліксіз болып табылады [2].

Мұнайбитумды жыныстар жер шарының көптеген жерлерінде және әртүрлі тереңдікте кездеседі. Алайда, мұнайбитумды жыныстардың қоры бірқатар елдерде шектеулі болып келеді. Атап айтқанда, Венесуэла, Албания, Қазақстан Республикасында және т.б. ТМД елдерінде мұнайбитумды жыныстар – негізінен борпылдақ топырақтарда қаныққан метан мен нафтенді майлардың субаэральді нәтижесінде пайда болады. Битум мен ауыр мұнайлар кен орнын пайдаланудың тиімді жолдарын экономикалық, техникалық және экологиялық мәселелерін ТМД елдерінде қарастырылуда [3]. Сонымен қатар, көмірсутек шикізаттарынан кең қолданыс таппай отырғанын айта өтуге тиіспіз. Жоғары тұтқыр мұнай және табиғи битумдарды өнеркәсіптік өндіру жолдарын игеру ғылыми-техникалық күрделі мәселенің бірі болып табылады. Себебі, кенде игерудің қиындық туғызуы – тәжірбиенің жеткіліксіздігі, жоғары тұтқыр мұнайлар мен табиғи битумдардың кен орнын өңдеу, өнеркәсіптік өңдеу жолдарының жетілдірілмеуінен туындауда [4].

Қазақстан Республикасында мұнайдың орналасуы екі жолмен жүзеге асырылады. Біріншіден, күмбез тәрізді шоғырлана жиналған құмтастардың нәтижесінде пайда болады. XX ғасырдың басында белгілі болған (Мұнайлы-мола, Беке, Талдысай және т.б.). Екіншіден, жер қыртысының тектоникалық қозғалыстарына байланысты, мұнай қабаттарының нашарлануы, және саңылаулардың пайда болуы нәтижесінде түзіледі. Ол Каспий маңы ойпаты (Дөңгелек сор, Иманқара, Қарамұрат және т.б.) аумағында кездеседі [5].

Қазақстан Республикасында көмірсутек шикізат қоры мол. Қордың негізгі үлестері, Қаламқас, Құмкөл, Солтүстік Бозащы, Жаңажол сияқты т.б. кен орындары кездеседі. Бұл кен орындары Қазақстанның Атырау, Маңғыстау аймақтарында. Ал Қазақстанның батыс өңірінде мұнайбитумды жыныстардың кен орны көптеп шоғырланған [6].

МБЖ негізгі қасиеттері табиғи органикалық тұтқырғыштың, минералды бөліктің құрылысы мен құрамына, органикалық тұтқырғыштың минералды материалмен әрекеттесу ерекшелігіне, жыныстың тығыздығына, тұтқырғыштың және онымен кеуекті толтыру дәрежесіне байланысты. Табиғи органикалық тұтқырғыштың мөлшері 95 % массалық үлеске дейін әртүрлі кенорындарда өзгереді. Органикалық бөліктің құрамының өзгеруі кенорынның ауданы мен шөгу тереңдігіне байланысты болады [7]. Қазақстандағы мұнайбитумды жыныстардағы органикалық бөлікте негізінен құрамында 40-65 % майы, 18-35 % шайыр және 3-37 % асфальтені бар мальта мөлшерімен сипатталады [8]. МБЖ органикалық бөлігі оттегімен байытылған, азоттың аз мөлшерімен, спиртбензолды шайыр бензол үстіндегі, майлы фракциясындағы метанды-нафтенді көмірсутектің болуымен сипатталады [9].

Мұнайбитумды жыныстарды халық шаруашылығының алуан түрлі салаларында қолданудың келешегі мол. Қазақстан Республикасында мұнайбитумды жыныстарды өңдеу және мұнай өндіретін салада, құрылыс индустриясы кәсіпорындарында, лакты бояғыш заттар өнеркәсібінде қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, коррозияға қарсы жол құрылыс материалдарын алу үшін, полиуретанды-битумды герметиктер өндірісінде, конверсиялы мотор отынын алуда, битумды лактар өндірісінде қолдануға болады [10-11].

**Зерттеу әдістері.** Бұл ғылыми зерттеу жұмыстары барысында Мұнайлы-мола, Беке, Дөңгелек сор кен орындарының мұнайбитумды жыныстары қолданылып, олардың ылғалдылығын анықтау әдісі қарастырылды. Ылғалдылықты анықтау әдісі – қаттыдене немесе ұнтақ заттағы ылғал мөлшерін анықтау әдісі арқылы анықталады. Ең алдымен үш түрлі мұнайбитумды жыныстардан үш үлгіден алып, зерттеу жүргізілді. Тәжірбиені орындау үшін, фарфорлы бос тигельдердің бастапқы массасы аналитикалық таразыда өлшенді. Өлшенген фарфорлы тигельдерге 5 граммнан алынған мұнайбитумды жыныстарды салып, тағы да салмағы аналитикалық таразыда өлшенді (1-сурет).



1-сурет. Мұнайбитумды жыныстардың үлгілері

Дайын болған үлгілерді кептіргіш пешке салып, 106<sup>0</sup>С және 150<sup>0</sup>С-та кептіреміз. Мақсатты температураға жеткен соң, 90 минут бойы осы температураны ұстап кептіріледі. Сосын оны эксикаторға салып, бөлме температурасына дейін суытып, аналитикалық таразыда қайта өлшенді. Алынған нәтижелерді пайдалана отырып, ылғалдылықты мынадай формуламен есептеледі:

$$W = \frac{G - G_1}{G_2} * 100\% \quad (1)$$

мұнда,

W-ылғалдылық; G- бос тигельдің массасы; G<sub>1</sub>- мұнайбитумды жыныс салынған тигельдің массасы; G<sub>2</sub>- шикізат массасы;

**Нәтижелерді талдау.** Әрбір үлгінің физика-химиялық қасиеті бойынша, мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығы анықталды.

Бұл жұмыста мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығын 106<sup>0</sup> С және 150<sup>0</sup>С-та салыстырып, 90 минут бойы кептірілді. 1-кестеде 106<sup>0</sup>С-та, кептіргіш пеште мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығын анықтау нәтижелері көрсетілген. Кестеде көрініп тұрғандай, Беке кен орынының мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығының орташа мәні масса бойынша 0,34 %-ды құрап, ең төменгі деңгейді көрсеткен. Мұнайлы-мола кен орынының үлгісінде бұл мән 0,54 %-ды көрсеткен. Дөңгелексор кен орынының мұнайбитумды жыныстары ылғалды екенін байқауға болады. Оның орташа мәні масса бойынша 0,68 % шамасында болған.

1-кесте. 106<sup>0</sup>С-тағы мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығы

Мұнайбитумды жыныстар		масса, m(тигель)	масса, m (бюкс ,гр)	масса, m (т+ б)	масса, m (с,гр)	W <sub>(ылғалдылық)</sub> %	Орташа мәні
Беке кен орны	1-үлгі	8,152	5,029	13,182	13,164	0,36	0,34
	2-үлгі	7,766	5,069	12,833	12,817	0,32	
	3-үлгі	7,865	5,031	12,896	12,878	0,35	
Мұнайлы-мола кен орны	1-үлгі	7,903	5,037	12,943	12,917	0,52	0,54
	2-үлгі	7,744	5,021	12,770	12,745	0,50	
	3-үлгі	8,007	5,045	13,052	13,022	0,59	
Дөңгелексор кен орны	1-үлгі	9,312	5,017	14,328	14,288	0,79	0,68
	2-үлгі	8,808	5,026	13,845	13,815	0,60	
	3-үлгі	8,863	5,029	13,846	13,813	0,66	

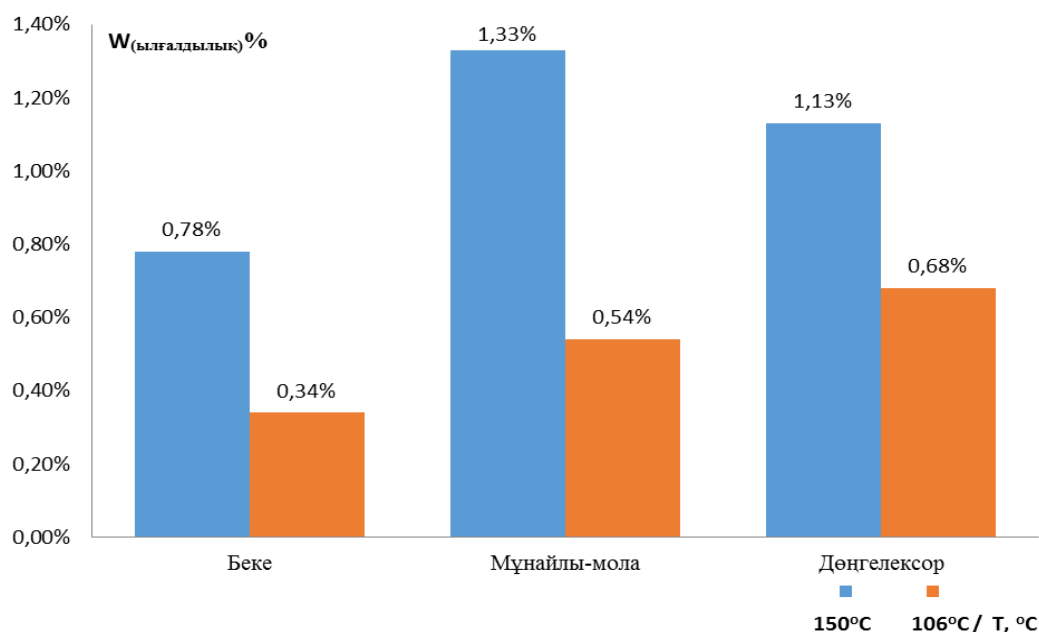
Алайда, мұнайбитумды жыныстардың ылғалдығын анықтауға қолданылған бұл әдісте 106 °С-та тас көмірдің ылғалдылығы анықталады. Тас көмірдің ылғалдылығы 106-110 °С аралығында кептіргіш пеште стандартты кептіру әдісімен зерттеледі. Себебі осы температура аралығында үгітілген тас көмірден тек капиллярлы және адсорбциялық ылғалдылығы жойылады[12]. Құрамында 30%-ға дейін жартылай сұйық органикалық зат (табиғи битум) болғаны болмаса, мұнайбитумды жыныстар табиғи жағдайда негізінен қатты затқа жатады. Ал бүгінге дейін бұл көмірсутекті шикізаттың ылғалдығын анықтау әдістемесі болмаған. Сондықтан 106 °С-та тас көмірдің ылғалдылығын анықтау әдісі қолданылды.

Ғылыми журналдарда жарияланған мақалада, мұнайбитумды жыныстарды пиролиз әдісімен өңдегенде 150 °С дейінгі аралықта шикізат құрамындағы су құрамы толығымен шығып болатының дәлелмен көрсеткен[13]. Соған байланысты мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығын зерттеу жалғасты жүргізіліп, температураны жоғарылатып 150 °С-та анықталды. 2 - кесте бойынша 150°С-та мұнайбитумды жыныстардың орташа ылғалдылық деңгейі әртүрлі мәнге ие болған. Бұл температура кезінде де Беке кен орынының мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығы ең төменгі деңгейде болып, орташа мәні масса бойынша 0,78%-ды құраған. Қалған екі кен орнының үлгілерінің мәні алдыңғы нәтижеге сай емес, керісінше көбірек деңгейде болғаны осы жолы азайған. Дөңгелексоркен орынының мұнайбитумды жыныстарында бұл мән 1,13%-ды көрсеткен. Мұнайлы-мола кен орынының үлгісінде ылғалдық масса бойынша 0,68 % болып, жоғары мөлшерде болғанын дәлелдеген. Оның орташа мәні шамасында болған.

2-кесте. 150 °С-тағы мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығы

Мұнайбитумды жыныстар		масса, m (тигель)	масса, m (бюкс ,гр)	масса, m (т+б)	масса, m (с,гр)	W <sub>(ылғалды-лық)</sub> %	Орташа мәні
Беке кен орны	1-үлгі	8,153	5,039	13,192	13,152	0,79	0,78
	2-үлгі	7,767	5,011	12,776	12,738	0,75	
	3-үлгі	7,866	5,055	12,918	12,877	0,81	
Мұнайлы-мола кен орны	1-үлгі	7,903	5,023	12,931	12,866	1,29	1,33
	2-үлгі	7,745	5,056	12,794	12,729	1,28	
	3-үлгі	8,008	5,026	13,031	12,959	1,43	
Дөңгелексор кен орны	1-үлгі	9,313	5,014	14,328	14,273	1,09	1,13
	2-үлгі	8,809	5,043	13,850	13,790	1,18	
	3-үлгі	8,864	5,056	13,918	13,860	1,14	

Мұнайбитумды жыныстардың физика-химиялық қасиеті күрделі болғандықтан, зерттелінген нәтижелер бойынша мұнайбитумды жыныстардың ылғалдылығын орташа мәндері салыстырылды (2– суретте). Нәтижесінде, 106 °С-та Дөңгелексор мұнайбитумды жынысы орташа мәнге ие болса, 150° С-та Мұнайлы мола мұнайбитумды жынысы орташа мәнге ие екенін көруге болады.



2-сурет. 106<sup>0</sup>С және 150<sup>0</sup>С температурасындағы мұнайбитумды жыныстардың орташа мәндегі ылғалдылығы

Сурет 2-дегі мәндерге сәйкес, Беке кен орнының мұнайбитумды жыныстарының ылғалдығы зерттеудің екі түрлі температурасында да минималды көрсеткіште болғанын көруге болады.

Жалпы алғанда аталған мұнайлы шикізаттардың ылғалдығын анықтаудың 150<sup>0</sup>С температурасындағы көрсеткіштер 106<sup>0</sup>С -тағы сәйкес үлгілердің көрсеткіштеріне қарағанда жоғары болған. Бұл мәнді, температураны 150<sup>0</sup>С-қа дейін қыздырғанда мұнайбитумды жыныс үлгілерінің құрамындағы кейбір жеңіл көмірсутек фракцияларының шығатындығымен түсіндіруге болады.

**Қорытынды.** Осылайша, зерттелінген үлгілер Мұнайлы-мола, Беке және Дөңгелексор мұнайбитумды жыныстарының ылғалдылығы 106<sup>0</sup>С және 150<sup>0</sup>С-та зерттелінді. МБЖ-ны пиролиз әдісі арқылы өңдеу барысында, оның құрамындағы ылғалдық мөлшері буланған көмірсутек фракцияларымен бірге конденсацияланып жиналған сұйық өнімге толығымен қосылып, құрамынағы судың мөлшері артады. Бұл шикізаттың ылғалдығын анықтаудың қажеттілігі міне осыдан туындады. Зерттеудің екі температурасында да процестің ұзақтығы 90 минут болған. 106<sup>0</sup>С-та Дөңгелексор мұнайбитумды жынысы орташа мәнге ие болса, 150<sup>0</sup>С-та Мұнайлы мола мұнайбитумды жынысы орташа мәнге ие екенін көруге болады. Беке кен орнының мұнайбитумды жыныстарының ылғалдығы зерттеудің екі түрлі температурасында да минималды көрсеткіште болғанын көруге болады. Жалпы алғанда, 150<sup>0</sup>С температурасындағы көрсеткіштер 106<sup>0</sup>С-тағы сәйкес үлгілердің көрсеткіштеріне қарағанда жоғары болған. 150<sup>0</sup>С температурасындағы тәжірибеде шикізат үлгілерінің құрамындағы кейбір жеңіл көмірсутек фракцияларының шығып кететіндігіне байланысты, мұнайбитумды жыныстардың ылғалдығын анықтаудың оңтайлы температурасы 106<sup>0</sup>С болатындығын қорытындылауға болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Надиров Н. К. Высоковязкие нефти и природные битумы (История. Бассейны. Свойства) / Н. К. Надиров. – А.: «Гылым», 2001. – Т.1. – 256с.
- [2] Калешева Г.Е. Закономерности распространения нефтебитуминозных пород и высоковязких нефтей в Западно-Казахстанской области / Г. Е. Калешева. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 4 (63). – С.413-414.
- [3] Тилеуберди Е., Онгарбаев Е.К., Тулеутаев Б.К., Мансуров З.А. Нефтебитуминозные породы в составе асфальтобетонных смесей // Вестник КазНУ, серия химическая, 2011. – №3(63). – С.335-337.

- [4] Мустафаев И.И. Исследование радиационно-химического превращения синтетической нефти из нефтебитуминозной породы // Химия высоких энергий. – 2013. – Т. 47, № 6. – С. 449-450.
- [5] Нефтебитуминозные породы Казахстана - проблемы и перспективы. / Н.К. Надиров, А.Е. Браун, М.С. Трохименко и др. –Алма-Ата: Наука. 1985.
- [6] Состав нефтебитуминозной породы месторождения Беке (Казахстан) / Е.И. Иманбаев, Е.К. Онгарбаев, С.В. Симаков, Е. Тилеуберди, Б.К. Тулеутаев, З.А. Мансуров // Научные ведомости, – 2013. –№ 24 (167), –вып. 25. –С. 139-142.
- [7] Алтаев Ш.А., Бишимбаев В.К., Бочаров В.С., Браун А.Е., Комов Ю.К., Кривцов И.П., Курочкин В.А., Надиров Н.К., Стрельникова В.Я. Нефтебитуминозные породы: перспективы использования. -3-е изд.–Алматы:Наука, –1987.–200с.
- [8] Химический состав нефти газа.<http://www.ngfr.ru>.
- [9] <http://ogbus.ru> 23.11.2017
- [10] Онгарбаев Е.К.,Иманбаев Е.И., Тилеуберди Е., Мансуров З.А., Нетрадиционные способы извлечения природных битумов// Материалы совместного IX Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов /Наноинженерия» и Международной конференции «Наноэнергетические материалы и наноэнергетика». –Алматы, 13-15 сентября,2016г.–Ч.4.–С.21-24.
- [11] Negreira S.D.,Tileuberdi Ye.,Imanbaev Ye.,Ongarbaev Ye.,Tuleutaev B.K., Mansurov Z. Study about thermo-contact method for extracting bitumen from oil sands//Proceedings of VIII International Symposium «Physics and Chemistry of carbon materials/Nanoengineering».–Almaty.–September 17-19,2014.–P.262-264.
- [12] Августевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т.М. Стандартные методы испытания углей классификации углей.1-е изд.–М.:Наука,–2018.–97с.
- [13] Fan Nie., Demin He.,Jun Guan.,Xueqiang Li.,Yu Hong., Linfei Wang., Huaan Zheng.,Qiumin Zhang.Oil sand pyrolysis:Evolution of volatiles and contributions from mineral,bitumen,maltene and SARA fractions//Fuel, –2018. –Vol.224.–№2.–P.726-739.

#### REFERENCES

- [1] Nadirov N. K. Vy`sokovyazkie nefti i prirodny`e bitumy` (Istoriya. Bassejny` .Svoystva)/ N. K. Nadirov. – A.: «Gy`ly`m», 2001. –Т.1.– 256s.
- [2] Kalesheva G.E.Zakonomnostirasprostraneniya neftebituminozny`kh porod i vy`sokovyazkikh neftej v Zapadno-Kazakhstanskoj oblasti / G. E. Kalesheva. – Tekst: neposredstvenny`j // Molodoj ucheny`j. – 2014. – # 4 (63).–S.413-414.
- [3] Tileuberdi E., Ongarbaev E.K., Tuleutaev B.K.,Mansurov Z.A. Neftebituminozny`e porody` v sostave asfal`tobetony`kh smesej//Vestnik KazNU, seriya khimicheskaya,2011.–#3(63).–S.335-337.
- [4] Mustafaev I.I.Issledovanieradiacionno-khimicheskogo prevrashheniya sinteticheskoy nefti iz neftebituminoznoj porody` // Khimiya vy`sokikh e`nergij. – 2013. – Т. 47, # 6. – С. 449-450.
- [5] Neftebituminozny`e porody` Kazakhstana - problemy` i perspektivy`. / N.K. Nadirov. A.E. Braun. M.S. Trokhimenko i dr. –Алма-Ата: Nauka. 1985.
- [6] Sostav neftebituminoznoj porody` mestorozhdeniya Beke (Kazakhstan) / E.I. Imanbaev, E.K. Ongarbaev, S.V. Simakov, E. Tileuberdi, B.K. Tuleutaev, Z.A. Mansurov // Nauchny`e vedomosti, – 2013. –# 24 (167), –vy`p. 25. –S. 139-142.
- [7] Altaev Sh.A., Bishimbaev V.K., Bocharov V.S., Braun A.E., Komov Yu.K., Krivczov I.P., Kurochkin V.A., Nadirov N.K., Strel`nikova V.Ya. Neftebituminozny`e porody`: perspektivy` ispol`zovaniya. -3-e izd.–Алматы:Наука, –1987.–200с.
- [8] Khimicheskij sostav nefti gaza.<http://www.ngfr.ru>.
- [9] <http://ogbus.ru> 23.11.2017
- [10] Ongarbaev E.K.,Imanbaev E.I., Tileuberdi E., Mansurov Z.A., Netradiczionny`e sposoby` izvlecheniya prirodny`kh bitumov// Materialy` sovместного IX Mezhdunarodnogo simpoziuma «Fizika i khimiya uglerodny`kh materialov /Nanoinzheneriya» i Mezhdunarodnoj konferenczii «Nanoe`nergeticheskie materialy` i nanoe`nergetika». –Алматы, 13-15 sentyabrya,2016g.–Ch.4.–S.21-24.
- [11] Negreira S.D.,Tileuberdi Ye.,Imanbaev Ye.,Ongarbaev Ye.,Tuleutaev B.K., Mansurov Z. Study about thermo-contact method for extracting bitumen from oil sands//Proceedings of VIII International Symposium «Physics and Chemistry of carbon materials/Nanoengineering».–Almaty.–September 17-19,2014.–P.262-264.
- [12] Avgushevich I.V.,Sidoruk E.I.,Bronovecz T.M.Standartny`e metody` ispy`taniya uglej klassifikacii uglej.1-e izd.–М.:Наука,–2018.–97s.

[13] Fan Nie., Demin He., Jun Guan., Xueqiang Li., Yu Hong., Linfei Wang., Huaan Zheng., Qiumin Zhang. Oil sand pyrolysis: Evolution of volatiles and contributions from mineral, bitumen, maltene and SARA fractions // Fuel, –2018. –Vol.224.–№2.–P.726-739.

<sup>1</sup>А.С. Ермакова\*, <sup>2</sup>Е. Тилеуберди, <sup>2</sup>Е.О. Досжанов, <sup>2</sup>В. Кошикэнъ

<sup>1</sup>Таразский региональный университет им. М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: ainura\_1995\_kz@mail.ru

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ НЕФТЕБИТУМОЗНЫХ ПОРОД

**Аннотация.** В данной научной работе исследовано, влажность нефтебитуминозных пород с месторождений Мунайлы-мола, Беке, Донгелек сор. Определение влажности нефтебитуминозных пород выполнялось с помощью сушильной печи. Влажность нефтебитуминозных пород определена при температуре 106<sup>0</sup> С и 150<sup>0</sup> С. В процессе НБ пород методом пиролиза содержание влаги в них полностью присоединяется к жидкому продукту, который конденсируется вместе с испаренными углеводородными фракциями, а содержание воды в нем увеличивается. Отсюда вытекает необходимость определения влажности этого сырья.

**Ключевые слова:** нефтебитуминозные породы, Мунайлы-мола, Беке, Донгелек сор, месторождение, влажность, метод пиролиз, углеводородное сырье, сушильный печь, аналитические весы.

<sup>1</sup>A.S.Yermekova\*, <sup>2</sup>Ye.Tileuberdi, <sup>2</sup>Ye.O. Doszhanov, <sup>2</sup>W. Kuoshiken

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: ainura\_1995\_kz@mail.ru

### DETERMINATION OF OIL SAND'S MOISTURE

**Abstract.** This scientific article presents the work on the determination of the moisture content of the oil sand deposits of the Munaili-Mola, Beke, and Dongelek-sor fields were studied. To perform the obtained work, oil sands of Atyrau, Mangistau and Aqtobe regions of Western part of Kazakhstan were used as the object of research. Determination of the moisture content of oil sands were carried out using a drying furnace. Moisture of the oil sands were compared at 106 °C and 150 °C, then dried for 90 minutes. As a result, the indicators for determining the humidity of these oil raw materials at a temperature of 150 °C were higher than the indicators of the corresponding samples at 106 °C. In the process of processing petroleum bituminous rocks by pyrolysis, the amount of moisture contained in it condenses together with evaporated hydrocarbon fractions and completely merges into the collected liquid product, increasing the amount of water in the composition. This is why it is necessary to determine the moisture content of this raw material

**Keywords:** oil sands, Munali-mola, Beke, Dongelek sor, deposits, moisture, pyrolysis method, hydrocarbon raw materials, drying furnace, analytical scales.

<sup>1</sup>М.С. Баталова, <sup>1</sup>Б.Е.Алпысбаева\*, <sup>2</sup>Н.Е. Коробова

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет МИЭТ, Зеленоград, Россия

\*e-mail: balau@list.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМБРАН НА ОСНОВЕ НАНОПРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ АСМ

**Аннотация.** В данной научной работе представлены результаты исследования структурных особенностей мембран на основе нанористого оксида алюминия с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Возможности сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), в частности атомно-силовой микроскопии широко известны, но относительно диэлектрических материалов возможности и преимущества АСМ возрастают. Возможности АСМ относительно поверхности различных наноструктурированных материалов в первую очередь связаны с его разрешающими способностями. Разрешающая возможность АСМ связана в первую очередь с кантилеверами, которые применяются для сканирования поверхности. В случае исследования поверхности мембран на основе нанопористого оксида алюминия показываются возможности АСМ и применение его различных методик. Атомно-силовая микроскопия применяется для исследования поверхности различных диэлектрических твердотельных и полимерных образцов. Необходимо только подобрать необходимую АСМ методику для исследования поверхности. Также необходимо уделить внимание зондам, которые применяются при сканировании.

**Ключевые слова:** мембраны, оксид алюминия, атомно-силовая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия, кантилеверы, морфология, скол, процесс анодирования, шероховатость.

**Введение.** Сканирующая зондовая микроскопия является широкораспространённым методом, который включает в себя множество методик. В зависимости от задач исследователей, СЗМ методики можно применять для исследования морфологии и различных поверхностных свойств твердотельных образцов [1-5]. Актуальность применения АСМ возрастает с необходимостью исследования поверхности различных твердотельных диэлектрических материалов и различных видов полимеров [6-8]. С помощью АСМ нежелательно исследовать порошкообразные образцы, но при этом существует возможность сканирования поверхности полимерных образцов, а также поверхность образцов, которые имеют сложную структуру. На СЗМ имеется возможность исследовать различные материалы на сколе, что позволяет с определенными возможностями исследовать структуру материала в объеме. Реже встречаются работы, где структуры материалов на сколе исследуются с помощью АСМ, при этом преимущество АСМ в том, что можно сканировать диэлектрические материалы [9]. В случае внедрения различных наноструктурированных материалов в поры наномембран, можно применить АСМ метод фазового контраста, что позволит выделить границы различных материалов (матрицы и уплотнителя) [10-12]. АСМ метод фазового контраста также можно применять и при исследовании поверхности материалов, что также позволит выделить границы двух или более материалов с различными составами и природой. Также необходимо отметить, что наноструктурированные материалы, полученные внутри наномембран, могут обладать различными физико-химическими свойствами (электрическими, магнитными, оптическими и др.), что можно выделить с помощью атомно-силовой микроскопии [13-17].



**Экспериментальная часть.** Мембраны на основе нанопористого оксида алюминия были получены с помощью процесса анодирования [18]. Процесс анодирования проводился в два этапа, так как для сканирования на АСМ необходимо было получить нанопористую мембрану при определенных условиях.

До процесса сканирования поверхности исследуемые образцы проходили пробоподготовку. Исследуемые образцы были приклеены с помощью специального двухстороннего скотча на поликорковую подложку и на время оставлялся для релаксации связующего материала. Все измерения проводились с помощью сканирующего зондового микроскопа Ntegra Therma (NT-MDT, Россия). В процессе проведения процесса сканирования поверхности был применен полуконтактный метод АСМ и применены такие кантилеверы как: NSG01, NSG30 и NSC05\_10. Если первые два типа кантилевера имеют резонансную частоту 87-230 и 240-440 кГц соответственно, то тип кантилевера NSC05\_10 имеет резонансную частоту 140-390 кГц. При этом NSC05\_10 также отличается тем, что на его конце находится «усика» («Whisker»). Как известно такие кантилеверы как NSC05\_10 имеют радиус закругления около 2-3 нм, также зонд расположен под определенным углом, что дает возможность сканировать поры с большой информативностью. Кантилеверы типа NSG01, NSG30 имеют радиус закругления 10 нм. Отличие разрешающей способности АСМ от СЭМ зависит от радиуса закругления кантилевера, который применяется при процессах сканирования. Чем меньше радиус закругления кантилевера, тем больше его разрешающая способность. Стандартные зонды на основе кремния имеют радиус закругления 10 нм, тогда как супер острые зонды могут иметь радиус закругления до 1-2 нм. При исследовании поверхностных свойств исследуемых образцов, радиус закругления может достигать 35-70 нм, так как на острие кантилевера наносится проводящий слой различных металлов.

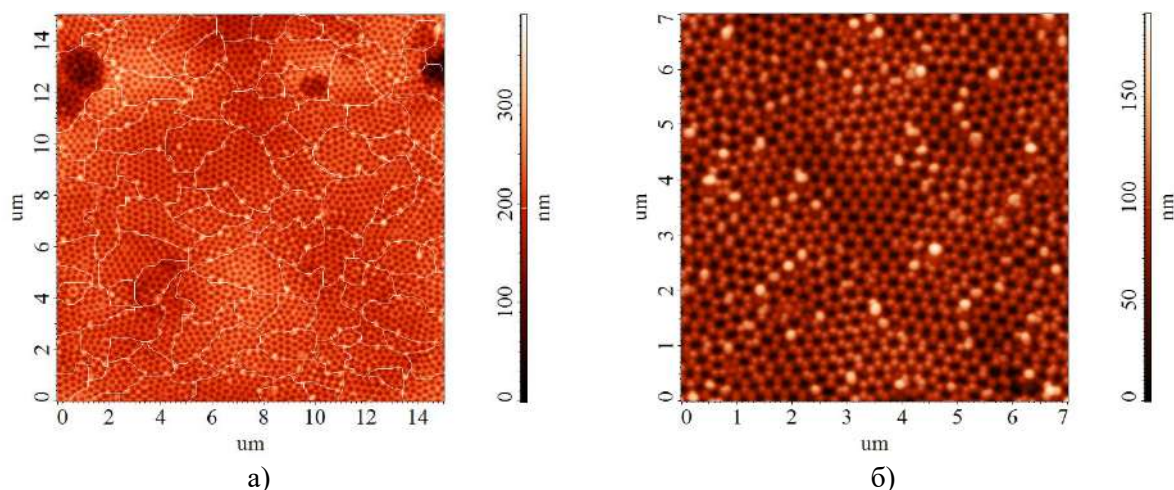
При сканировании поверхности мембран на основе нанопористого оксида алюминия применялся полуконтактный АСМ метод. При данном АСМ режиме кантилевер обстукивает поверхность с определенной частотой. В процессе работы с образцом на АСМ при приближении кантилевера к поверхности за счет взаимодействия с амплитудой колебаний начинается уменьшаться. Данный метод позволяет повысить разрешающую способность АСМ при сканировании объекта с пониженной механической жесткостью, поскольку здесь устранено влияние капиллярных сил.

Площадь сканирования составляла 3-100 мкм, что позволяло исследовать поверхностные особенности образцов в разных масштабах и с различным разрешением. Если учитывать то, что образцы исследовались с кантилеверами с различным радиусом кривизны, то на одном и том же масштабе можно было увидеть различные результаты.

Программа обработки полученных сканов «NOVA» позволяет не только вычитать плоскость, но также дает возможность проведения анализа пористой либо зернистой поверхности различных образцов. Так было проведено ряд анализа программой «NOVA» относительно мембран на основе нанопористого оксида алюминия.

**Результаты и обсуждение.** Целью исследования были исследование поверхности мембран на основе нанопористого оксида алюминия на атомно-силовом микроскопе, поэтому в данной исследовательской работе будут в основном представлены возможности АСМ и особенности нанопористой структуры. На рисунке 1 представлены АСМ изображения наномембраны после удаления оксидного слоя, который был получен после первой стадии процесса анодирования. Как показано на данном рисунке 1,а пористая структура разделяется на области, которые различаются ориентацией пор. Такое разделение

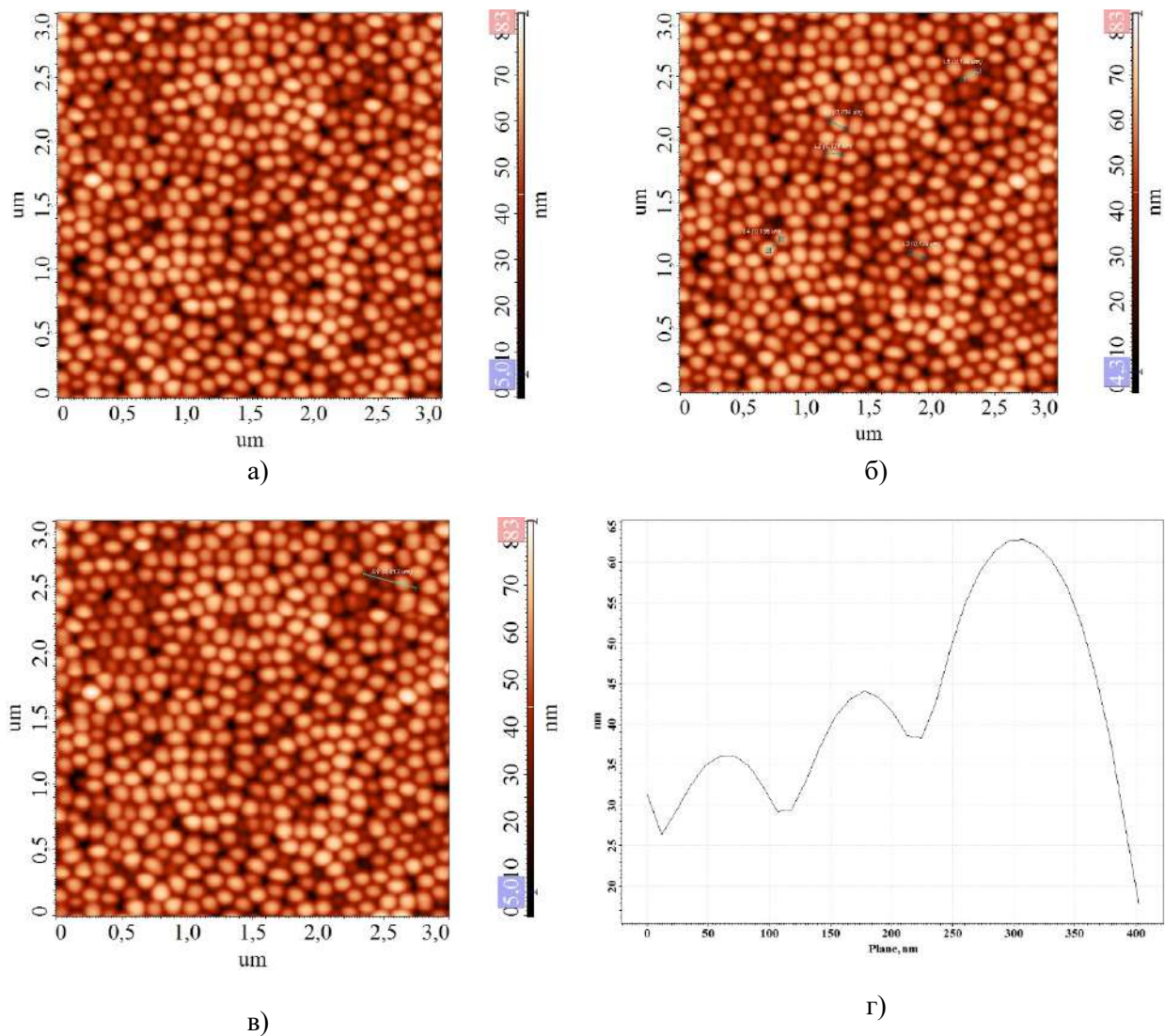
на области с разной ориентацией пор говорит о том, что получаемая нанопористая структура зависит от исходной алюминиевой подложки. Структура исходного материала (в данном случае алюминий), его химическая чистота, дефекты структуры могут оказать непосредственное влияние на сам нанопористый оксидный слой. Такое же влияние можно заметить на всех стадиях получения нанопористого оксидного алюминия.



**Рисунок 1.** АСМ изображения мембран на основе нанпористого оксида алюминия:  
а – масштаб скана 14x14 мкм, б – масштаб скана 7x7 мкм

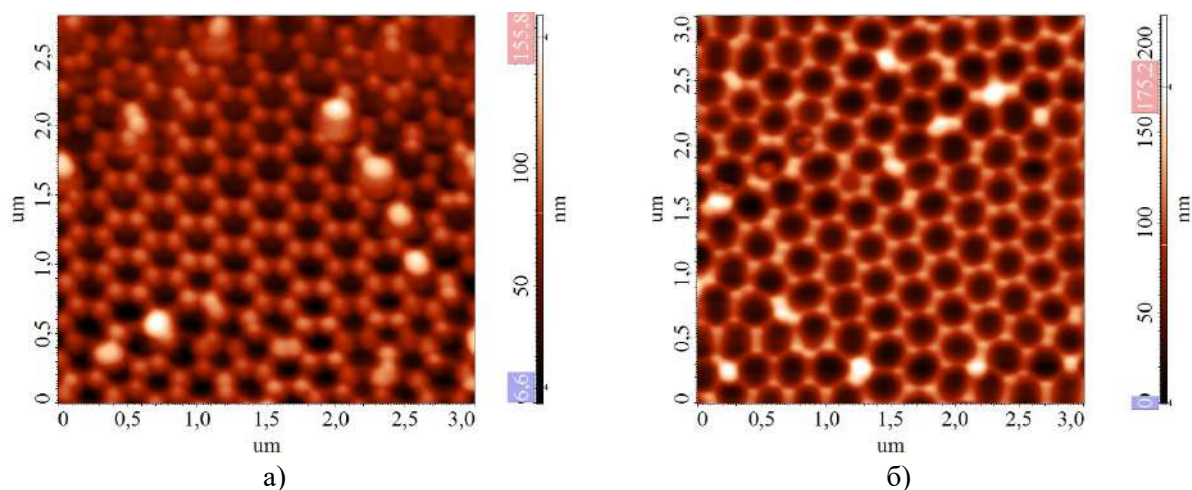
На рисунке 2 представлены АСМ изображения мембраны на основе нанопористого оксида алюминия с тыльной стороны, где можно увидеть «колпачки» пор. Нанопористый оксид алюминия формируется так, что поры растут параллельно относительно друг друга и перпендикулярно алюминиевой подложке. Но при этом для получения сквозной нанопористой мембраны необходимо на последней стадии формирования вскрыть поры. Процесс формирования пор также является сложным процессом, который зависит от параметров процесса анодирования. Потеря стабильности в процессе анодирования может привести как к изменению нанопористой структуры, так и к полному его разрушению. Поэтому исследование и контроль нанопористой структуры мембраны является важной частью исследовательской работы в данном направлении.

Как показано на рисунке 2, «колпачки» пор расположены на разной высоте, что говорит о том, начало роста пор было неравномерным. Если сканируя основную сторону нанопористой мембраны можно убедиться в равномерном росте пор, то исследуя тыльную сторону можно определить процесс роста пор. При вскрытии пор и получении сквозной мембраны на основе нанопористого оксида алюминия описанные проблемы могут быть устранены и можно получить нанопористый материал с заранее заданными структурными параметрами (диаметр пор, толщина мембраны и др.). Как показано на рисунке 2,г после сканирования в программе «NOVA» можно ставить измерять размеры нано и микроструктур, также можно оценить морфологию вдоль определенных линий. Так «колпачки» пор вдоль линии, которая была указана на АСМ изображении можно выделить размеры 65 нм, 35 нм и 45 нм, что говорит о том, что рост пор был неравномерным. В среднем размеры данных «колпачки» пор имеют размеры от 120 до 160 нм, что говорит о том, что размеры пор составляют около  $\geq 90$  нм.

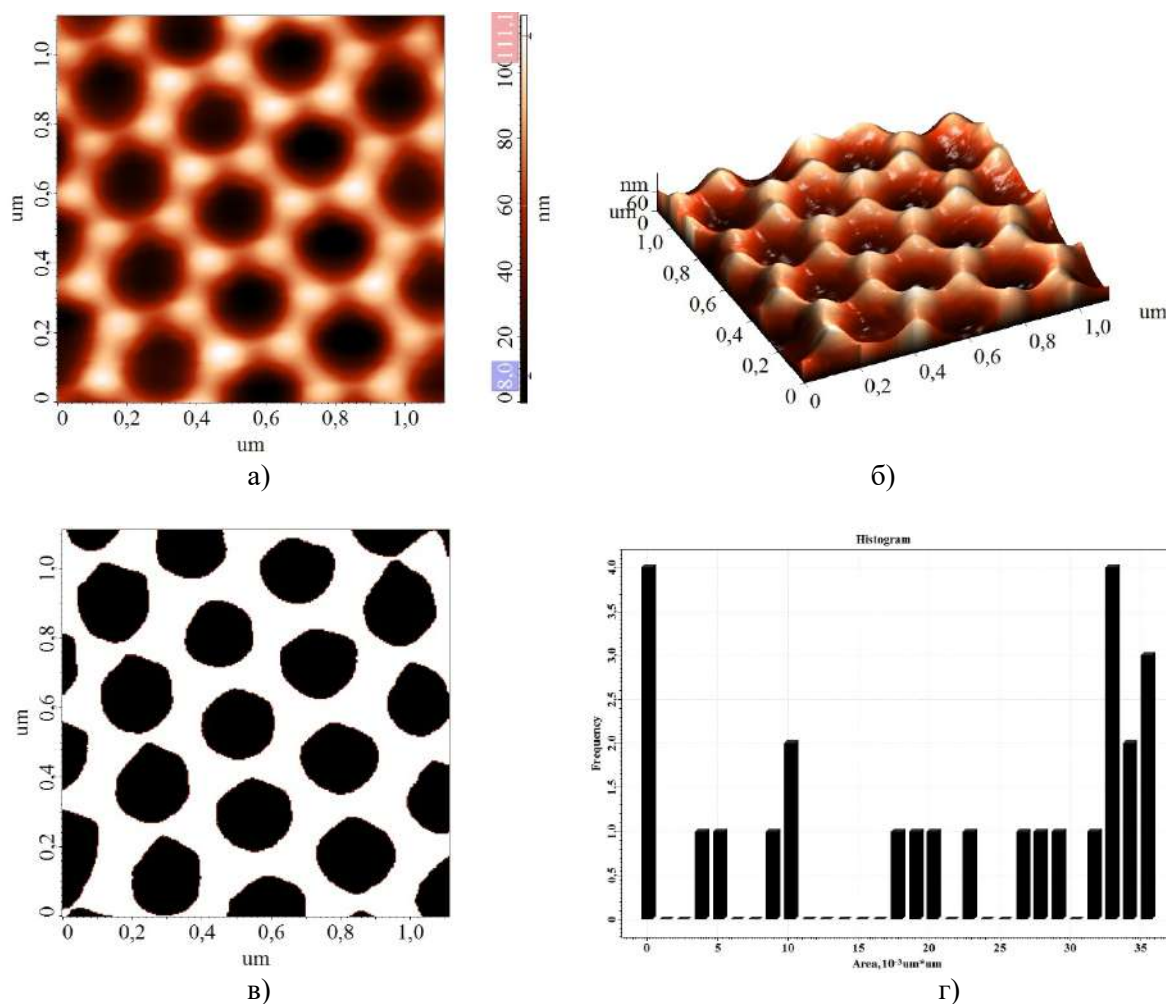


**Рисунок 2.** АСМ изображения наномембраны с тыльной стороны:  
а,б,в – структура с размерами пор, г – профиль сечения на выделенном отрезке  
(масштаб скана 3х3 мкм)

На рисунке 3 показаны АСМ изображения, полученные с помощью кантилеверов типа NSG30 и NSC05\_10, где можно выявить явное отличие в сканах. АСМ изображения, полученные с помощью NSC05\_10 кантилевера более детально показывают поры, расстояние между ними и глубину пор. АСМ не позволяет достигать большой глубины при сканировании пор, но при этом использование «супер» зондов с определенными наклонами на определенный угол открывают большие возможности. Также необходимо отметить, что при использовании «супер» зондов увеличивается разрешающая способность АСМ и можно уменьшать размер скана, как это показано на рисунке 4. При подборки параметров сканирования и кантилевера с меньшим радиусом закругления, можно получить не только АСМ изображение исследуемого образца, но также и получить информацию о размере пор либо зерен.



**Рисунок 3.** АСМ изображения мембран на основе нанопористого оксида алюминия: а – при сканировании кантилевером типа NSC30, б – при сканировании кантилевером типа NSC05\_10 (масштаб скана 3x3 мкм)



**Рисунок 4.** АСМ изображения мембран на основе нанопористого оксида алюминия: а – 2D и б – 3D изображения, в – выделение отдельных пор, г – распределение пор (масштаб скана 1x1 мкм)

Распределение пор на исследуемой поверхности (Рисунок 4,г) можно осуществить с помощью порогового метода в программе «NOVA». При этом необходимо учесть, что пороговый метод можно применить только при хорошо разделенных частицах или порах.

**Заключение.** При исследовании структуры мембран на основе нанопористого оксида алюминия с помощью АСМ был проведен анализ размера пор, расстояние между центрами пор и размер «колпачков» пор. В результате исследований было определено, что размеры «колпачков» пор составляют от 120 до 160 нм, тогда как размер самих пор достигал  $\geq 90$  нм. В рамках исследования нанопористых мембран были исследованы профили сечения пор на выделенных площадях, что дало возможность оценить шероховатость и рост пор. При этом кантилеверы с радиусом закругления около 2-3 нм дают более четкие АСМ изображения и дает возможность уменьшения размера скана АСМ. На основе полученных результатов исследования были сделаны выводы о том, что применение атомно-силовой микроскопии при исследовании мембран на основе нанопористого оксида алюминия, дало возможность определить их структурные особенности, проведение анализа размера пор, роста пор и распределения пор на поверхности.

#### REFERENCES

- [1] Vijayakumar C.C., Venkatakrishnan K., Tan B. Harmonizing HeLa cell cytoskeleton behavior by multi-Ti oxide phased nanostructure synthesized through ultrashort pulsed laser. *Scientific Reports* volume 5, Article number: 15294 (2015) DOI: [10.1038/srep15294](https://doi.org/10.1038/srep15294)
- [2] Kim, D., Ghicov, A. & Schmuki, P. TiO<sub>2</sub> Nanotube arrays: Elimination of disordered top layers ('nanograss') for improved photoconversion efficiency in dye-sensitized solar cells. *Electrochem. commun.* 10, 1835-1838 (2008).
- [3] Sheng Yang, Wenbo Yue, Dazhen Huang, Caifeng Chen, Hao Lina and Xiaojing Yang. A facile green strategy for rapid reduction of graphene oxide by metallic zinc. *RSC Advances*. Issue 23, 2012.
- [4] Prem K.V.B., Carmela R., Ursula M., Manfred R. Nano-mechanical mapping of interdependent cell and ECM mechanics by AFM force spectroscopy. *Scientific Reports* volume 9, Article number: 12317 (2019)
- [5] Y. Li, C. Chen, J. Burton, K. Park, J.R. Heflin, C. Tao. Self-assembled PCBM bilayers on graphene and HOPG examined by AFM and STM Nanotechnology, Volume 29, Number 18 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aab00a>
- [6] McPherson A., Malkin A. J., Kuznetsov Y. G., Plomp M. Atomic force microscopy applications in macromolecular crystallography. *Acta Crystallogr. D57*: 1053-1060, 2001.
- [7] M. Li, D. Dang, L. Liu, N. Xi, Y. Wang. Imaging and Force Recognition of Single Molecular Behaviors Using Atomic Force Microscopy. *Sensors* 2017, 17(1), 200; DOI: <https://doi.org/10.3390/s17010200>
- [8] Uchihashi T, Scheuring S. Applications of high-speed atomic force microscopy to real-time visualization of dynamic biomolecular processes. *Biochim Biophys Acta*. 2017, 1862(2), 229-40.
- [9] Batalova M., Kalkozova Z., Alpysbayeva B., Kadir M.F., Yskak M., Korobova N. Structural features of nanoporous aluminum oxide membranes using atomic force microscopy. *Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019*. p. 1999-2002.
- [10] Malik I.A., Ke X.X., Liu X., Wang C.S., Wang X.Y., Ullah R.N., Song C.Ye., Wang J., Zhang J.X. Solid state reaction for the formation of spinel MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> across perovskite oxide interface. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy* volume 60, Article number: 097721 (2017).
- [11] Igarashi T., Fujinami S., Nishi T., Asao N., Nakajima K. Nanorheological mapping of rubbers by atomic force microscopy, *Macromolecules*, vol. 46, no. 5, pp. 1916-1922, Mar. 2013.
- [12] Pittenger B., Yablon D.G. Improving the Accuracy of Nanomechanical Measurements with Force-CurveBased AFM Techniques, *Bruker Application Note AN149*, 2017. DOI: [10.13140/RG.2.2.15272.67844](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15272.67844)
- [13] Ruan C., Paulose M., Varghese O.K. et al. Fabrication of highly ordered TiO<sub>2</sub> nanotube arrays using an organic electrolyte // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 109. – P. 15754-15759.
- [14] Zdunek, A. and A. Kurenda, Determination of the Elastic Properties of Tomato Fruit Cells with an Atomic Force Microscope. *Sensors*, 2013. 13(9): p. 12175-12191

[15] Ludwig, T., et al., Probing cellular microenvironments and tissue remodeling by atomic force microscopy. *Pflugers Arch*, 2008. 456(1): p. 29-49.

[16] Meng X., Wang Z., Qian W., Zhu Z., Zhang T., Bai Y., Hu C., Xiao S., Yang Y., Yang S.. Excess Cesium Iodide Induces Spinodal Decomposition of CsPbI<sub>2</sub>Br Perovskite Films. *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, 10, 2, 194-199. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.8b03742>

[17] Daviddi E., Chen Z., Massani B. et al. Nanoscale visualization and multiscale electrochemical analysis of conductive polymer electrodes. *ACS Nano* 13, 13271 (2019). <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b06302>

[18] Kadir M.F., Alpysbayeva B.E., Batalova M.S., Nemkayeva R.R., Korobova N.E. Dependence of structural properties of nanoporous oxide on the structure of the initial aluminum and anodizing parameters. *Materials Today: Proceedings*. Volume 25, Part 1, 2020, Pages 101-105

<sup>1</sup>М.С. Баталова, <sup>1</sup>Б.Е. Алпысбаева, <sup>2</sup>Н.Е. Коробова

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>ЭТМИ Ұлттық зерттеу университеті, Зеленоград, Ресей

\*e-mail: balau@list.ru

### НАНОКЕУЕКТИ АЛЮМИНИЙ ОКСИДИ НЕГІЗІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН АҚМ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ

**Андатпа.** Берілген ғылыми жұмыста атомдық-күштік микроскопияны (АҚМ) қолдану арқылы нанокеуекті алюминий оксиді негізіндегі мембраналардың құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері келтірілген болатын. Сканерлеу зондтық микроскопиясының (СЗМ), атап айтқанда атомдық-күштік микроскопиясының мүмкіндіктері кеңінен танымал, бірақ диэлектрлік материалдарға қатысты АҚМ мүмкіндіктері мен артықшылықтары артып отырады. Әр түрлі нанокұрылымды материалдардың бетіне қатысты АҚМ мүмкіндіктері ең алдымен оның ажырату қабілетіне байланысты. АҚМ-ның ажырату қабілеті ең алдымен бет бедерді сканирлеуге арналған кантилевермен байланысты. Нанокеуекті алюминий оксиді негізіндегі мембраналардың құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу барысында АҚМ ерекшеліктері мен әр түрлі әдітерінің қолданысы көрсетілген болатын. Атомдық-күштің микроскопиясы әртүрлі диэлектрлік қатты және полимерлі үлгілердің бетін зерттеу үшін қолданылады. Беттік зерттеу үшін қажетті AFM техникасын таңдау қажет. Сондай-ақ, сканерлеу үшін қолданылатын зондтарға назар аудару керек.

**Негізгі сөздер:** мембраналар, алюминий оксиді, атомдық-күштік микроскопия, сканирлеуші зондтық микроскопия, кантилеверлер, морфология, анодтау процесі, кедір-бүдірлік.

<sup>1</sup>M.S. Batalova, <sup>1</sup>B.E. Alpysbayeva\*, <sup>2</sup>N.E. Korobova

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>National Research University MIET, Zelenograd, Russia

\*e-mail: balau@list.ru

### DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF MEMBRANES BASED ON NANOPOROUS ALUMINA BY AFM

**Abstract.** This scientific work presents the results of a study of the structural features of membranes based on nanoporous alumina using atomic force microscopy (AFM). The capabilities of scanning probe microscopy (SPM), in particular atomic force microscopy, are widely known, but with regard to dielectric materials, the capabilities and advantages of AFM are increasing. The capabilities of AMS with respect to the surface of various nanostructured materials are primarily related to its resolving capabilities. The resolving power of AFM is primarily associated with cantilevers, which are used for surface scanning. In the case of studying the surface of membranes based on nanoporous alumina, the possibilities of AFM and the use of its various techniques are shown. Atomic force microscopy is used to study the surface of various dielectric solid and polymer samples. It is only necessary to select the required AFM technique for surface investigation. You also need to pay attention to the probes that are used for scanning.

**Keywords:** membranes, aluminum oxide, atomic force microscopy, scanning probe microscopy, cantilevers, morphology, cleavage, anodizing process, roughness.

**А.М. Макашева, Л.А. Бекбаева\***

Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

\*e-mail: lyazzat.bekbaeva@mail.ru

## **КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ВЯЗКОСТИ СПЛАВА СВИНЕЦ-ОЛОВО В СОПОСТАВЛЕНИИ С МОДЕЛЮ ФРЕНКЕЛЯ-АНДРАДЕ**

**Аннотация.** Статья посвящена разработке обобщенной кластерно-ассоциатной модели динамической вязкости сплава свинец-олово, основанной на концепции хаотизированных частиц и ее взаимосвязи с моделью вязкости Френкеля-Андраде.

Помимо практической важности, изучение вязкости расплавов неорганических соединений представляет и большой научный интерес, так как вязкость является наиболее структурно-чувствительной характеристикой вещества, дающей представление о силах межмолекулярного взаимодействия и о механизме процессов молекулярного переноса в жидкостях. Накопление знаний в этой области позволяет решить многие вопросы, связанные с теорией жидкого состояния.

Экспериментальный материал по вязкости расплавов неорганических соединений довольно ограничен, что объясняется серьезными трудностями, связанными с проведением соответствующих исследований. Поэтому предлагается для изучения вязкости использование кластерно-ассоциатной модели, что значительно приближает к решению многих задач связанных с теорией жидкости. Модель вязкости Френкеля-Андраде позволяет оценить энергию активации текучести. Расчеты показывают, что при сопоставлении этой энергии со степенью ассоциации кластеров, получаемой в рамках кластерно-ассоциатной модели, наблюдается достаточно тесная линейная корреляция. При этом коэффициент пропорциональности имеет смысл энергии активации, приходящейся на один кластер. Эта энергия не выходит за пределы ван-дер-ваальсовой энергии ненасыщенной межмолекулярной связи, характерной для взаимодействия частиц в жидкости.

**Ключевые слова:** концепция хаотизированных частиц, распределение Больцмана, динамическая вязкость, сплав свинец-олово, кластер, ассоциат.

**Введение.** Вязкость является важнейшей характеристикой жидкого состояния вещества. Как известно, теория жидкого состояния вещества еще разработана не так однозначно, как теории твердого и газообразного состояний. Для жидкого состояния имеется множество физических и математических моделей, особенно для расплавов.

Анализ литературных источников [1-11] показал, что природа вязкого состояния недостаточно изучена, имеется разрозненность температурных зависимостей вязкости, фрагментарность и узость экспериментального определения этой характеристики и невозможность ее отображения в полном температурном диапазоне жидкого состояния, особенно для расплавов. Этим и определяется актуальность данных исследований, в частности сложных соединений.

На основе распределения Больцмана и нормированной зависимости частиц от температуры авторами [12, 13] разработана полуэмпирическая кластерно-ассоциатная модель вязкого течения жидкости, позволяющая оценить агрегации кластеров в ассоциаты. Сопоставление с моделью вязкости Френкеля-Андраде позволяет по энергии активации вязкого течения и степени ассоциации кластеров определить единицу течения.

**Методика расчета.** Согласно этой концепции, в соответствии с фундаментальным распределением Больцмана вязкое течение рассматривается как разрушение ассоциатов путем преодоления сил ван-дер-ваальсового притяжения между кластерами, что в принципе не противоречит существующим представлениям о вязком течении и подчиняется новой зависимости [14, 15]:

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^a, \quad (1)$$

где  $\eta_1$  – реперная экспериментальная (справочная) точка динамической вязкости при температуре  $T_1$  (К);  $a$  – степень ассоциации кластеров (среднее число частиц в кластере). Для вычисления показателя  $a$  необходимо иметь вторую реперную точку  $\eta_2, T_2$

$$a = a_2 (T_2/T)b, \quad (2)$$

где  $b$  – степень агрегации ассоциаций кластеров. Для идентификации показателя  $b$  используется третья реперная точка  $\eta_3, T_3$

$$a_2 = \frac{\ln(\eta_2/\eta_1)}{\ln(T_1/T_2)}, \quad (3)$$

$$a_3 = \frac{\ln(\eta_3/\eta_1)}{\ln(T_1/T_3)}, \quad (4)$$

$$b = \frac{\ln(a_3/a_2)}{\ln(T_2/T_3)}. \quad (5)$$

Таким образом, общая форма двухуровневой иерархической модели будет представлена следующим образом:

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^{a_2(T_2/T)^b}. \quad (6)$$

При этом уравнение (6) можно определить как обобщённое полуэмпирическое, поскольку, сохраняя причастность к фундаментальному распределению Больцмана, в нём используются реперные значения (при  $T_1, T_2$  и  $T_3$ ).

Реперные точки целесообразно выбирать соответственно в начале, середине и в конце всего имеющегося экспериментального массива  $\eta_i, T_i$ . В этом случае можно ограничиться расчетом  $a_2, a_3$  и  $b$ , не обрабатывая весь экспериментальный массив, с дальнейшим введением необходимых величин в модель (6) и вычислением  $\eta$  для сопоставления со всеми экспериментальными значениями по коэффициенту корреляции. Проверим приведенные выкладки на примере сплава свинец-олово.

**Результаты расчетов и их обсуждение.** Сплав олова со свинцом обладает особыми характеристиками. Они изменяются после добавки легирующих компонентов. Сплав свинец-олово активно применяется в металлургии для предохранения других металлов от коррозии в реакционных средах [17, 18].

Сводка данных по динамической вязкости сплава свинец-олово приведена в справочнике [16], из которой выбраны в качестве реперных точек:  $T_m = 456$  К [19],  $T_1 = 510$  К,  $\eta_1 = 2$  мПа·с,  $T_2 = 600$  К,  $\eta_2 = 1,6$  мПа·с,  $T_3 = 660$  К,  $\eta_3 = 1,5$  мПа·с (для Pb с молярной долей 0);  $T_1 = 480$  К,  $\eta_1 = 3$  мПа·с,  $T_2 = 575$  К,  $\eta_2 = 2,1$  мПа·с,  $T_3 = 725$  К,  $\eta_3 = 1,8$  мПа·с (для Pb – 0,3);  $T_1 = 612,5$  К,  $\eta_1 = 2,8$  мПа·с,  $T_2 = 675$  К,  $\eta_2 = 2,2$  мПа·с,  $T_3 = 775$  К,  $\eta_3 = 1,9$  мПа·с (для Pb с молярной долей 1). По этим точкам с помощью формул (3)-(5) рассчитаны значения:  $a_2 = 1,3730$ ;  $a_3 = 1,1158$ ;  $b = 2,1767$  (для Pb – 0);  $a_2 = 1,9751$ ;  $a_3 = 1,2387$ ;  $b = 2,0128$  (для Pb с молярной долей 0,3);  $a_2 = 2,4820$ ;  $a_3 = 1,6479$ ;  $b = 2,9648$  (для Pb с молярной долей 1). Подставляя найденные значения в формулу (6) расчетные зависимости примут следующий вид:

$$\eta = 2(510/T)^{1,3730(600/T)^{2,1767}}, \text{ мПа}\cdot\text{с}, \quad (7)$$



$$\eta = 3(480/T)^{1,9751}(575/T)^{2,0128}, \text{ мПа}\cdot\text{с}, \quad (8)$$

$$\eta = 2,8(612,5/T)^{2,4820}(675/T)^{2,9648}, \text{ мПа}\cdot\text{с}. \quad (9)$$

Сопоставление всех данных приведено в таблице 1, на рисунке 1 изображены графики.

Таблица 1. Динамическая вязкость сплава свинец-олово по [16] и по зависимостям (7), (8), (9)

T, К	Молярная доля Рb								
	0			0,3			1		
	$\eta$ [16], мПа·с	$\eta$ (7), мПа·с	$a$	$\eta$ [16], мПа·с	$\eta$ (8), мПа·с	$a$	$\eta$ [16], мПа·с	$\eta$ (9), мПа·с	$a$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_m=456$	–	2,644	2,495	–	3,526	3,150	–	29,149	7,940
460	–	2,575	2,448	–	3,422	3,095	–	25,661	7,737
470	–	2,420	2,336	5	3,193	2,964	–	19,144	7,259
475	–	2,352	2,283	–	3,093	2,901	–	16,746	7,035
480	–	2,290	2,232	3	3,000	2,841	–	14,762	6,820
500	–	2,083	2,042	2,5	2,696	2,617	–	9,544	6,043
505	2,6	2,040	1,998	–	2,634	2,565	–	8,687	5,867
510	2	2,000	1,956	–	2,576	2,515	–	7,950	5,698
520	–	1,928	1,875	–	2,472	2,418	–	6,755	5,379
525	–	1,896	1,836	2,2	2,426	2,372	–	6,269	5,229
540	1,8	1,812	1,727	–	2,304	2,241	–	5,132	4,810
550	–	1,764	1,659	2,2	2,236	2,160	–	4,572	4,555
560	1,7	1,723	1,596	–	2,176	2,083	–	4,123	4,318
575	–	1,669	1,506	2,1	2,100	1,975	–	3,603	3,993
580	1,6	1,654	1,478	–	2,078	1,941	–	3,462	3,891
600	1,6	1,600	1,373	2	2,002	1,813	3	3,011	3,519
612,5	–	1,573	1,313	–	1,963	1,739	2,8	2,800	3,311
620	1,5	1,558	1,278	–	1,943	1,697	–	2,693	3,193
625	–	1,549	1,256	2	1,931	1,670	2,6	2,629	3,118
637,5	–	1,529	1,203	–	1,903	1,605	2,5	2,489	2,940
640	1,5	1,525	1,193	–	1,898	1,592	–	2,464	2,906
650	–	1,512	1,153	2	1,879	1,543	2,4	2,374	2,776
660	1,5	1,500	1,116	–	1,863	1,497	–	2,297	2,653
675	–	1,485	1,063	1,9	1,842	1,430	2,2	2,200	2,482
700	–	1,466	0,982	1,8	1,817	1,329	2,2	2,079	2,228
725	–	1,452	0,909	1,8	1,800	1,239	2	1,996	2,008
750	–	1,444	0,845	–	1,790	1,157	1,9	1,938	1,816
775	–	1,439	0,787	–	1,786	1,083	1,9	1,900	1,648

Коэффициенты нелинейной множественной корреляции следующие:

– по справочным данным [16] и по уравнению (7):  $R = 0,979734$  и его значимость  $t_R = 59,814 \gg 2$ ,

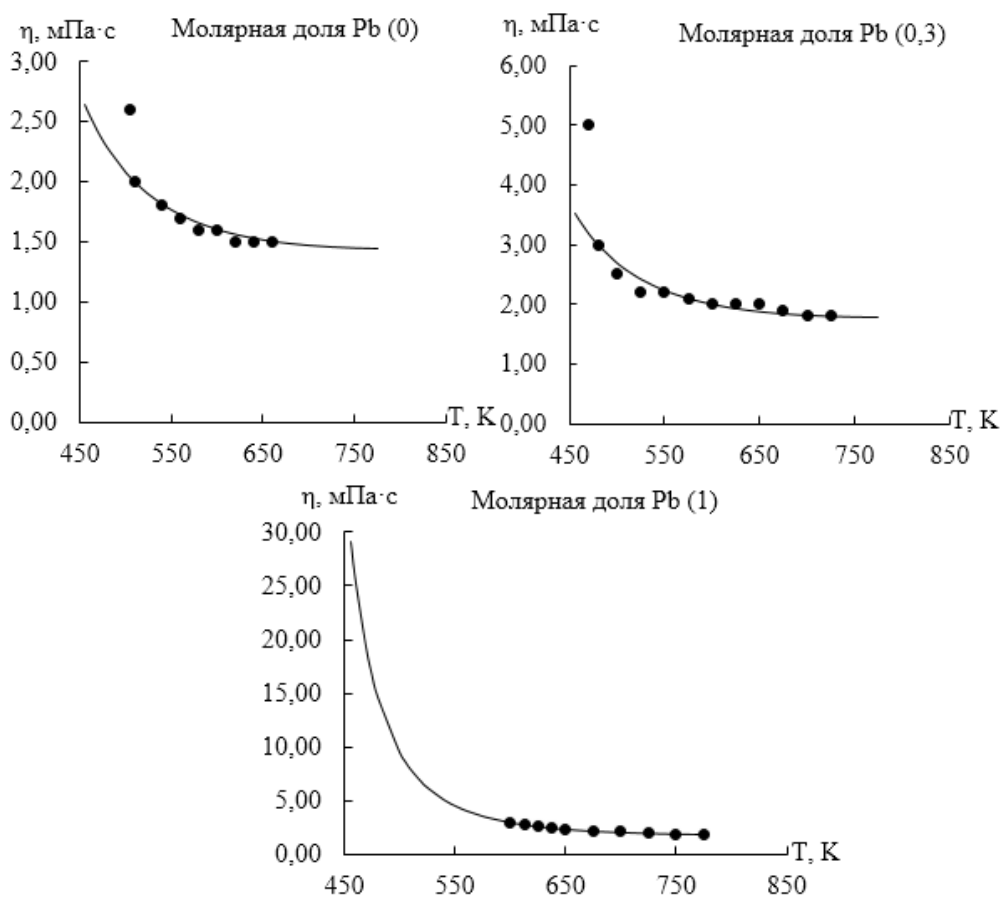
– по справочным данным [16] и по уравнению (8):  $R = 0,758241$  и  $t_R = 5,641 \gg 2$ ,

– по справочным данным [16] и по уравнению (9):  $R = 0,992189$  и его значимость  $t_R = 180,339 \gg 2$ , что указывает на точность и функциональность новых моделей вязкости.

Выберем реперные точки для определения вязкости по Френкелю по модели

$$\eta = 2(\eta_0 e)^{E/RT} \quad (10)$$

$T_1 = 510$  К,  $\eta_1 = 2$  мПа·с,  $T_2 = 660$  К,  $\eta_2 = 1,5$  мПа·с (молярная доля Pb – 0);  $T_1 = 480$  К,  $\eta_1 = 3$  мПа·с,  $T_2 = 725$  К,  $\eta_2 = 1,8$  мПа·с (молярная доля Pb – 0,3);  $T_1 = 612,5$  К,  $\eta_1 = 2,8$  мПа·с,  $T_2 = 775$  К,  $\eta_2 = 1,9$  мПа·с (молярная доля Pb – 1).



Точки – по справочным данным [16], линии – по уравнениям (7), (8), (9)

**Рисунок 1.** Зависимость динамической вязкости сплава свинец-олово от температуры

Температуре 510 К соответствуют координаты  $x_1 = 0,00196$  и  $y_1 = 0,69315$ , а температуре 660 К –  $x_2 = 0,00152$  и  $y_2 = 0,40547$  (молярная доля Pb – 0).

Согласно равенствам

$$\ln \eta_0 = y_1 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x_1 \quad (11)$$

и

$$\frac{E}{R} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (12)$$

находим:

$$\ln \eta_0 = 0,69315 - \frac{0,40547 - 0,69315}{0,00152 - 0,00196} \cdot 0,00196 = -0,57265,$$

$$\eta_0 = e^{-0,57265} = 0,56403 \text{ мПа}\cdot\text{с},$$

$$\frac{E}{R} = \frac{0,40547 - 0,69315}{0,00152 - 0,00196} = 645,559,$$

$$E = 645,559 \cdot 8,31441 = 5367,439 \text{ Дж/моль}.$$

Температуре 480 К соответствуют координаты  $x_1 = 0,00208$  и  $y_1 = 1,09861$ , а температуре 725 К –  $x_2 = 0,00138$  и  $y_2 = 0,58779$  (молярная доля Pb – 0,3).

Согласно равенствам (12) и (13) находим:

$$\ln \eta_0 = 1,09861 - \frac{0,58779 - 1,09861}{0,00138 - 0,00208} \cdot 0,00208 = -0,41301,$$

$$\eta_0 = e^{-0,41301} = 0,66165 \text{ мПа}\cdot\text{с},$$

$$\frac{E}{R} = \frac{0,58779 - 1,09861}{0,00138 - 0,00208} = 725,581,$$

$$E = 725,581 \cdot 8,31441 = 6032,777 \text{ Дж/моль}.$$

Температуре 612,5 К соответствуют координаты  $x_1 = 0,00163$  и  $y_1 = 1,02962$ , а температуре 775 К –  $x_2 = 0,00129$  и  $y_2 = 0,64185$  (молярная доля Pb – 1). Согласно равенствам (11) и (12) находим:

$$\ln \eta_0 = 1,02962 - \frac{0,64185 - 1,02962}{0,00129 - 0,00163} \cdot 0,00163 = -0,81972,$$

$$\eta_0 = e^{-0,81972} = 0,44055 \text{ мПа}\cdot\text{с},$$

$$\frac{E}{R} = \frac{0,64185 - 1,02962}{0,00129 - 0,00163} = 1132,723,$$

$$E = 1132,723 \cdot 8,31441 = 9417,922 \text{ Дж/моль}.$$

Данные по вязкости сплава свинец-олово в логарифмических координатах размещены в таблице 2, а на рисунке 2 изображен график логарифмической зависимости от обратной температуры.

Уравнение Френкеля для сплава свинец-олово выразится так:

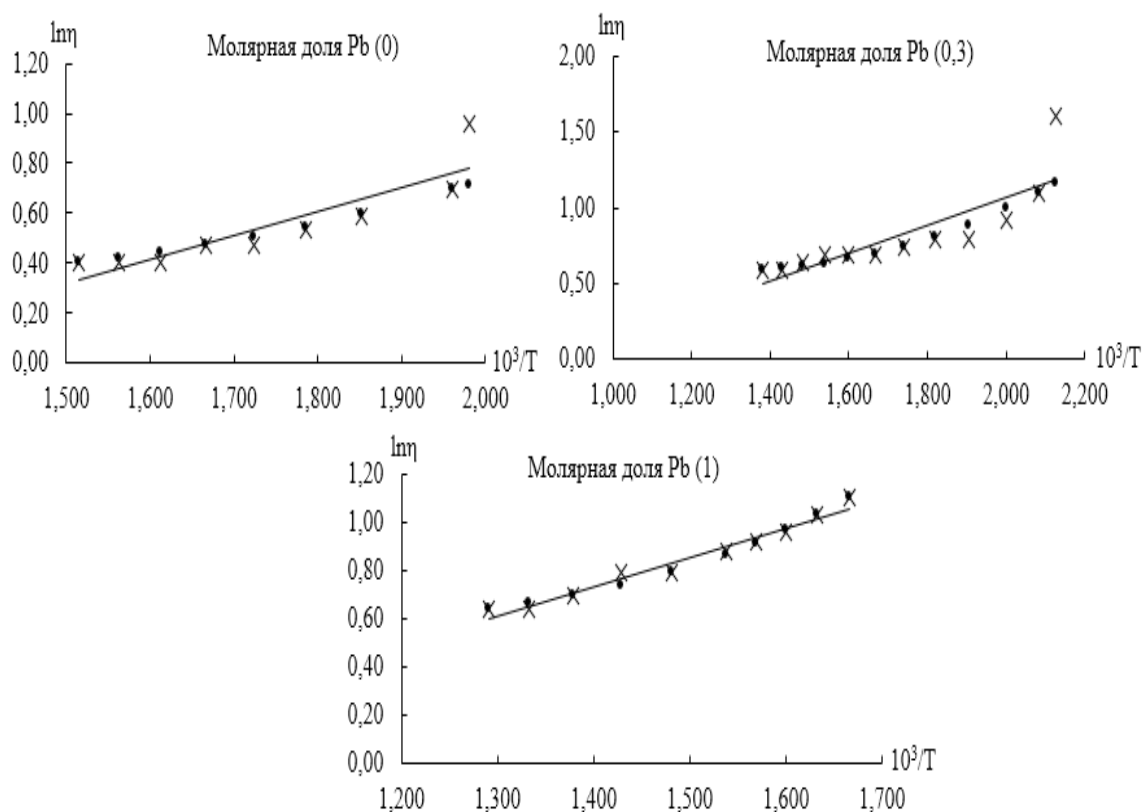
$$\eta = 0,56402 \cdot e^{\frac{5867,489}{RT}}, \text{ мПа}\cdot\text{с}, \quad (13)$$

$$\eta = 0,66165 \cdot e^{\frac{6082,777}{RT}}, \text{ мПа}\cdot\text{с}, \quad (14)$$

$$\eta = 0,44055 \cdot e^{\frac{9417,922}{RT}}, \text{ мПа}\cdot\text{с}. \quad (15)$$

Сопоставление расчетных данных по кластерно-ассоциатным уравнениям (7), (8), (9) и по уравнениям Френкеля (13), (14), (15) приведены в таблице 3.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции:  $R = 0,765591$  и  $t_R = 4,894 \gg 2$  по уравнениям (7) и (13),  $R = 0,694907$  и  $t_R = 4,250 \gg 2$  по уравнениям (8) и (14),  $R = 0,96098041$  и  $t_R = 35,523 \gg 2$  по уравнениям (9) и (15), что указывает на близость и адекватность результатов.



Крестики – по справочным данным [16], точки – по логарифмированным расчетным значениям, линия – аппроксимирующая прямая

**Рисунок 2.** Логарифмическая зависимость вязкости сплава свинец-олово от обратной температуры

Таблица 2. Данные по вязкости сплава свинец-олово в логарифмических координатах

T, K	$10^3/T$	Молярная доля Pb																	
		0						0,3						1					
		$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$	$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$	$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$		
T <sub>m</sub> =456	2,193	-	-	2,644	0,972	-	-	3,526	1,260	-	-	-	-	29,149	3,372				
460	2,174	-	-	2,575	0,946	-	-	3,422	1,230	-	-	-	-	25,661	3,245				
470	2,128	-	-	2,420	0,884	5	1,609	3,193	1,161	-	-	-	-	19,144	2,952				
475	2,105	-	-	2,352	0,855	-	-	3,093	1,129	-	-	-	-	16,746	2,818				
480	2,083	-	-	2,290	0,828	3	1,099	3,000	1,099	-	-	-	-	14,762	2,692				
500	2,000	-	-	2,083	0,734	2,5	0,916	2,696	0,992	-	-	-	-	9,544	2,256				
505	1,980	2,6	0,956	2,040	0,713	-	-	2,634	0,968	-	-	-	-	8,687	2,162				
510	1,961	2	0,693	2,000	0,693	-	-	2,576	0,946	-	-	-	-	7,950	2,073				
520	1,923	-	-	1,928	0,657	-	-	2,472	0,905	-	-	-	-	6,755	1,910				
525	1,905	-	-	1,896	0,640	2,2	0,788	2,426	0,886	-	-	-	-	6,269	1,836				
540	1,852	1,8	0,588	1,812	0,594	-	-	2,304	0,835	-	-	-	-	5,132	1,636				
550	1,818	-	-	1,764	0,568	2,2	0,788	2,236	0,805	-	-	-	-	4,572	1,520				
560	1,786	1,7	0,531	1,723	0,544	-	-	2,176	0,778	-	-	-	-	4,123	1,417				
575	1,739	-	-	1,669	0,512	2,1	0,742	2,100	0,742	-	-	-	-	3,603	1,282				
580	1,724	1,6	0,470	1,654	0,503	-	-	2,078	0,731	-	-	-	-	3,462	1,242				
600	1,667	1,6	0,470	1,600	0,470	2	0,693	2,002	0,694	3	1,099	3,011	1,102	-	-				
612,5	1,633	-	-	1,573	0,453	-	-	1,963	0,675	2,8	1,030	2,800	1,030	-	-				
620	1,613	1,5	0,405	1,558	0,443	-	-	1,943	0,664	-	-	-	-	2,693	0,991				
625	1,600	-	-	1,549	0,438	2	0,693	1,931	0,658	2,6	0,956	2,629	0,967	-	-				
637,5	1,569	-	-	1,529	0,425	-	-	1,903	0,643	2,5	0,916	2,489	0,912	-	-				
640	1,563	1,5	0,405	1,525	0,422	-	-	1,898	0,641	-	-	-	-	2,464	0,902				
650	1,538	-	-	1,512	0,413	2	0,693	1,879	0,631	2,4	0,875	2,374	0,865	-	-				

Продолжение таблицы 2

T, К	10 <sup>3</sup> Г	Молярная доля Pb											
		0				0,3				1			
		$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$	$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$	$\eta$ [16], мПа·с	$\ln \eta$ [16]	$\eta$ , мПа·с	$\ln \eta$
660	1,515	-	1,500	0,405	-	-	1,863	0,622	-	-	-	2,297	0,831
675	1,481	-	1,485	0,395	1,9	0,642	1,842	0,611	2,2	0,788	2,200	0,788	
700	1,429	-	1,466	0,382	1,8	0,588	1,817	0,597	2,2	0,788	2,079	0,732	
725	1,379	-	1,452	0,373	1,8	0,588	1,800	0,588	2	0,693	1,996	0,691	
750	1,333	-	1,444	0,367	-	-	1,790	0,582	1,9	0,642	1,938	0,662	
775	1,290	-	1,439	0,364	-	-	1,786	0,580	1,9	0,642	1,900	0,642	

Таблица 3. Динамическая вязкость сплава свинец-олово по кластерно-ассоциатным уравнениям (7), (8), (9) и по уравнениям Френкеля (13), (14), (15)

Т, К	Молярная доля Рb								
	0			0,3			1		
	$\eta$ [16], МПа·с	$\eta$ (7), МПа·с	$\eta$ (13), МПа·с	$\eta$ [16], МПа·с	$\eta$ (8), МПа·с	$\eta$ (14), МПа·с	$\eta$ [16], МПа·с	$\eta$ (9), МПа·с	$\eta$ (15), МПа·с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_m=456$	–	2,644	2,323	–	3,526	3,248	–	29,149	5,282
460	–	2,575	2,295	–	3,422	3,204	–	25,661	5,169
470	–	2,420	2,227	5	3,193	3,098	–	19,144	4,905
475	–	2,352	2,196	–	3,093	3,048	–	16,746	4,782
480	–	2,290	2,165	3	3,000	3,000	–	14,762	4,665
500	–	2,083	2,051	2,5	2,696	2,824	–	9,544	4,245
505	2,6	2,040	2,025	–	2,634	2,784	–	8,687	4,151
510	2	2,000	2,000	–	2,576	2,745	–	7,950	4,060
520	–	1,928	1,952	–	2,472	2,671	–	6,755	3,891
525	–	1,896	1,929	2,2	2,426	2,635	–	6,269	3,811
540	1,8	1,812	1,864	–	2,304	2,536	–	5,132	3,589
550	–	1,764	1,824	2,2	2,236	2,475	–	4,572	3,455
560	1,7	1,723	1,786	–	2,176	2,417	–	4,123	3,330
575	–	1,669	1,733	2,1	2,100	2,337	–	3,603	3,159
580	1,6	1,654	1,717	–	2,078	2,312	–	3,462	3,106
600	1,6	1,600	1,654	2	2,002	2,217	3	3,011	2,910
612,5	–	1,573	1,618	–	1,963	2,163	2,8	2,800	2,800
620	1,5	1,558	1,598	–	1,943	2,132	–	2,693	2,738
625	–	1,549	1,584	2	1,931	2,113	2,6	2,629	2,698
637,5	–	1,529	1,553	–	1,903	2,065	2,5	2,489	2,604
640	1,5	1,525	1,547	–	1,898	2,056	–	2,464	2,586
650	–	1,512	1,523	2	1,879	2,020	2,4	2,374	2,517
660	1,5	1,500	1,500	–	1,863	1,986	–	2,297	2,451
675	–	1,485	1,468	1,9	1,842	1,939	2,2	2,200	2,359
700	–	1,466	1,418	1,8	1,817	1,866	2,2	2,079	2,222
725	–	1,452	1,374	1,8	1,800	1,800	2	1,996	2,102
750	–	1,444	1,334	–	1,790	1,741	1,9	1,938	1,995
775	–	1,439	1,297	–	1,786	1,687	1,9	1,900	1,900

**Заключение.** На основе кластерно-ассоциатной модели вязкого течения жидкости построена модель вязкости для сплава свинец-олово. Установлена высокая адекватность предложенной кластерно-ассоциатной модели динамической вязкости сплава свинец-олово по имеющимся справочным данным.

Одна из важнейших характеристик кластерно-ассоциатной модели – степень ассоциации кластеров – закономерно понижается по мере повышения температуры, соответствуя динамике разрушения ассоциатов.

Показана взаимосвязь кластерно-ассоциатной модели с моделью вязкости Френкеля-Андрате. При температурах 470 К и 505 К для сплава свинец-олово – с молярными долями свинца – 0 и 0,3 – наблюдается сильное расхождение между справочными и расчетными

данными. А при молярной доле свинца – 1 по расчетным данным прослеживаются высокие значения вязкости при низких значениях температуры. Несмотря на вышеописанные нюансы, выведенные модели вязкости сплава функциональны, что подтверждается данными коэффициентов корреляции.

Предложенная модель вязкости способна описывать весь диапазон жидкого состояния вещества, что подтверждается проведенными исследованиями. Это позволяет надежно экстраполировать предлагаемую зависимость как в сторону высоких, так и низких температур, соответственно в область критической точки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Schmidt P., Schafer R., *Methods in Physical Chemistry* // John Wiley & Sons Limited, Manchester. – 2017. – P. 370.
- [2] Atkins P.W., Julio de Paula, *Elements of Physical Chemistry* // W.H. Freeman and Company, Oxford. – 2016. – P. 656.
- [3] Yazachev T., *Physical Chemistry* // Academic Publishing (Germany), Lambert. – 2014. – P. 148.
- [4] Monk Paul M.S., *Physical chemistry: understanding our chemical world* // John Wiley & Sons Ltd, Manchester Metropolitan University, UK, Manchester. – 2004. – P. 619.
- [5] Rogers D.W., *Concise Physical Chemistry* // John Wiley & Sons, Inc. (Canada), Brooklyn. – 2013. – P. 405.
- [6] Sinitsin N.I., Chikova O.A., V'yukhin V.V. Surface tension and density of Fe-Mn melts [Поверхностное натяжение и плотность расплавов Fe-Mn] // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2020. – 63(1). – P. 40-46.
- [7] Efremov A.M., Murin D.B., Kwon K.H. Plasma parameters, densities of active species and etching kinetics in  $C_4F_8 + Ar$  GAS mixture // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. – 2019. – 62(2). – P. 31-37.
- [8] Shmeliova D.V., Pozhidaev E.P., Kharlamov S.S., Barbashov V.A., Chigrinov V.G. Capillary flow and shear viscosity of ferroelectric liquid crystal // *Zhidkie Kristally i Ikh Prakticheskoe Ispol'zovanie*. – 2018. – 18(4). – P. 88-94.
- [9] Shmeliova D.V., Pasechnik S.V., Kharlamov S.S., Barbashov V.A., Tkachenko T.P. Capillary flows of nematic liquid crystal // *Crystals*. – 2020. – 10(11), 1029. – P. 1-16.
- [10] Loskutov V.V. Viscosity of mono-, di- and triethylene glycol aqueous solutions at 298.15 K // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. – 2019. – 62(6). – P. 41-46.
- [11] Kirsanov E.A., Timoshin Y.N. Non-newtonian flow of structured systems. XXVII. Viscosity and elasticity of polyisobutylene solution // *Zhidkie Kristally i Ikh Prakticheskoe Ispol'zovanie*. – 2018. – 18(4). – P. 66-77.
- [12] Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукожаева (Макашева) А.М. Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М.: Научный мир, 2012. – 288 с. [Malyshev V.P., Bekturganov N.S., Turdukozhaeva (Makasheva) A.M. Vyazkost, tekuchest i plotnost veschestv kak mera ih haotizatsii – М.: Nauchnyi mir, 2012. – 288 s.]
- [13] Малышев В.П., Макашева А.М. Вязкость и текучесть расплавов в аспекте их хаотизации (неорганические соединения и сплавы). – Lambert: Academic Publishing (Germany), 2020. – 153 с. [Malyshev V.P., Makasheva A.M. Vyazkost i tekuchest rasplavov v aspekte ih haotizatsii (neorganicheskie soedineniya i splavy). – Lambert: Academic Publishing (Germany), 2020. – 153 s.]
- [14] Malyshev V.P., Makasheva A.M. Relationship between the cluster theory of liquids and the Frenkel-Andrade viscosity model // *Russian Chemical Bulletin*. – 2020. – Vol. 69. – P. 1296-1305.
- [15] Makasheva A.M., Malyshev V.P. Cluster-Associate Model for the Viscosity of Sodium Fluoride in Comparison with the Frenkel Model // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2021. – Vol. 2021, № 2. – P. 176-180.
- [16] Бабичев А.П. и др. Физические величины: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. [Babichev A.P. i dr. Fizicheskie velichiny: Spravochnik. – М.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 s.]
- [17] Романцев В.А., Юзов О.В. и др. Metallургический комплекс стран СНГ, экономический аспект. – М.: МИСИС, 2003. – 208 с. [Romantsev V.A., Yuzov O.V. i dr. Metallurgicheskiy kompleks stran SNG, ekonomicheskiy aspekt. – М.: MISIS, 2003. – 208 s.]



[18] Тарасов А.В., Бессер А.Д., Мальцев В.И., Сорокина В.С. *Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья*. – М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с. [Tarasov A.V., Besser A.D., Maltsev V.I., Sorokina V.S. *Metallurgicheskaya pererabotka vtorichnogo svintsovogo syrya*. – М.: Gintsvetmet, 2003. – 224 s.]

[19] Лякишев Н.П. *Диаграммы состояния двойных металлических систем*. Справочник, т.1. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с. [Lyakishev N.P. *Diagrammyi sostoyaniya dvoynyih metallicheskih sistem*. Spravochnik, t.1. – М.: Mashinostroenie, 1996. – 992 s.]

#### REFERENCES

[1] Schmidt P., Schafer R., *Methods in Physical Chemistry* // John Wiley & Sons Limited, Manchester. – 2017. – P. 370.

[2] Atkins P.W., Julio de Paula, *Elements of Physical Chemistry* // W.H. Freeman and Company, Oxford. – 2016. – P. 656.

[3] Yazachev T., *Physical Chemistry* // Academic Publishing (Germany), Lambert. – 2014. – P. 148.

[4] Monk Paul M.S., *Physical chemistry: understanding our chemical world* // John Wiley & Sons Ltd, Manchester Metropolitan University, UK, Manchester. – 2004. – P. 619.

[5] Rogers D.W., *Concise Physical Chemistry* // John Wiley & Sons, Inc. (Canada), Brooklyn. – 2013. – P. 405.

[6] Sinitsin N.I., Chikova O.A., V'yukhin V.V. Surface tension and density of Fe-Mn melts [Поверхностное натяжение и плотность расплавов Fe-Mn] // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2020. – 63(1). – P. 40-46.

[7] Efremov A.M., Murin D.B., Kwon K.H. Plasma parameters, densities of active species and etching kinetics in  $C_4F_8 + Ar$  GAS mixture // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. – 2019. – 62(2). – P. 31-37.

[8] Shmeliova D.V., Pozhidaev E.P., Kharlamov S.S., Barbashov V.A., Chigrinov V.G. Capillary flow and shear viscosity of ferroelectric liquid crystal // *Zhidkie Kristally i Ikh Prakticheskoe Ispol'zovanie*. – 2018. – 18(4). – P. 88-94.

[9] Shmeliova D.V., Pasechnik S.V., Kharlamov S.S., Barbashov V.A., Tkachenko T.P. Capillary flows of nematic liquid crystal // *Crystals*. – 2020. – 10(11), 1029. – P. 1-16.

[10] Loskutov V.V. Viscosity of mono-, di- and triethylene glycol aqueous solutions at 298.15 K // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. – 2019. – 62(6). – P. 41-46.

[11] Kirsanov E.A., Timoshin Y.N. Non-newtonian flow of structured systems. XXVII. Viscosity and elasticity of polyisobutylene solution // *Zhidkie Kristally i Ikh Prakticheskoe Ispol'zovanie*. – 2018. – 18(4). – P. 66-77.

[12] Malyshev V.P., Bekturganov N.S., Turdukozhayeva (Makasheva) A.M. *Vyazkost, tekuchest i plotnost veschestv kak mera ih haotizatsii* – М.: Nauchnyy mir, 2012. – 288 s.

[13] Malyshev V.P., Makasheva A.M. *Vyazkost i tekuchest rasplavov v aspekte ih haotizatsii (neorganicheskie soedineniya i splavy)*. – Lambert: Academic Publishing (Germany), 2020. – 153 s.

[14] Malyshev V.P., Makasheva A.M. Relationship between the cluster theory of liquids and the Frenkel-Andrade viscosity model // *Russian Chemical Bulletin*. – 2020. – Vol. 69. – P. 1296-1305.

[15] Makasheva A.M., Malyshev V.P. Cluster-Associate Model for the Viscosity of Sodium Fluoride in Comparison with the Frenkel Model // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2021. – Vol. 2021, № 2. – P. 176-180.

[16] Babichev A.P. i dr. *Fizicheskie velichiny: Spravochnik*. – М.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 s.

[17] Romantsev V.A., Yuzov O.V. i dr. *Metallurgicheskii kompleks stran SNG, ekonomicheskii aspekt*. – М.: MISIS, 2003. – 208 s.

[18] Тарасов А.В., Бессер А.Д., Мальцев В.И., Сорокина В.С. *Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья*. – М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с.

[19] Лякишев Н.П. *Диаграммы состояния двойных металлических систем*. Справочник, т.1. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.

А.М. Макашева, Л.А. Бекбаева\*

Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail: lyazzat.bekbaeva@mail.ru

### ФРЕНКЕЛЬ-АНДРАДЕ МОДЕЛІМЕН САЛЫСТЫРҒАНДАҒЫ ҚОРҒАСЫН-ҚАЛАЙЫ ҚОРЫТПАСЫ ТҰТҚЫРЛЫҒЫНЫҢ КЛАСТЕРЛІ-АССОЦИАТТЫҚ МОДЕЛІ

**Андатпа.** Мақала ретсіз бөлшектер тұжырымдамасына және оның Френкель-Андрате тұтқырлық моделімен байланысына негізделген қорғасын-қалайы қорытпасының динамикалық тұтқырлығының жалпыланған кластерлі-ассоциаттық моделін жасауға арналған.

Практикалық маңыздылықтан басқа, бейорганикалық қосылыстардың балқымаларының тұтқырлығын зерттеу үлкен ғылыми қызығушылық тудырады, өйткені тұтқырлық - бұл молекулааралық өзара әрекеттесу күштері мен сұйықтықтардағы молекулалық тасымалдау процестерінің механизмі туралы түсінік беретін заттың ең құрылымдық-сезімтал сипаттамасы. Осы саладағы білімнің жинақталуы сұйық күй теориясына қатысты көптеген мәселелерді шешуге мүмкіндік береді.

Бейорганикалық қосылыстар балқымаларының тұтқырлығы бойынша эксперименттік материал айтарлықтай шектеулі, бұл тиісті зерттеулер жүргізумен байланысты елеулі қиындықтармен түсіндіріледі. Сондықтан тұтқырлықты зерттеу үшін сұйықтық теориясымен байланысты көптеген мәселелерді шешуге едәуір жақындататын кластерлі-ассоциаттық модельді қолдану ұсынылады. Френкель-Андрате тұтқырлық моделі аққыштықтың активтену энергиясын бағалауға мүмкіндік береді. Есептеулер көрсеткендей, бұл энергияны кластерлі-ассоциаттық модель аясында алынған кластерлер қауымдастығының дәрежесімен салыстырған кезде өте тығыз сызықтық корреляция байқалады. Бұл жағдайда пропорционалдылық коэффициенті бір кластерге келетін активтендіру энергиясының мағынасына ие. Бұл энергия сұйықтықтағы бөлшектердің өзара әрекеттесуіне тән қанықпаған молекулааралық байланыстың ван-дер-вааль энергиясынан асып кетпейді.

**Негізгі сөздер:** ретсіз бөлшектер тұжырымдамасы, Больцманнның таралуы, динамикалық тұтқырлық, қорғасын-қалайы қорытпасы, кластер, ассоциат.

A.M. Makasheva, L.A. Bekbayeva\*

Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

\*e-mail: lyazzat.bekbaeva@mail.ru

### CLUSTER-ASSOCIATED MODEL OF THE VISCOSITY OF THE LEAD-TIN ALLOY IN COMPARISON WITH THE FRENKEL-ANDRADE MODEL

**Abstract.** The article is devoted to the development of a generalized cluster-associated model of the dynamic viscosity of a lead-tin alloy based on the concept of chaotic particles and its relationship with the Frenkel-Andrade viscosity model.

In addition to its practical importance, the study of the viscosity of melts of inorganic compounds is also of great scientific interest, since viscosity is the most structurally sensitive characteristic of a substance, which gives an idea of the forces of intermolecular interaction and the mechanism of molecular transport processes in liquids. The accumulation of knowledge in this field allows us to solve many questions related to the theory of the liquid state.

The experimental data on the viscosity of melts of inorganic compounds is rather limited, which is explained by the serious difficulties associated with conducting relevant studies. Therefore, it is proposed to use a cluster-associated model for the study of viscosity, which significantly approaches the solution of many problems related to the theory of fluid. The Frenkel-Andrade viscosity model allows us to estimate the yield activation energy. Calculations show that when comparing this energy with the degree of cluster association obtained in the framework of the cluster-association model, a fairly close linear correlation is observed. In this case, the proportionality coefficient makes sense of the activation energy per cluster. This energy does not go beyond the van der Waals energy of the unsaturated intermolecular bond characteristic of the interaction of particles in a liquid.

**Keywords:** concept of randomized particles, Boltzmann distribution, dynamic viscosity, lead-tin alloy, cluster, associate.

**G.M. Ibrayeva\***, **B.M. Sukurov**

Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: gm.ibrayeva@gmail.com

## PECULIARITIES OF MICROSTRUCTURE OF REACTIVE DIFFUSION ZONE IN Al-Co SYSTEM

**Abstract.** Microstructure and element composition of sample having the multilayer reactive diffusion zone (RDZ) in Al-Co system obtained by means of contact smelting at 1375 °C for 1 hour were studied in cross-section by means of scanning electron microscopy and electron probe microanalysis (SEM-EPMA). In the multilayer RDZ the following intermetallic compounds  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$ ,  $\beta' + (\alpha\text{Co})$ , as well as solid solution of  $\text{CoAl}$  in  $(\alpha\text{Co})$  were identified using the spot energy-dispersion analysis (EDS). Using the methods of linear EDS and wave-dispersion (WDS) analyses the profiles of element concentrations were obtained. These concentration profiles indicate that  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$  and  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  are able to form solid solutions in each other. Microstructural peculiarities of RDZ forming in the layers  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$  and  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  can simulate the actual structural pattern of Al-Co alloys (as-cast).

**Keywords:** intermetallics, diffusion, joining, microstructure, interfaces, scanning, electron microscopy

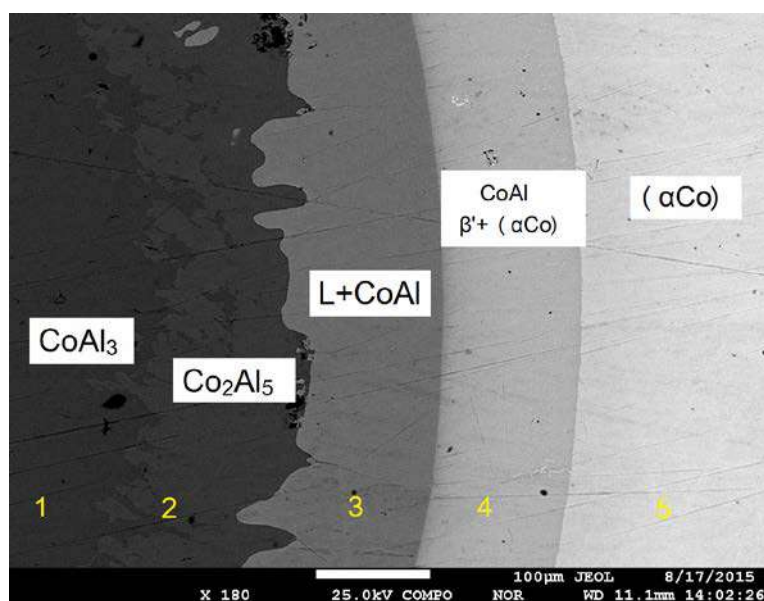
**Introduction.** The behaviour of microstructure in the multilayer reactive diffusion zone (RDZ) forming in binary metal systems assists to disclose interaction between the intermetallic compounds at different thermodynamic conditions. The general idea for contact smelting for binary metal system (or diffusion couples technique) is based on expectations of appearance of all compounds existing in the corresponding equilibrium diagram in the same sequence at the given temperature. The term “reactive diffusion zone“ logically joints two separate meanings “diffusion zone” and “reaction zone“ because diffusion transmission of atoms and phase transformation resulting to the certain phase composition can occur not only due to physical processes, but due to chemical processes too [1][2][3][4]. In the most of binary and more complex metal systems the diffusion is accompanied not only by the formation of unlimited solid solutions based on main components in sample, but also by the formation of phases including the mixtures of solid solutions existing in limited range of concentrations and intermetallic phases [3]. For these cases the special opportunities can be appeared in evaluation of fragments of diagrams through measuring of component concentrations in each layer.

The change of these concentrations along the cross-section of sample of binary system can clarify the RDZ fine structure where intermetallic compounds are clearly observed in form of layers. It is obviously that concentration jumps between layers should correspond to the interfaces of single-phase areas according to equilibrium diagram. To obtain the data on element concentrations along to RDZ cross-section it will be reasonably to apply the spot microprobe analysis to observed intermetallic compounds. It is typical that atomic per cent of registered elements are undoubtedly recognized as fractions of phase components of compounds. The linear profiles of element concentrations for binary systems in the standard model of reactive diffusion were considered in [2] [3].

**Experimental procedure.** The Al-Co system has been selected since its compounds nowadays represent the serious practical interest [5]. The technique of contact smelting was used to obtain RDZ cross-section in Al-Co system [6] [7]. The samples were obtained at temperature 1375 °C for 1 hour. High purity aluminium (99.99 % Al) and cobalt (99.98 % Co) were used as initial materials. For sample preparation Secotom-50 and Tegramin (STRUERS) were used. Microstructural studies were performed using the electron probe microanalyzer JXA-8230 (JEOL) equipped with energy-dispersion spectrometer (EDS) and wave-dispersion spectrometer (WDS) controlled by EPMA software. To reduce dispersion of values for spot EDS-analysis the areas having the uniform contrast in backscattered electron image were selected. At these conditions the

statistical error in the measurements of component concentrations was not higher  $\pm 0.05\%$ . Electron probe current was selected in range 4-5.3 nA to keep the dead time not higher than 15% for EDS-analysis, and did not exceed 10 nA for WDS linear analysis.

**Results and discussion.** In contact area of components of Al-Co system the multilayer RDZ is formed. According to equilibrium diagram the formed layers are the possible products of peritectic reactions. The details of cross-section sequence of phase formation in the Al-Co system for different temperatures are described in [7]. The resulted intermetallic compounds were identified through the spot measurements using EDS-analysis and comparison the concentrations of their components with reference values. The following intermetallic compounds having constant compositions were found:  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$ ,  $\beta' + (\alpha\text{Co})$ , and solid solution  $\text{CoAl}$  in  $(\alpha\text{Co})$ . The example of this microstructure with the layers having the different contrast in mode of backscattered electrons is shown in Fig. 1.



**Fig. 1.** Multilayer microstructure of RDZ in Al-Co smelted couple

The concentration ranges of RDZ layers are shown in Table 1.

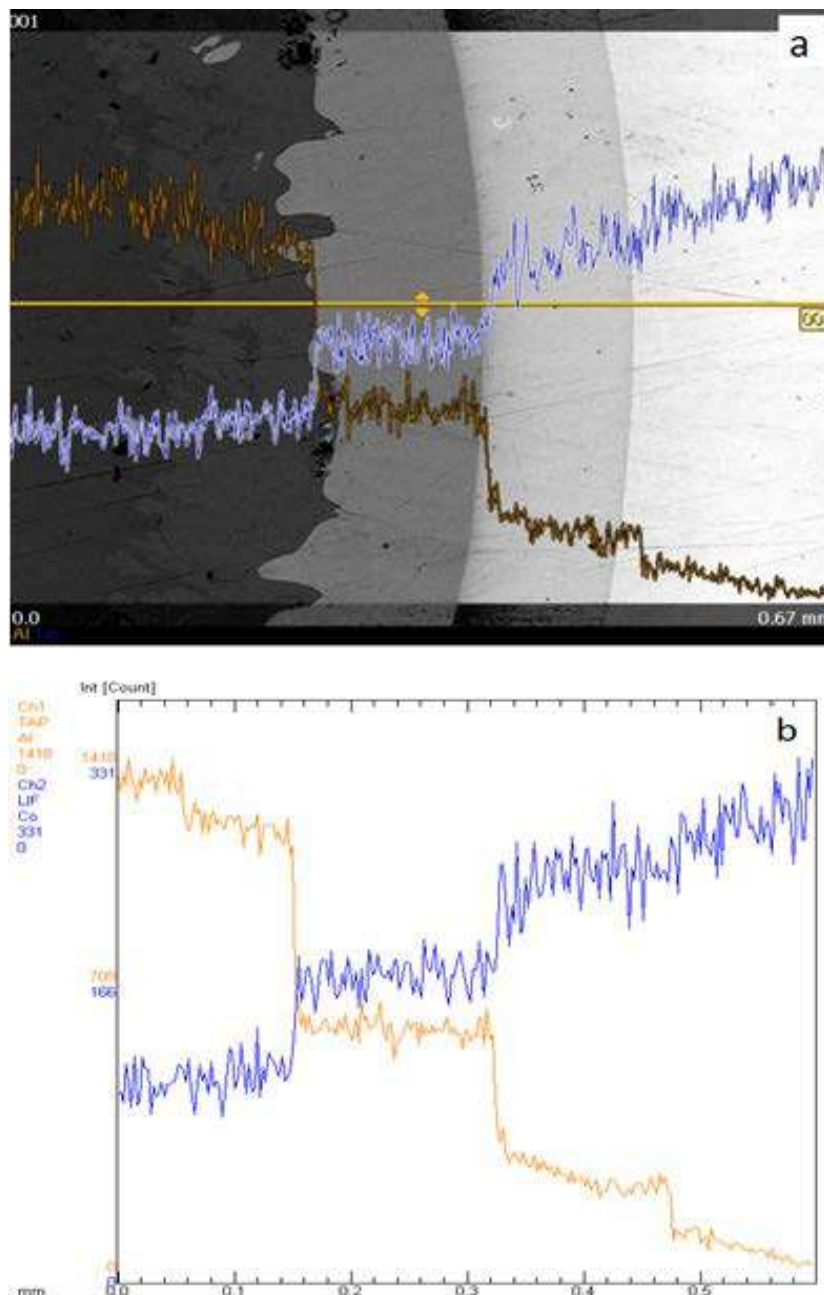
**Table 1. The concentration compositions and corresponding phases**

Layer in RDZ	Experimental at.% Co	A.J. McAlister [8], at.% Co	Compound	Temperature range, °C [8] [9]
1	25.50-29.18	25.6	$\text{CoAl}_3$	1135-200
2	28.72-31.86	28.6	$\text{Co}_2\text{Al}_5$	1180-200
3	35.76-51.79	~48-78,5	L+CoAl	1170-1135
4	57.38-78.83	78.5-84.4	CoAl $\beta' + (\alpha\text{Co})$	1375-1180
5	77.39-97.39	84-100	$\alpha\text{Co}$	1640-1400

Different stoichiometric proportions of concentrations from  $\text{CoAl}$  to  $\text{CoAl}_3$  are consistent with the data taken from equilibrium diagram [9] [10]. Cobalt concentration of Layer #4 can be considered as an example of such identification. Since its range was about 78.5-84.4 at.% Co it is undoubtedly corresponds the solid solution  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  at temperature 1400°C according to updated data [10]. Another peculiarity of this microstructure is that “pure” Al area was not detected. It

means that all aluminium has been reacted to the extent that even there wasn't a solid solution Co/Al. The next worthwhile structural peculiarity of Al-Co binary system in cross section is that the contacts between the layers  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ , and  $\text{CoAl}$  simulate the real structural pattern observed in Al-30.5Co alloy in "as-cast" condition [10, Fig.2 c]. In particular in this above-mentioned work no direct contacts were observed between  $\text{CoAl}_3$  and  $\text{CoAl}$  phases; in our experiment between these layers obtained by means of contact smelting do not have direct contacts too.

Application of linear microanalyses to the same area permitted to reveal some features of component concentration profiles. Their changes occur not only in form of "jumps" at interfaces between layers, but also in form smooth and monotonic raising or decreasing within each layer. Figure 2 shows how the EDS and WDS linear concentration profiles for the same layers of system Al-Co coincide in every detail at their "sharp" and "smooth" fragments.



**Fig. 2.** Concentration profiles of Co (blue) and Al (yellow) in multilayer RDZ (a) EDS (b) WDS

The similar behaviour of concentration profile was observed in very thin contact formed in Al-Ni system [11] (Fig.5). It is very important to know the discrepancies from stoichiometric composition, e.g. in case Al-Ni system there was established the direct relation between them and mechanical properties [4].

Comparison of Table 1 and Figure 2 demonstrates that small raise of Co concentration at layer  $\text{CoAl}_3$  results to appearance of  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ . One can note that for this area the slope of the concentration profile is insignificant since the difference is about 2-3 at.% only. The similar behaviour is observed on transition of  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  to solid solution, but here the slope of concentration profile is more sharp compared to previous fragment. For binary systems it can be attributed to ability to create solid solutions up to threshold concentrations. On the interfaces between compounds  $\text{CoAl}$  and  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  and between  $\text{Co}_2\text{Al}_5$  and  $\text{CoAl}$  one can observe concentration profiles having other slopes. These experimental results can be treated that above-mentioned compounds  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$ , and  $\beta' + (\alpha\text{Co})$  create solid solution in each other.

From above-mentioned observations it is clearly seen that concentration composition of each layer corresponds to certain phase and varies in the limits of concentrations of well-known phases. Therefore the slow cooling of sample from 1375 °C resulted to RDZ having 5 layers. The first Layer (nearly invisible) corresponds to concentration composition of  $\text{CoAl}_3$ . According to [8] during the cooling from higher temperatures to 1090°C it is formed at concentrations up to 25.6 at.% Co. The interface between the first and second Layers has formed as festoons. The concentration composition of the second Layer corresponds to  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ . The interface between the second and third Layers keeps its form as festoons. The third Layer having pronounced contrast and interfaces corresponds to concentration of mixture  $\text{Co}_2\text{Al}_5 + \text{CoAl}$ . Interfaces are observed as the smooth curves. The fourth and fifth Layers have the common matrix ( $\alpha\text{Co}$ ), moreover in the fourth Layer it is diluted with compound  $\text{CoAl}$  having the corresponding Co concentration. Thus it is solid solution on the base of  $\text{CoAl}$  in ( $\alpha\text{Co}$ ), which has different designations  $\xi$  or  $\beta'$  in different sources.

In our experiment the following phases described in equilibrium diagram [9] were not observed:

$\text{Co}_2\text{Al}_9$  — 18.1 at.% Co, 970°C, and

$\text{Co}_4\text{Al}_{13}$  — 23.5 at.% Co, 1093°C.

It may be related to their suppression by adjacent compounds in this geometry, i.e. these stoichiometric compositions became unachievable ones. In our case due to high temperature and short period of exposure the non-equilibrium conditions for formation of these compounds were obviously occurred. The main idea is that non-equilibrium conditions can result to local deviations from stoichiometric compositions.

**Conclusion.** The multilayer microstructure of RDZ obtained in binary Al-Co system due to contact smelting and thermal exposure at 1375°C for 1 hour has been studied by means of SEM-EPMA methods. The layers of intermetallic compounds and solid solutions were identified on the base of comparison of experimental results with referral ones as follows  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$ , and  $\beta' + (\alpha\text{Co})$ . From the behaviour of component concentration profiles in cross-section there was established that above-mentioned intermetallic compounds create solid solutions in each other. The structural peculiarities of RDZ in binary Al-Co system can partially simulate the real structural pattern of Al-30.5Co alloy in “as-cast” condition.

This work has been implemented in the framework of Governmental Order of Kazakhstan on Program “Grant Funding of Scientific Research (Grant № 203/1 №1196/GF4) “Creation of the fundamentals of the technology for the production of high-strength and heat-resistant intermetallic superalloys based on aluminides by powder metallurgy (2015-2017)”

**Acknowledgments.** Authors express their acknowledgments to Prof. Valery N. Volodin, Doctor Physical-Mathematical Sciences and Doctor of Technical Sciences, and Aleksander V. Panichkin, Candidate of Technical Sciences, from Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University (Kazakhstan, Almaty) for valuable comments and notes.

## REFERENCES

- [1] Sauthoff G. *Intermetallics* // Weinheim. New York. Basel. Cambridge. Tokyo. VCH. 1995. – P.423 [https://doi.org/10.1002/14356007.e14\\_e01.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.e14_e01.pub2)
- [2] Kodentsov A.A., Bastin G.F., Van Loo F.J.J. The diffusion couple technique in phase diagram determination. *J. Alloys and Compounds*. 2001; 2; 207–217; [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(00\)011487-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(00)011487-0)
- [3] Gusak A., Storozhuk N. Diffusion-Controlled Phase Transformations in Open Systems. *Handbook of Solid State Diffusion*, 2017; 2, 37–100. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804548-0.00002-5>
- [4] Oskay C., Rudolphi M., Affeldt E.E., Schütze M., Galetz M.C. Evolution of microstructure and mechanical properties of NiAl-Diffusion coatings after thermocyclic exposure. *Intermetallics*. 2017; 89; 22–31; <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2017.05.012>
- [5] Lekatou A., Sfikas A. K., Petsa C., Karantzalis A.E. Al-Co Alloys Prepared by Vacuum Arc Melting: Correlating Microstructure Evolution and Aqueous Corrosion Behavior with Co Content. *Metals*. 2016; 6; 46; <https://doi.org/10.3390/met6030046>
- [6] Kodentsov A., Paul A. Diffusion Couple Technique: A Research Tool in Materials Science. *Handbook of Solid State Diffusion*, 2017; 2; 207–275. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804548-0.00006-2>
- [7] Ibraeva G. M., Sukurov B.M., Aubakirova R. K., Mansurov Yu. N. Multilayer structure formed in diffusion zone of Al-Co and Al-Ni system, *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2018; 3; 57-63.
- [8] McAlister A.J., The Al-Co (Aluminum-Cobalt) System. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1989; 10; 6; 646- 650; <https://doi.org/10.1007/BF02877635>
- [9] Predel B., Madelung O. *Springer Materials Al-Co (Aluminum-Cobalt) Landolt-Börnstein - Group IV Physical Chemistry 5A (Ac-Au – Au-Zr)* 1991; [http://materials.springer.com/lb/docs/sm\\_lbs\\_978-3-540-39444-0\\_97](http://materials.springer.com/lb/docs/sm_lbs_978-3-540-39444-0_97) 10.1007/10000866\_97
- [10] Stein F., He C., Dupin N. Melting behaviour and homogeneity range of B2 CoAl and updated thermodynamic description of the Al-Co system. *Intermetallics*. 2013; 39; 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2013.03.011>
- [11] Krasnowski M., Gierlotka S., Kulik T. Nanocrystalline matrix Al<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>-Al-Al<sub>3</sub>Ni composites produced by reactive hot-pressing of milled powders. *Intermetallics*. 2014; 54; 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2014.06.012>

**Г.М. Ибраева\*, Б.М. Сукуров**

Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*e-mail: gm.ibrayeva@gmail.com

## ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ЗОНЫ РЕАКЦИИ И ДИФФУЗИИ В СИСТЕМЕ Al-Co

**Аннотация.** Микроструктура и элементный состав образца, имеющего многослойную зону в реакционной диффузии (РДЗ) в системе Al-Co, полученного контактным плавлением при 1375 °С в течение 1 часа, исследовали в поперечном сечении методами растровой электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа (РЭМ-РСМА). В многослойной РДЗ с помощью точечного энергодисперсионного анализа (EDS) были идентифицированы следующие интерметаллиды CoAl<sub>3</sub>, Co<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, CoAl, β '+ (αCo), а также твердый раствор CoAl в (αCo). С помощью методов линейного EDS и волнового дисперсионного анализа (WDS) были получены профили концентраций элементов. Эти профили концентрации показывают, что CoAl<sub>3</sub>, Co<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, CoAl и β '+ (αCo) способны образовывать твердые растворы друг в друге. Микроструктурные особенности образования РДЗ в слоях CoAl<sub>3</sub>, Co<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, CoAl и β '+ (αCo) могут моделировать реальный структурный рисунок сплавов Al-Co (в литом состоянии).

**Ключевые слова:** интерметаллиды, диффузия, металлические соединения, микроструктура, интерфейсы, сканирующая электронная микроскопия.

Г.М. Ибраева\*, Б.М. Сукуров

Металлургия және кен байыту институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: gm.ibrayeva@gmail.com

### Al-Co ЖҮЙЕСІНДЕГІ РЕАКЦИЯ ЖӘНЕ ДИФФУЗИЯ АЙМАҒЫНЫҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Андатпа.** 1375 °C температурада жанасу арқылы 1 сағат ішінде алынған Al-Co жүйесіндегі көп қабатты реакциялық диффузиялық аймағы (РДА) бар үлгінің микроқұрылымы мен элементтік құрамы көлденең қимада сканерлеу арқылы электронды микроскопия және электронды зондты микроталдау арқылы зерттелді. Келесі металлалық қосылыстар  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$ ,  $\beta'$  ( $\alpha\text{Co}$ ), сондай-ақ ( $\alpha\text{Co}$ ) -да  $\text{CoAl}$ -дің қатты ерітіндісі көп қабатты РДА-да нүктелік энерго дисперсиялық талдауды (EDS) қолдану арқылы анықталды. Элемент концентрациясы профилдері сызықтық және дисперсияның толқындық талдау (WDS) көмегімен алынды. Бұл концентрация профилдері  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$  және  $\beta'$  ( $\alpha\text{Co}$ ) бір-бірінде қатты ерітінділер түзуге қабілетті екенін көрсетеді.  $\text{CoAl}_3$ ,  $\text{Co}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{CoAl}$  және  $\beta'$  ( $\alpha\text{Co}$ ) қабаттарындағы РДА түзілуінің микроқұрылымдық ерекшеліктері Al-Co қорытпаларының нақты құрылымдық үлгісін (құйылған күйінде) ұқсата алады.

**Негізгі сөздер:** интерметаллидтер, диффузия, металлалық қосылыстар, микроқұрылым, фаза шегі, растр электронды микроскопиясы.



<sup>1</sup>Нақан Ұлантай\*, <sup>2</sup>Толқын Балғын, <sup>1</sup>Е.И. Кульдеев, <sup>1</sup>Г.Ж. Елигбаева,  
<sup>1</sup>Д.Б. Адиканова, <sup>1</sup>М.Е. Нурсұлтанов, <sup>1</sup>Е.Шаймардан

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>А.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: ulantaynakan@gmail.com

## ТЕРМОСЕЗІМТАЛ ГИДРОФИЛЬДІ СОПОЛИМЕРЛЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ СИПАТТАМАСЫ

**Андатпа.** Зерттеу жұмысында термосезімтал суда еритін сополимерлер метакрил қышқылы мен N-изопропилакриламид негізіндегі мономерлердің әр түрлі ара қатынасында заттық иницирлеу жолымен радикалды полимерлеу арқылы ертіндіде полимерленіп алынды. Осы синтезделіп алынған сополимерге сипаттама беру мақсатында әр түрлі заманауи зерттеу әдістерімен талдау жасалды. Суда еритін сополимерлердің құрлымы мен құрамы инфрақызыл спектр (ИК) арқылы гомополимермен салыстыра зерттеліп, талдау жасалды. Термосезімтал сополимердің термиялық қасеттері термогравиметриялық талдау (ТГА) және дифференциалды сканерлеуші колориметрлік (ДСК) әдістермен зерттелді. Термогравиметриялық талдауда сополимердің массасын жоғалтуы екі сатыда өтетіні және максималды ыдырау температурасы (PDTmax) анықталды. ДСК зерттеу әдісі арқылы НИПААМ-МАК сополимерінің шынылану температурасы анықталды. Сонымен бірге осы сополимердің беттік морфологиясына оптикалық микроскоп арқылы талдау жасалды.

**Негізгі сөздер:** метакрил қышқылы, N-изопропилакриламид, сополимерлер, термосезімтал сополимерлер.

**Кіріспе.** «Ақылды» немесе «стимулсезімтал» деп аталатын полимерлік материалдар өзінің ерекше қасиеттерімен зерттеушілерге ерекше қызығушылық танытуда. Бұл материалдар өздерінің бағалы қасиеттерімен медицинада, биотехнологияда, электроникада, экологиялық мәселелерді шешуде тағы басқа қажетті салаларда кең қолданысқа ие. Осы стимулсезімтал деп аталатын полимерлерге көптеген ғалымдар зерттеу жұмыстарын жүргізгенімен ғылым мен техниканың дамуына, жаңа қолданыс саласының табылуына, осы полимерлерге деген сұраныстың артуына байланысты стимулсезімтал полимерлерді зерттеу ары қарай жалғасуда. Сондықтан осы полимерлерді әлі де терең зерттеу бүгінгі заманның талабы [1-3].

Термосезімталдығымен ерекшеленетін N-изопропилакриламид негізіндегі жасанды сополимерлер, атап айтқанда, ПолиНИПААМ-ның медицина және биология (имобилизациялау, тасымалдау) саласына қолданысқа енгізілуі оның төмен критикалық еру температурасы (32-34<sup>0</sup>С) адамның физиологиялық температура диапазонына жақын орналасуында [4-6]. Мұндай төмен критикалық еру температурасына N-изопропилакриламидтің бүйір тізбегіндегі гидрофильді амид топтары (CONH) мен гидрофобты изопропил топтары жауап береді. ТКЕТ-тен жоғары температурада полиНИПААМ гидрогелінде және сызықты полимерінде күрт жиырылу және тұнбаға түсу (мөлдірлігін жоғалту) құбылыстары пайда болады [7-10].

**Бастапқы заттардың сипаттамасы мен зерттеу әдістері.** N-изопропилакриламид (НИПААМ) – «Kohjin» (Жапон) фирмасының өнімі құрамындағы тежегіштен, оны 40<sup>0</sup>С-та гександа қайта кристалдау арқылы тазалап алынған өнім.

Метакрил қышқылы (МАК) және азо-бис-изомай қышқылының динитрилі (АИБН) Sigma - Aldrich фирмасының өнімі.

Сополимерлердің физика-механикалық қасиетін, термотұрақтылығын бағалау және полимерге ғана тән шынылану температурасын анықтау мақсатында термогравиметриялық («TGA/SDTA851e, METTLER TOLEDO», Швейцария) және дифференциалды сканерлеуші колориметрлік талдау әдістері («NETZSCH DSC200 PC») пайдаланылды, осы арқылы НИПААм-МАҚ сополимерлерінің термиялық қасиеттеріне талдау жасалды.

Зерттелетін гомо және сополимердің құрлысын, құрамын, құрылымын анықтауда Инфрақызыл спектрлер (ИК-спектрлер) әдісі қолданылып, «Satellite FTIR Mattson» апаратында 4000-400  $\text{см}^{-1}$  диапазонында спектрлер жазылып, талдау жасалды.

Полимердің беттік морфологиясын анықтау мақсатында сандық оптикалық микроскоп Leica DM 6000M (Швейцария) апараты қолданылды.

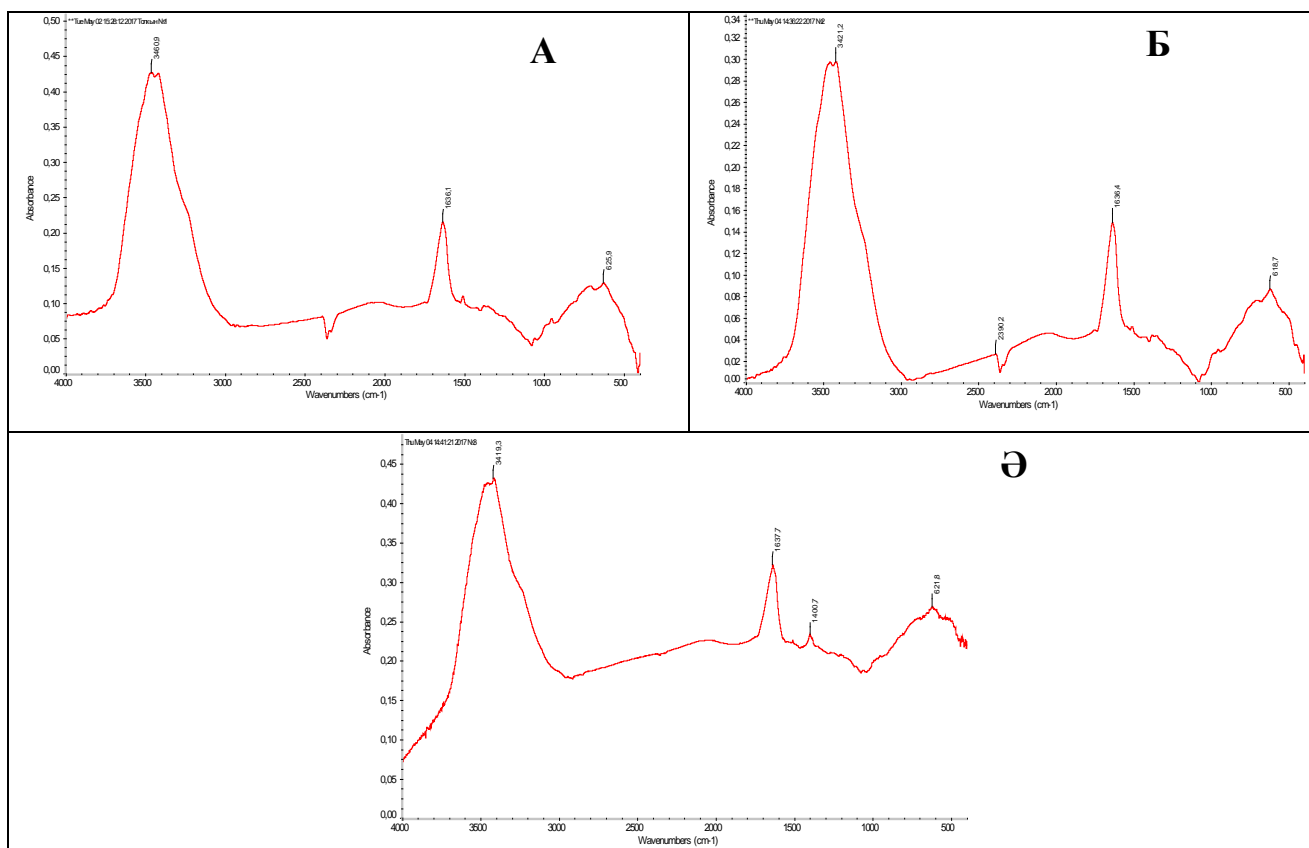
**Нәтижелер және оларды талдау.** Ұсынылған жұмыста полиметакрил қышқылы (ПолиМАҚ) және N-изопропилакриламид (НИПААм) пен Метакрил қышқылы (МАҚ) негізіндегі сополимерлерге сипаттама беру мақсатында мономерлердің әр түрлі мольдік қатынасында (10-90 және 30-70 (НИПААм-МАҚ) моль %) заттық иницирлеу жолымен, сулы ортада (мономерлік қоспа еріткіштің ара қатынасы 30:70%) синтезделіп алынып, гександа тұндырылды. Тұрақты массаға жеткенге дейін кептірілді.

НИПААм-МАҚ және ПолиМАҚ сополимерінің құрамын, құрлымын анықтау мақсатында заманауи зерттеу әдістерінің бірі, яғни инфрақызыл спектроскопия (ИК) әдісі қолданылды.

Синтезделіп алынған НИПААм-МАҚ және ПолиМАҚ полимерлерінің ИК-спектріндегі 400-4000  $\text{см}^{-1}$  жұтылу жолақтары жазылды (1-сурет). Мұнда НИПААМ-МАҚ және ПолиМАҚ полимерлерінің функционалдық топтар беретін сигналдар, яғни –ОН топтары 3200-3550  $\text{см}^{-1}$ , С=О топтары 1620-1680  $\text{см}^{-1}$  аралығындағы және С=О тобы 610-680  $\text{см}^{-1}$  көрсетілген. Тек НИПААМ –МАҚ сополимерінің 70:30 қатынасында 2390  $\text{см}^{-1}$  NH тобының болуымен ерекшеленген. Синтезделген НИПААм-МАҚ сополимерінің ИК-спектрлері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. **НИПААм–МАҚ сополимерлерінің ИК спекторскопиядағы функционалдық топтарының сигналдары**

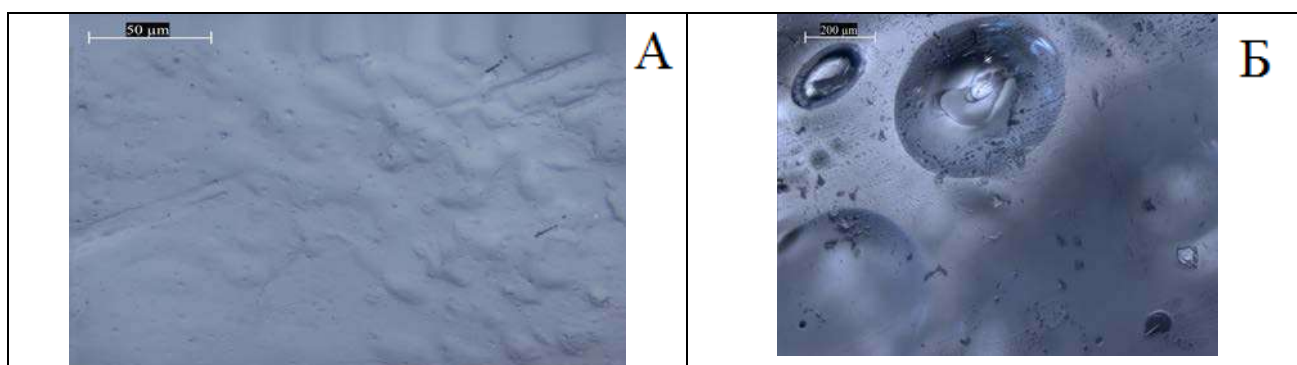
Үлгі		Функционалдық топ	ИК ( $\text{см}^{-1}$ )
А	БМҚ [НИПААм:МАҚ] 30:70	С=О	1636,4
		ОН	3421,2
		С=О	618,7
		N-H	2390,
Б	БМҚ [НИПААм:МАҚ] 10:90	С=О	1636,1
		С=О	625,9
		ОН	3460,9
Ә	Поли МАҚ	С=О	1637,7
		ОН	3419,3
		ОН	1400,7
		С=О	612,8



БМҚ [НИПАМ–МАҚ]= 10-90 (а), 30-70(б) және полиМАҚ (ә) моль.%;

**1-сурет.** НИПАМ – МАҚ сополимерінің ИК спектрлері

НИПААМ – МАҚ негізіндегі сополимерлерді ИК спектр әдісімен зерттеумен қатар, олардың беттік морфологиясы оптикалық микроскоп көмегімен зерттелді. 2 - суретте БМҚ 30:70 қатынаста болатын сополимердің 50 және 200µm өлшемде оптикалық микроскоптағы микро суреті көрсетілген. Мұнда 50 µm болатын микро суретке (А суретте) қарағанда сополимердің беткі қабаты тегіс емес, әр түрлі өлшемдегі саңылаулардан тұратынын көруге болады. Өлшемі 200 µm болғанда (Б суретте) тіпті де айқындала түсті. Бұл саңылаулар сополимердің ішкі құрлымының кеуекті екенін әрі еріткіштерде еруге бейім болатын сызықты полимер екенін көрсетті.



БМҚ [НИПААМ-МАҚ]=30:70 моль.%; 70% H<sub>2</sub>O;

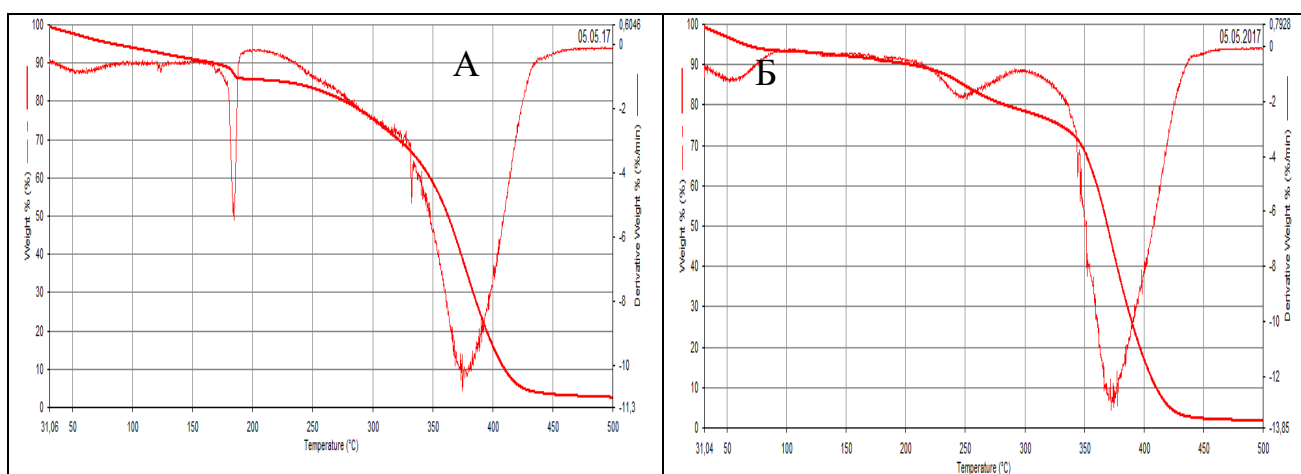
**2-сурет.** НИПААМ – МАҚ сополимерінің оптикалық микроскоптағы микро суреті

Зерттелетін сополимерлердің термиялық қасиеттерін анықтау мақсатында, термогравиметриялық (ТГА) және дифференциалдық сканерлеуші калориметрлік (ДСК) заманауи зерттеу әдістерімен талдау жасалды. 3 – сурет және 2 – кестеде сополимердің екі саты бойынша деструкцияға ұшырауы көрсетілген.

2-кесте. НИПААм-МАҚ негізіндегі сополимерлерінің термиялық сипаттамасы

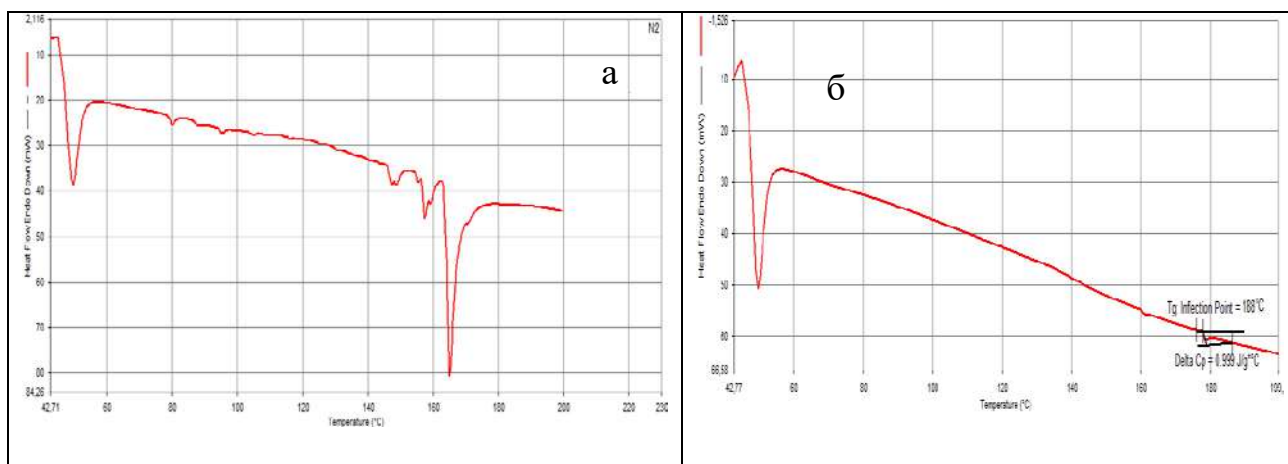
	[НИПААм-МАҚ], Мол.%	T <sub>ш</sub> , °C	Температура аралық °C	Жоғалған масса %	Қалдық масса %	PDTmax °C
А	10-90	188	30-200 200-500	10 87,8	90 2,2	371
Б	30-70	165	31-200 227-900	14 83,7	86 2,3	375

Бастапқы мономер құрамында НИПААм буыны 10% болғанда 30-200<sup>0</sup>С температуралық аралықта сополимер бастапқы салмағының 10% жоғалтса, 200-500<sup>0</sup> С температуралық аралықта 87,8% массасын жоғалтып 2,2% қалдық қалады. Ал, бастапқы мономер құрамында НИПААМ мөлшері 30% болғанда 30-200<sup>0</sup>С температуралық аралықта сополимер бастапқы салмағының 14% жоғалтады және 200-500<sup>0</sup>С аралығында 83,7% массасын жоғалтып, 2,3% қалдық қалады. НИПААм-МАҚ негізіндегі сополимердің максималды ыдырау температурасы 371<sup>0</sup> С және 375<sup>0</sup>С көрсетеді. НИПААм негізіндегі сополимерді гомополимерімен салыстырғанда, сополимер құрамында нипаамның үлесі көп болса термиялық тұрақтылығы азаяды және олар жоғары температурада бірдей ыдырау процесін көрсетеді. МАҚ-мен байытылған сополимерлер жақсы термиялық тұрақтық көрсетеді, бірақ олардың негізгі ыдырау облысы екі сатымен жүреді [3].



БМҚ[НИПААм-МАҚ] = 10-90 (а) және 30-70 (б); моль. %

3-сурет. НИПААм-МАҚ сополимерінің термогравиметриялық талдауы



БМҚ[НИПААм-МАҚ] = 10-90 (а) және 30-70 (б); моль. %

**4-сурет.** НИПААм-МАҚ сополимерінің дифференциалды сканерлеуші калориметрлік талдауы

Шынылану температурасы ( $T_m$ ) полимерлер үшін өте маңызды. Ол полимерлердің жылу сиымдылық ( $C_p$ ) критерилері ретінде көп қолданылады. НИПААм – МАҚ сополимерінің шынылану температурасы дифференциалдық сканерлеуші калориметрлік әдіс арқылы анықталды. 4 – сурет және 2 – кестеде сополимерінің шынылану температуралары көрсетілген. Әдебиеттерде полиМАҚ-тың шынылану температурасы  $228^{\circ}\text{C}$ , ал полиНИПААм-ның шынылану температурасы  $85\text{-}130^{\circ}\text{C}$  температура аралығында орналасқан [11]. Ал осы екі мономерден алынған сополимердің  $T_g$  температурасы НИПААм мөлшері 10% болғанда (а сурет)  $188^{\circ}\text{C}$  ал, сополимер құрамында НИПААм мөлшері 30% болғанда  $65^{\circ}\text{C}$  болады. Сополимер құрамында НИПААм буындарының мөлшері артқанда  $T_g$  – дың төмендеуі полиНИПААмның шынылану температурасына қарай ығысуынан болады. Бұл мәндер теориялық мәндерге жақын.

**Қорытынды.** Қорыта келгенде, N-изопропилакриламидтің ТКЕТ және басқа да қасиеттерін модификациялау мақсатымен синтезделген НИПААм мен МАҚ мономерлерінің әр түрлі қатынасында сополимерлер мен гомополимер заттық иницирлеу жолымен, ертіндіде синтезделіп алынды. Алынған полимерлердің құрлымы, құрлысына инфрақызыл спектроскопия әдісі арқылы зерттеліп, талдау жасалды. Заманауи физика-химиялық және физика-механикалық әдістердің көмегімен зерттелетін полимерлердің температураға тұрақтылығы және полимерге тән шынылану температурасы анықталып, беттік морфологиясы зерттелді.

**REFERENCES**

[1] Hoffman Allan S. Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2002;54: 1:3–12. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-409x\(01\)00239-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-409x(01)00239-3).  
 [2] Qu Jin, Zhao Xin, Ma Peter X., Guo Baolin. Injectable antibacterial conductive hydrogels with dual response to an electric field and pH for localized “smart” drug release. *Acta Biomaterialia*. 2018;72: 55–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2018.03.018>.  
 [3] Ulantay Nakan, Grigoriy A Mun, Yerengaip M Shaikhutdinov, Gulzhakhan Zh Yeligbayeva, Shayahati Bieerkehazhi, El-Sayed Negim, Hydrogels based on N-isopropylacrylamide and 2-hydroxyethylacrylate: synthesis, characterization and investigation of their antibacterial activity, *Polymer International* 2020 (IF=2.5), (wileyonlinelibrary.com) <http://dx.doi.org/10.1002/pi.6065>  
 [4] Wang Y., Byrne J. D., Engineering nanomedicines using stimuli-responsive biomaterials // *Adv Drug Deliv Rev*. - 2012. – Vol. 64(11).  
 [5] Mahajan A., Aggarwal G. smart polymers: sinnovation in novel drug delivery: *Internat. J. Drug Dev. Res.* – 2011. - Vol. 3. –P. 16.  
 [6]. Traitel T., Goldbart R., Kost J, Modified pectin-based carrier for gene delivery: cellular barriers in gene delivery course // *J. Biomat. Sci., Polym. Ed.* – 2008. -Vol. 19. -P. 755.

[7] Traitel T., Goldbart R., Kost J, Modified pectin-based carrier for gene delivery: cellular barriers in gene delivery course // J. Biomat. Sci., Polym. Ed. – 2008. -Vol. 19. -P. 755.

[8] Nandivada, H., Ross, A. M., Lahann, Stimuli responsive monolayers for biotechnology. // J. Progress in Polymer Science. -2010. –Vol. 35 (1-2). -P 141-154.

[9] Chilkoti A. Bionanofabrication with polymers and enzymes, ACS National Meeting Book of Abstracts. -2006. -P. 231.

[10] Ramírez E, Burillo SG, Barrera-Díaz C, Roa G, Bilyeu B Use of pH-sensitive polymer hydrogels in lead removal from aqueous solution // J Hazard Mater. -2011. –Vol. 192(2).

[11] Nakan U., Rahmetullaeva R.K., Mun G.A., Shaihutdinov E.M., Yeligbaeva G. Zh., El-Sayed Moussa Negim, Linear copolymer of N-isopropylacrylamide and 2-hydroxyethylacrylate: synthesis, characterization and monomer reactivity ratios, J. oriental journal of chemistry 5, 32, 2016, 2347-2354.

<sup>1</sup>Нақан Ұлантай\*, <sup>2</sup>Толқын Балғын, <sup>1</sup>Е.И. Кульдеев, <sup>1</sup>Г.Ж. Елигбаева,

<sup>1</sup>Д.Б. Адиканова, <sup>1</sup>М.Е. Нурсұлтанов, <sup>1</sup>Е. Шаймардан

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>А.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

\*e-mail:ulantaynakan@gmail.com

### ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ

**Аннотация.** В исследовательской работе термочувствительные водорастворимые сополимеры полимеризовались в растворе путем радикальной полимеризации методом вещественной инициации в различных соотношениях мономеров на основе метакриловой кислоты и N-изопропилакриламида. С целью характеристики этого синтезированного сополимера был проведен анализ различными современными методами исследования. Структура, состав водорастворимых сополимеров исследованы и проанализированы в сравнении с гомополимером через инфракрасный спектр (ИК). Термические свойства термочувствительного сополимера исследовались термогравиметрическим анализом (ТГА) и дифференциальным сканирующим колориметрическим (ДСК) методами. В термогравиметрическом анализе установлено, что потеря массы сополимера происходит в два этапа и максимальная температура разложения (PDTmax). Методом исследования ФСК была определена температура остекления сополимера НИПААМ-МАК. При этом был проведен анализ морфологии поверхности этого сополимера с помощью оптического микроскопа.

**Ключевые слова:** N-изопропилакриламид, метакриловая кислота, сополимеры, термочувствительные полимеры.

<sup>1</sup>Ulantay Nakan\*, <sup>2</sup>Balgyn Tolgyn, <sup>1</sup>E.I. Kuldeev, <sup>1</sup>G. Zh. Yeligbayeva, <sup>1</sup>D.B. Adikanova,

<sup>1</sup>M.E. Nursultanov, <sup>1</sup>Y. Shaymardan

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail:ulantaynakan@gmail.com

### PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOSENSITIVE HYDROPHILIC COPOLYMERS

**Abstract.** Thermo-sensitive water-soluble copolymers based on N-isopropylacrylamide (NIPAAm) and methacrylic acid (MAAc) synthesized by solution polymerization technique with different monomer ratios and azo-bis-isobutyronitrile as an initiator. In order to characterize this synthesized copolymer, an analysis was carried out using various modern research methods. The structure, composition of water-soluble copolymers and homopolymer were studied by FTIR. The thermal properties of the thermosensitive copolymer were studied by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetric (DSC) methods. In the thermogravimetric analysis, it was found that the mass loss of the copolymer occurs in two stages and the maximum decomposition temperature (PDTmax). The glass temperature of the NIPAAm-MAK copolymer was determined by the DSC method. The surface morphology of copolymer was analyzed using an optical microscope.

**Keywords:** N-isopropylacrylamide, methacrylic acid, copolymers, thermosensitive polymers.

<sup>1,2</sup>М.Ф. Қадір\*, <sup>1,2</sup>Н.Б. Нұрман, <sup>3</sup>В.Ю. Смирнов

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Лаборатория инженерного профиля, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Исследовательский центр Юлих, Германия

\*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОПОРИСТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

**Аннотация.** Нанопористые мембраны на основе оксидов металлов широко применяются для формирования наноструктурированных материалов, так как имеется возможность создавать материалы с заранее заданными структурными свойствами. В данной исследовательской работе были описаны структурные особенности нанопористых мембран на основе оксидов титана и алюминия, объединяющихся процессом получения, но различающимся ростом пор и их строением. Мембраны на основе оксидов металлов синтезированы при напряжении  $U=80-140\text{В}$ , при комнатной температуре  $T=17^\circ\text{C}$ , в кислотной среде. Структурные особенности синтезированных мембран были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии Quanta 200i 3D (FEI). Установлено, что пленки диоксида титана обладают узким распределением пор, размеры которых находятся в пределах 40-115 нм. Структурные отличия наномембран диоксида титана и оксида алюминия дают возможность широкому применению в области нанотехнологий и материаловедения.

**Ключевые слова:** нанопористый диоксид титана, нанопористый оксид алюминия, нанопористая мембрана, электролит, процесс анодирования, сканирующая электронная микроскопия.

**Введение.** Нанопористый оксидный материал и его структурные и физико-химические свойства на данный момент являются широко исследуемой областью в нанотехнологии. Такой причиной является метод получения и возможность контроля структурных параметров нанопористых материалов. К таким материалам можно отнести нанопористые мембраны на основе различных оксидов металлов (Ti, Al, Cu, Nb и др.). Нанопористые мембраны на основе оксидов металлов, полученные на основе процесса анодирования, могут быть перспективными материалами для применения в микроэлектронике, оптике, мембранной технике, различных датчиках, солнечных элементах, катализаторах очистки водной и воздушной среды, производстве химических и биологических сенсоров [1-9].

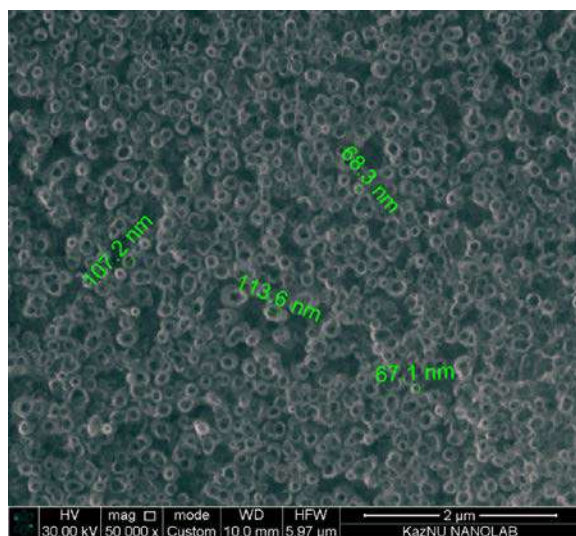
Пленки оксидов металлов могут быть получены с помощью химических и физических методов (нанесение из растворов (dip-coating и spin-coating), электрофорез, осаждение из газовой фазы), но значительный интерес вызывают пленки, полученные электрохимическим анодированием [10-14]. Электрохимический синтез пористого оксида титана проводят во фторсодержащих разнообразных органических электролитах, а также в водных растворах плавиковой кислоты [15-22], а синтез наноструктурированных анодно-оксидных пленок на алюминии осуществляются с использованием слаборастворимых, нетоксичных электролитов (к ним относятся серная, фосфорная и щавелевая кислоты) [23, 24]. Нанопористый диоксид титана, полученный из таких электролитов, состоит из нанотрубок, ориентированных перпендикулярно металлической подложке. Особенностью данного типа структур являются открытая пористость и достаточно узкое распределение пор по размерам. Образование нанотрубчатой структуры диоксида титана происходит в результате химического взаимодействия фторид-ионов и  $\text{TiO}_2$  в виде плотного слоя, сформированного в процессе электрохимического анодирования титана. Поэтому концентрация фторид-ионов в растворе анодирования является одним из критических факторов, определяющих морфологию пленок  $\text{TiO}_2$  [25, 26].

В данной исследовательской работе представлены результаты сравнения структурных особенностей нанопористых оксидов алюминия и титана. При этом основной акцент

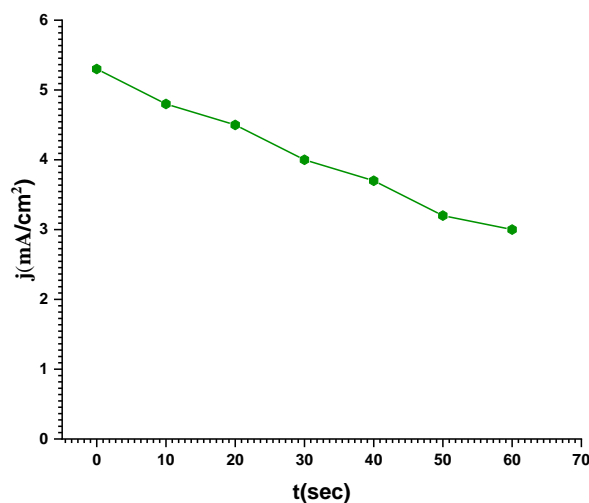
ставился на процесс формирования пор и их структуры.

**Экспериментальная часть.** Синтез пленок  $TiO_2$  и  $Al_2O_3$  осуществляли анодированием в двухэлектродной фторопластовой ячейке в потенциостатическом режиме при 80В, 140 В и температуре 17°C. В качестве исходного материала для окисления использовали пластинки металлического титана (99,99%), толщиной 1 мм и алюминиевой фольги (99,999%), толщиной 50 мкм. Продолжительность процесса анодирования составляла 3 часа. В качестве электролитов при анодировании титана и алюминия использовали растворы: 1) 0,1М раствор фторида аммония в этиленгликоле; 2) 0,4М ортофосфорной кислоты в водном растворе. Структуру пористого диоксида титана и оксида алюминия исследовали методом сканирующей электронной микроскопии.

**Результаты и обсуждение.** В результате исследований, связанных с данной работой было установлено, что морфология нанопористых структур зависит от концентрации фторид-ионов. На рис. 1а показана СЭМ изображения нанопористого  $TiO_2$  полученных при 0,1М  $NH_4F$ , после первой стадии анодирования. Исследования поверхности пористого слоя методом сканирующей электронной микроскопии показали, что пленки диоксида титана (рис.1а) обладают узким распределением пор и размеры которых находятся в пределах от 40-115 нм, а средний размер пор составляет  $66\pm 5$  нм. Такая пористая структура образуется в результате электрохимическое анодирование титана и химическое растворение оксида во фторсодержащем электролите (0,1М  $NH_4F$ ). На графике 1б видно, что за 60 секунд плотность тока при напряжении  $U=140В$  уменьшилась до значения  $j_a=5,3-3$   $mA/cm^2$ . Таким образом можно утверждать, что для образования пористых пленок  $TiO_2$  с большим диаметром процесс необходимо проводить при высоком напряжении, времени и плотности тока.



а)



б)

**Рисунок 1.** СЭМ изображение нанопористого  $TiO_2$  и график зависимости анодного тока от времени

Согласно данным сканирующей электронной микроскопии анодирование алюминиевой пластины в растворе 0,4М  $H_3PO_4$  привело к формированию оксидной пленки с размерами пор 40-110 нм, а средний размер пор составляло  $73\pm 5$  нм (рис.2а). На рисунке 2б представлена зависимость плотности анодного тока от времени формовки. При температуре раствора электролита – 19°C процесс анодирования можно проводить при плотности тока  $j_a=12,55$   $mA/cm^2$  и напряжении  $U=80В$ . Следует отметить, что за период времени от 10 до 60 секунд происходит образование пористой структуры.

При этом необходимо отметить, что метод получения нанопористых оксидов металлов на основе алюминия и титана одинаковы, но параметры процесса анодирования отличаются. Также нанопористый оксид алюминия получается с помощью двухстадийного процесса



аноодирования, тогда как для формирования идеальной нанопористой структуры титана достаточно проведения одной стадии. Данная необходимость связана с тем, что для формирования нанопористого оксида алюминия с порами растущими параллельно друг другу необходимо время и в начале их формирования они растут хаотичным образом. Только спустя определенное время стены пор достигают друг друга и поры начинают расти параллельно друг к другу и перпендикулярно относительно подложки.

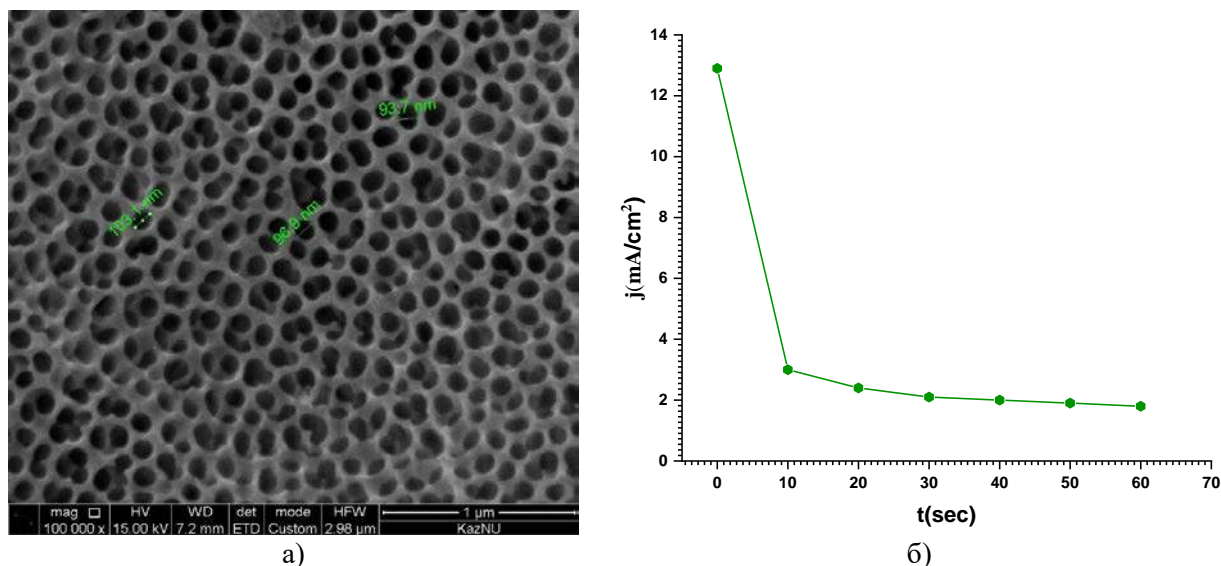
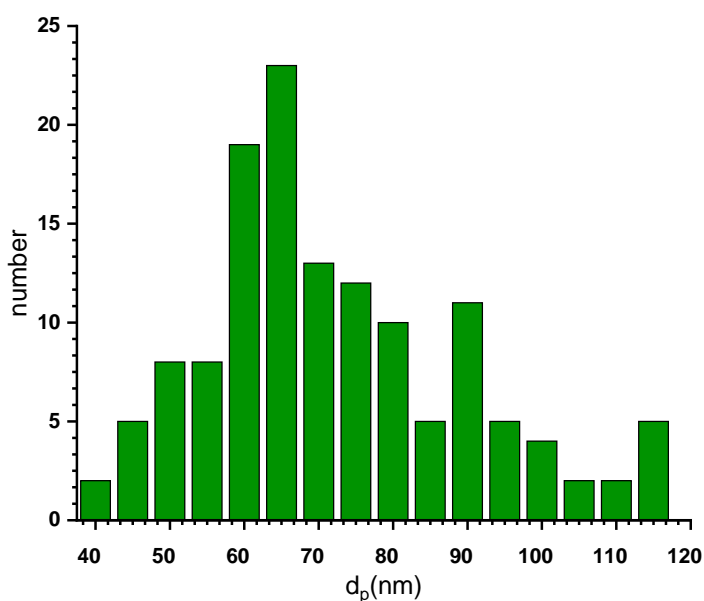


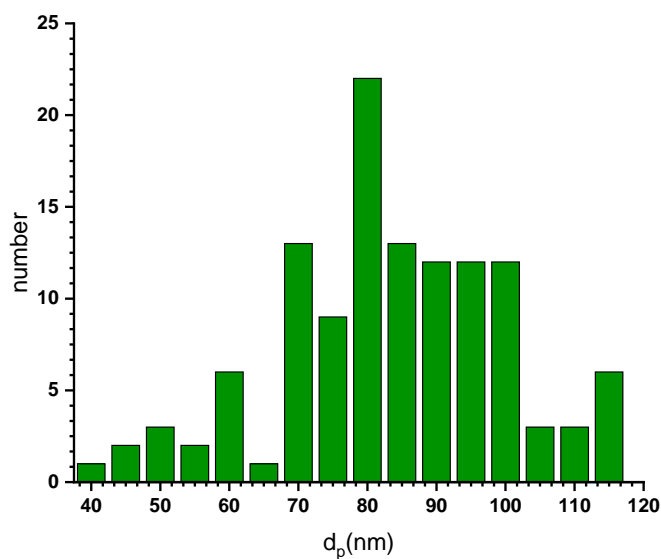
Рисунок 2. СЭМ изображение пленок пористого оксида алюминия и график зависимости анодного тока от времени

Кроме того, были построены гистограммы распределение пор по их размерам (рис.3а, б). Анализ такого распределения необходим для оценки получения равномерных пор по всей площадке. Если на поверхности наномембран на основе оксида алюминия можно увидеть разброс пор по размерам и их формам, то нанопоры мембран на основе оксида титана формы пор не сильно отличаются между собой, разницу можно заметить только в размерах пор, но даже при этом разброс не такой большой. При получении наномембран на основе оксида алюминия и оксида титана можно контролировать процесс анодирования так, чтобы форма пор и их размеры не сильно разнились, что открывает большие возможности в области применения.

Относительно графиков зависимости анодного тока от времени анодирования (Рис. 2б и 3б) можно сделать выводы, что в обоих случаях анодный ток со временем идет на спад и с увеличением времени анодирования стабилизируется. При этом в начале процесса, когда поры только начинают свое формирование, анодный ток принимает максимальное значение и затем со временем идет на спад. В случае с нанопористых мембран в случае оксида алюминия анодный ток в начале вырастает так, что в два раза больше, чем анодный ток, возникающий при получении нанопористого диоксида титана. Такие отличия говорят о том, что формирование нанопор имеет свои особенности в зависимости от структурных особенностей алюминиевой и титановой пластин. Исследование и анализ структурных особенностей исходных металлов дает возможность анализировать нанопористую структуру, которая будет формироваться в результате процесса анодирования.



a)



б)

Рисунок 3. Распределение пор по размерам: а)TiO<sub>2</sub>; б)Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Заклучение.** Процесс анодирования дает возможность при различных параметрах получать нанопористые мембраны на основе различных оксидов металлов (Ti, Al, Cu, Nb и др.). Принцип процесса анодирования для получения описанных выше нанопористых оксидов металлов одинаковы, но отличие только в том, что параметра процесса анодирования подбираются различными для различных металлов. Отличие в структуре металлов приводит к отличию пор данных нанопористых оксидов металлов, что открывает большие возможности в области применения. При этом для всех нанопористых оксидов металлов, получаемых с помощью процесса анодирования, общим остается то, что можно контролировать размеры пор и толщину наномембран, также возможность получения структур с заранее заданными структурными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Berger S., Hahn R., Roy P., Schmuki P. Self-organized TiO<sub>2</sub> nanotubes: Factors affecting their morphology and properties // *Phys. Status Solidi B*. - 2010. - 630523-P. 2424–2435.
- [2] Воробьев А. Ю., Спиридонов Б. А., Горшунова В. П., Небольсин В. А., Юрьев В. А., Косилов А.Т. Адсорбция аммиака композитами на основе нанопористого оксида алюминия// *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2012. - Т. 8. - № 7.2. - С. 29-31.
- [3] Zwillig V., Aucouturier M., Ceretti E.D. Anodic oxidation of titanium and TA6V alloy in chromic media. An electrochemical approach// *Electrochim. Acta*. 45. 1999. 921.
- [4] Jongmin Choi, Young Soo Kwon, Taiho Park Doubly open-ended TiO<sub>2</sub> nanotube arrays decorated with a few nm sized TiO<sub>2</sub> nanoparticles for highly efficient dye-sensitized solar cells // *J. Mater. Chem. A*. 2014. 2. 14380.
- [5] Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // *Соросовский Образовательный Журнал*, том 6, № 11, 2011. С. 52-56.
- [6] Ingham C.J., ter Maat J., de Vos W.M. Where bio meets nano: The many uses for nanoporous aluminum oxide in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 2012, 30, 1089–1099.
- [7] Rong Hao, Baojiang Jiang, Mingxia Li, Ying Xie and Honggang Fu Fabrication of mixed-crystalline-phase spindle-like TiO<sub>2</sub> for enhanced photocatalytic hydrogen production // *Sci China Mater* 2015, 58: 363–369.
- [8] Wilaiwan Chanmanee, Mohammad Fakrul Islam, Brian H. Dennis and Frederick M. MacDonnell Solar photothermochemical alkane reverse combustion // *PNAS Early Edition*, 2016.
- [9] Santos A., Kumeria T., Losic D. Nanoporous anodic aluminum oxide for chemical sensing and biosensors. *TrAC Trends Anal. Chem.* 2013, 44, 25–38.
- [10] Paulose M., Shankar K., Yoriya S., Prakasam H. E. Anodic Growth of Highly Ordered TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays to 134 μm in Length // *The Journal of Physical Chemistry*. - 2006. - P. 1-6.
- [11] Ruan C., Paulose M., Varghese O.K. et al. Fabrication of highly ordered TiO<sub>2</sub> nanotube arrays using an organic electrolyte // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 109. – P. 15754-15759.
- [12] Белов А.Н., Дронов А.А., Орлов И.Ю. Особенности электрохимического формирования слоев пористого оксида титана // *Известия вузов. Электроника*. – 2009 – № 1 (75) – С. 16-21.
- [13] Taveira L.V., Macak J.M., Sirotna K. et al. Voltage oscillations and morphology during the galvanostatic formation of self-organized TiO<sub>2</sub> nanotubes // *J. Electrochem. Soc.* – 2006 – Vol. 153, № 4. – P. B137-B143.
- [14] Lee W., Ji R., Sele U.G., Nielsch K. Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization // *Nature materials*. 2006. V. 5 P. 741 - 747.
- [15] Kaneco S., Chen Y., Westerhoff P. and Crittenden J.C. Fabrication of Uniform Size Titanium Oxide Nanotubes: Impact of Current Density and Solution Conditions. *Scripta Materialia*, 56, 373-376. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.11.001>.
- [16] Prida V.M., Manova E., Veja V., Hernandez-Velez M., Aranda P., Pirola K.R., Vázquez M. and Ruiz-Hitzky E. Temperature Influence on the Anodic Growth of Self-Aligned Titanium Dioxide Nanotubes Arrays. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 316, 110-113. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2007.02.021>.
- [17] Bauer S., Pittrof A., Tsuchiya H. and Schmuki P. Size-Effects in TiO<sub>2</sub> Nanotubes: Diameter Dependent Anatase/Rutile Stabilization. *Electrochemistry Communications*, 13, 538-541. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2011.03.003>.
- [18] Liu R., Hsieh C.S., Yang W.D., Qiang L.S. and Wu J.F. Applying the Statistical Experimental Method to Evaluate the Process Conditions of TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays by Anodization Method. *Current Applied Physics*, 11, 1294-1298. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2011.03.058>.
- [19] Pittrof A., Bauer S. and Schmuki P. Micropatterned TiO<sub>2</sub> Nanotube Surfaces for Site-Selective Nucleation of Hydroxyapatite from Simulated Body Fluid. *Acta Biomaterialia*, 7, 424-431. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.028>.
- [20] Kafi A.K.M., Wu G., Benvenuto P. and Chen A. High Sensitive Amperometric H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Biosensor Based on Hemoglobin Modified TiO<sub>2</sub> Nanotubes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 662, 64-69. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.03.021>.

- [21] Park H.H., Park I.S., Kim K.S., Jeon W.Y., Park B.K., Kim H.S., Bae T.S. and Lee M.H. Bioactive and Electrochemical Characterization of TiO<sub>2</sub> Nanotubes on Titanium via Anodic Oxidation. *Electrochimica Acta*, 55, 6109-6114. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.082>.
- [22] Cummings F.R., Le Roux L.J., Mathe M.K. and Knoesen D. Structure Induced Optical Properties of Anodized TiO<sub>2</sub> Nanotubes. *Materials Chemistry and Physics*, 124, 234-242. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.06.024>.
- [23] Yakovleva N. M., Anicai A., Yakovlev A. N., Dima L., Khanina E. Ya., Buda M., Chupakhina E. A. *Thin Solid Films*, 2002, vol. 416, no 1—2, pp. 16—23. DOI: 10.1016/S0040—6090(02)00625-9.
- [24] Nagayama M., Tamura K. Dissolution of the anodic oxide film on aluminium in a sulphuric acid solution // *Electrochimica Acta*. -1967.-Vol. 12.-P.1097-1107.
- [25] Михайличенко А.И., Морозов А.Н. Получение высокоупорядоченных нанотрубчатых пленок из диоксида титана // *Перспективные материалы*. 2013. № 5. С. 74-78.
- [26] Alivov Y., Fan Z. Y. A TiO<sub>2</sub> nanostructure transformation: from ordered nanotubes to nanoparticles // *Nanotechnology*. – 2009 – 20, 4056010.

## REFERENCES

- [1] Berger S., Hahn R., Roy P., Schmuki P. Self-organized TiO<sub>2</sub> nanotubes: Factors affecting their morphology and properties // *Phys. Status Solidi B*. - 2010. - 630523-P. 2424–2435.
- [2] Vorob'ev A. Yu., Spiridonov B. A., Gorshunova V. P., Nebol'sin V. A., Yur'ev V. A., Kosilov A.T. Adsorbtsiya ammiaka kompozitami na osnove nanoporistogo oksida alyuminiya // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2012. - T. 8. - № 7.2. - S. 29-31.
- [3] Zwilling V., Aucouturier M., Ceretti E.D. Anodic oxidation of titanium and TA6V alloy in chromic media. An electrochemical approach // *Electrochim. Acta*. 45. 1999. 921.
- [4] Jongmin Choi, Young Soo Kwon, Taiho Park Doubly open-ended TiO<sub>2</sub> nanotube arrays decorated with a few nm sized TiO<sub>2</sub> nanoparticles for highly efficient dye-sensitized solar cells // *J. Mater. Chem. A*. 2014. 2. 14380.
- [5] Savinov E.N. Fotokataliticheskie metody ochistki vody i vozdukh // *Sorosovskii Obrazovatel'nyi Zhurnal*, tom 6, № 11, 2011. S. 52-56.
- [6] Ingham C.J., ter Maat J., de Vos W.M. Where bio meets nano: The many uses for nanoporous aluminum oxide in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 2012, 30, 1089–1099.
- [7] Rong Hao, Baojiang Jiang, Mingxia Li, Ying Xie and Honggang Fu Fabrication of mixed-crystalline-phase spindle-like TiO<sub>2</sub> for enhanced photocatalytic hydrogen production // *Sci China Mater* 2015, 58: 363–369.
- [8] Wilaiwan Chanmanee, Mohammad Fakrul Islam, Brian H. Dennis and Frederick M. MacDonnell Solar photothermochemical alkane reverse combustion // *PNAS Early Edition*, 2016.
- [9] Santos A., Kumeria T., Losic D. Nanoporous anodic aluminum oxide for chemical sensing and biosensors. *TrAC Trends Anal. Chem.* 2013, 44, 25–38.
- [10] Paulose M., Shankar K., Yoriya S., Prakasam H. E. Anodic Growth of Highly Ordered TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays to 134 μm in Length // *The Journal of Physical Chemistry*. - 2006. - P. 1-6.
- [11] Ruan C., Paulose M., Varghese O.K. et al. Fabrication of highly ordered TiO<sub>2</sub> nanotube arrays using an organic electrolyte // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 109. – P. 15754-15759.
- [12] Belov A.N., Dronov A.A., Orlov I.Yu. Osobennosti elektrokhimicheskogo formirovaniya sloev poristogo oksida titana // *Izvestiya vuzov. Elektronika*. – 2009 – № 1 (75) – S. 16-21.
- [13] Taveira L.V., Macak J.M., Sirotna K. et al. Voltage oscillations and morphology during the galvanostatic formation of self-organized TiO<sub>2</sub> nanotubes // *J. Electrochem. Soc.* – 2006 – Vol. 153, № 4. – P. B137-B143.
- [14] Lee W., Ji R., Sele U.G., Nielsch K. Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization // *Nature materials*. 2006. V. 5 P. 741 - 747.
- [15] Kaneco S., Chen Y., Westerhoff P. and Crittenden J.C. Fabrication of Uniform Size Titanium Oxide Nanotubes: Impact of Current Density and Solution Conditions. *Scripta Materialia*, 56, 373-376. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.11.001>.
- [16] Prida V.M., Manova E., Veja V., Hernandez-Velez M., Aranda P., Pirota K.R., Vázquez M. and Ruiz-Hitzky E. Temperature Influence on the Anodic Growth of Self-Aligned Titanium Dioxide Nanotubes

Arrays. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 316, 110-113. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2007.02.021>.

[17] Bauer S., Pittrof A., Tsuchiya H. and Schmuki P. Size-Effects in TiO<sub>2</sub> Nanotubes: Diameter Dependent Anatase/Rutile Stabilization. Electrochemistry Communications, 13, 538-541. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2011.03.003>.

[18] Liu R., Hsieh C.S., Yang W.D., Qiang L.S. and Wu J.F. Applying the Statistical Experimental Method to Evaluate the Process Conditions of TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays by Anodization Method. Current Applied Physics, 11, 1294-1298. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2011.03.058>.

[19] Pittrof A., Bauer S. and Schmuki P. Micropatterned TiO<sub>2</sub> Nanotube Surfaces for Site-Selective Nucleation of Hydroxyapatite from Simulated Body Fluid. Acta Biomaterialia, 7, 424-431. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.028>.

[20] Kafi A.K.M., Wu G., Benvenuto P. and Chen A. High Sensitive Amperometric H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Biosensor Based on Hemoglobin Modified TiO<sub>2</sub> Nanotubes. Journal of Electroanalytical Chemistry, 662, 64-69. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.03.021>.

[21] Park H.H., Park I.S., Kim K.S., Jeon W.Y., Park B.K., Kim H.S., Bae T.S. and Lee M.H. Bioactive and Electrochemical Characterization of TiO<sub>2</sub> Nanotubes on Titanium via Anodic Oxidation. Electrochimica Acta, 55, 6109-6114. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.082>.

[22] Cummings F.R., Le Roux L.J., Mathe M.K. and Knoesen D. Structure Induced Optical Properties of Anodized TiO<sub>2</sub> Nanotubes. Materials Chemistry and Physics, 124, 234-242. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.06.024>.

[23] Yakovleva N. M., Anicai A., Yakovlev A. N., Dima L., Khanina E. Ya., Buda M., Chupakhina E. A. Thin Solid Films, 2002, vol. 416, no 1—2, pp. 16—23. DOI: 10.1016/S0040—6090(02)00625-9.

[24] Nagayama M., Tamura K. Dissolution of the anodic oxide film on aluminium in a sulphuric acid solution // Electrochimica Acta. -1967.-Vol. 12.-P.1097-1107.

[25] Mikhailichenko A.I., Morozov A.N. Poluchenie vysokoporyadochennykh nanotrubchatykh plenok iz dioksida titana // Perspektivnye materialy. 2013. № 5. S. 74-78.

[26] Alivov Y., Fan Z. Y. A TiO<sub>2</sub> nanostructure transformation: from ordered nanotubes to nanoparticles // Nanotechnology. – 2009 – 20, 4056010.

<sup>1,2</sup>М.Ф. Қадір\*, <sup>1,2</sup>Н.Б. Нұрман, <sup>3</sup>В.Ю. Смирнов

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Инженерлік профильді зертхана, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Юлих зерттеу орталығы, Германия

\*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

## ТИТАН ЖӘНЕ АЛЮМИНИЙ ОКСИДТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН НАНОКЕУЕКТІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Андатпа.** Металл оксидтеріне негізделген нанокеуекті мембраналар нанокұрылымдалған материалдарды қалыптастыруда кеңінен қолданылуы, алдын-ала белгіленген құрылымдық қасиеттері бар материалдарды жасауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу жұмысында титан және алюминий оксидтеріне негізделген, анодтау процесімен алынған, бірақ кеуектердің өсуі мен олардың құрылымында айырмашылықтары бар нанокеуекті мембраналардың құрылымдық ерекшеліктері сипатталды. Металдар оксидтері негізіндегі мембраналар U=80-140В, T=17°C бөлме температурасында, қышқылды ортада синтезделді. Мембраналардың құрылымдық ерекшеліктері Quanta 200i 3D (FEI) сканирлеуші электронды микроскоп көмегімен зерттелді. Титан диоксиді пленкалары кеуектердің тар таралуына ие екендігі анықталды, олардың өлшемдері 40-115 нм. Титан диоксиді мен алюминий оксиді наномембраналарының құрылымдық ерекшеліктері нанотехнология мен материалтану саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

**Негізгі сөздер:** нанокеуекті титан диоксиді, нанокеуекті алюминий оксиді, нанокеуекті мембрана, электролит, анодтау процесі, сканирлеуші электронды микроскоп.

<sup>1,2</sup>M.F. Kadir\*, <sup>1,2</sup>N.B. Nurman, <sup>3</sup>V.Y. Smirnov

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Laboratory engineering profile, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Forschungszentrum Jülich (FZJ), Germany

\*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

## STRUCTURAL FEATURES OF NANOPOROUS MEMBRANES BASED ON TITANIUM AND ALUMINUM OXIDES

**Abstract.** Nanoporous membranes based on metal oxides are widely used for the formation of nanostructured materials, since it is possible to create materials with predetermined structural properties. In this research work, the structural features of nanoporous membranes based on titanium and aluminum oxides, which are combined by the production process, but differ in the growth of pores and their structure. Membranes based on metal oxides were synthesized at a voltage of  $U=80-140V$ , at room temperature  $T=17^{\circ}C$ , in an acidic environment. The structural features of the synthesized membranes were studied using Quanta 200i 3D scanning electron microscopy (FEI). It was found that titanium dioxide films have a narrow pore distribution, the sizes of which are in the range of 40-115 nm. Structural differences between titanium oxide and aluminum oxide nanomembranes make it possible to be widely used in the field of nanotechnology and materials science.

**Keywords:** nanoporous titanium dioxide, nanoporous aluminum oxide, nanoporous membrane, electrolyte, anodizing process, scanning electron microscopy.

<sup>1</sup>Н.З.Нурғали\*, <sup>1</sup>О.Р.Сариев, <sup>2</sup>М.С. Алмагамбетов, <sup>2</sup>М.С.Досекенов,  
<sup>1</sup>Б.С. Келаманов, <sup>3</sup>Е.Б. Тажиев

<sup>1</sup>Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», Казахстан

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*e-mail.ru: n.nurgali@yandex.kz

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНИЙ МОНОВАРИАНТНЫХ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В БИНАРНОЙ СИСТЕМЕ Cr-Fe

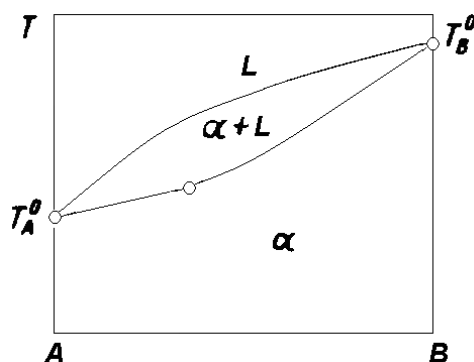
**Аннотация.** В данной статье показана применимость осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма для расчета особенностей полей кристаллизации бинарной системы Cr-Fe. Для определения применимости осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма на базе диаграммы состояния системы Cr-Fe в дополнение к ранее проведенным расчетам были рассчитаны теплоты растворения и коэффициенты активности хрома и железа в расплаве Cr-Fe с атомным содержанием хрома в интервале 0-100% при температурах от 2103 К до 1780 К (со стороны хрома) и от 1812 К до 1780 К (со стороны железа).

Проведенный расчет предполагает положительные отклонения системы Cr-Fe от закона Рауля, также и в случае применения осмотического коэффициента, что подтверждает достоверность и адекватность подхода с позиции концепции Бьеррума-Гуггенгейма при извлечении информации из диаграмм состояний.

Следует отметить, что расчеты на базе регулярных растворов в основном можно применять для систем, не образующих ряд твердых растворов, что также является одним из недостатков указанной методики.

**Ключевые слова:** диаграмма Cr-Fe, термодинамика, фаза, коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма, закон Рауля, рафинированный феррохром.

**Введение.** Теория идеальных растворов в применении к жидкому и твердому растворам дает возможность описать только диаграмму состояния типа «сигары» (рисунок 1). Рассмотрение данной фазовой диаграммы показывает, что добавление компонента В к компоненту А приводит к увеличению температуры плавления последнего, тогда как добавление А к В, наоборот снижает температуру плавления.



**Рисунок 1.** Диаграмма состояния бинарной системы с неограниченной растворимостью в жидкой и твердой фазах

**Материалы и методы.** При условии (а) твердая фаза устойчива в среднем диапазоне концентраций, тогда как жидкая фаза устойчива в областях составов, прилегающих к компонентам А и В [1]. При условии (б) в среднем диапазоне концентраций устойчива

жидкая фаза, а в областях, прилегающих к компонентам А и В, устойчив твердый раствор. В точках max и min составы жидкой и твердой фаз равны, т.е.

$$X_B^L = X_B^S$$

Такие диаграммы ещё называют диаграммами состояния с неограниченной растворимостью, как в жидком, так и в твердом состоянии с точкой равных концентраций. Как известно, термодинамическая классификация растворов основана на характере уравнений для химических потенциалов компонентов раствора. В идеальном растворе для каждого компонента справедливо выражение:

$$\mu_i^{id}(T, P, X) = \mu_i^0(T, P) + RT \ln X_i, \quad (1)$$

где  $\mu_i^0$  - стандартный химический потенциал  $i$ -того вещества в стандартном состоянии;  $X_i$  - мольная концентрация  $i$ -компонента в данном растворе; член  $RT \ln X_i$  - соответствует изменению химического потенциала в результате смешения (при образовании идеального раствора).

По аналогии с уравнением (1) зависимость химических потенциалов неидеального (реального) раствора от концентрации можно записать в виде:

$$\mu_i(T, P, X) = \mu_i^0(T, P) + RT \ln \gamma_i X_i, \quad (2)$$

где  $\gamma_i$  - коэффициент активности.

Общее условие идеальности заключается в том, что для идеального раствора во всей области концентраций выполняется условие:

$$\gamma_i(T, P, X_1, \dots, X_{k-1}) = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

полуэмпирические зависимости для расчета линий ликвидуса и солидуса каждой кристаллизующейся фазы рассматриваемой системы:

$$\ln X_i^L = \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \left( \frac{1}{T_{m,i}} - \frac{1}{T} \right) \frac{1}{\Phi_i''} \quad (4)$$

$$\ln X_i^S = \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \left( \frac{1}{T_{m,i}} - \frac{1}{T} \right) \cdot \left( \frac{1}{\Phi_i''} - \frac{1}{\Phi_i'} \right) \quad (5)$$

Прямолинейный характер изменения величин  $\Phi_i'$  и  $\Phi_i''$  чаще обнаруживается в системах, в расплавах которых преобладает только ван-дер-ваальсовские силы взаимодействия между элементарными структурными единицами. Когда же в расплавах будет иметь место образование различных группировок (ассоциатов) из исходных элементов или, наоборот, диссоциация изучаемого соединения, то коэффициент Бьеррума-Гуттенгейма описывается зависимостью:

$$\Phi_i = A_i + B_i \cdot a_i^{L(S)} + C_i / (a_0 - a_i^{L(S)}) \quad (6)$$



Аналогично вышеприведенным расчетам на базе диаграммы состояния системы Cr-Fe были рассчитаны коэффициенты активности хрома и железа в расплаве Cr-Fe с позиции концепции Бьеррума-Гутгенгейма [4-6]. Исходные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Здесь необходимо отметить, что преимущество использования коэффициента активности состоит в том, что он позволяет сохранить формальное сходство выражений термодинамических свойств реальных растворов с уравнениями для неидеальных растворов. Коэффициент активности растворителя в противоположность коэффициентам активности растворенных компонентов из чисто арифметических соображений не является наиболее подходящей функцией для измерения отклонений от идеальности. Поэтому для растворителя удобнее вместо коэффициента активности использовать другой поправочный фактор, называемый осмотическим коэффициентом Бьеррума – Гутгенгейма.

Таблица 1. Исходные данные железа в системе Fe-Cr вычисленные по уравнениям 4-6

№	$X_{O_{Fe}}^{(L)}$	T, K	$\ln a_{Fe}$	$\ln X_{O_{Fe}}^{(L)}$	$\Phi_i$	$\ln \gamma_i$	$\gamma$	$a_{Fe}$	$X_{Fe} \text{ баз}$	$a_{Fe \text{ баз}}$
1	1	1811	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0,983	1803	-0,00448	-0,01715	0,26106	0,01267	1,012751	0,995534	0,9	0,911475
3	0,959	1793	-0,01013	-0,04186	0,24191	0,031736	1,032245	0,989923	0,8	0,825796
4	0,935	1783	-0,01584	-0,06721	0,23572	0,051366	1,052708	0,984282	0,7	0,736896
5	0,905	1773	-0,02162	-0,09982	0,21660	0,078198	1,081337	0,97861	0,6	0,648802
6	0,89	1768	-0,02454	-0,11653	0,21054	0,091998	1,096362	0,975762	0,5	0,548181
7	0,88	1763	-0,02747	-0,12783	0,2148	0,100367	1,105576	0,972907	0,4	0,44223
8	0,869	1758	-0,03041	-0,14041	0,2166	0,109998	1,116276	0,970044	0,3	0,334883
9	0,855	1753	-0,03338	-0,15665	0,21307	0,123275	1,131196	0,967173	0,2	0,226239
10	0,834	1748	-0,03636	-0,18152	0,20030	0,145162	1,156227	0,964294	0,1	0,115623
11	0,825	1743	-0,03936	-0,19237	0,20459	0,153014	1,165341	0,961407	0	0

Основной особенностью системы Cr-Fe, имеющей важную практическую зависимость, является наличие сигма-фазы [7-11]. Хром с железом образует непрерывный ряд твердых и жидких растворов с минимумом при 30 % Fe и 70 % Cr при температуре 1507°C. Область  $\gamma$ -фазы полностью замыкается при 13 % Cr. Как видно из диаграммы (рисунок 3), температуры ликвидуса и солидуса (1505°C) совпадают при 22 % Cr. При  $\leq 820^\circ\text{C}$  в интервале 30-60 % Cr существует твердая и хрупкая  $\delta$ -фаза мольного состава.

Таблица 2. Исходные данные хрома в системе Fe-Cr вычисленные по уравнениям 4-6

№	$X_{O_{Cr}}^{(L)}$	T, K	$\ln a_{Cr}$	$\ln X_{O_{Cr}}^{(L)}$	$\Phi_i$	$\ln \gamma_i$	$\gamma$	$a_{Fe}$	$X_{Cr} \text{ баз}$	$a_{Cr \text{ баз}}$
1	1	2103	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0,91	2053	-0,029	-0,09431	0,3089667	0,065172	1,067342	0,971282	0,9	0,960608
3	0,87	2013	-0,053	-0,13926	0,38411157	0,08577	1,089556	0,947913	0,8	0,871644
4	0,81	1973	-0,078	-0,21072	0,37411048	0,131888	1,140981	0,924194	0,7	0,798686
5	0,775	1933	-0,105	-0,25489	0,41281164	0,14967	1,161451	0,900124	0,6	0,69687
6	0,705	1893	-0,132	-0,34956	0,37970086	0,21683	1,242133	0,875704	0,5	0,621067
7	0,67	1853	-0,161	-0,40048	0,4030676	0,239058	1,270052	0,850935	0,4	0,508021
8	0,6	1813	-0,191	-0,51083	0,3746442	0,319448	1,376367	0,82582	0,3	0,41291
9	0,5	1793	-0,206	-0,69315	0,29843341	0,486289	1,62627	0,813135	0,2	0,325254
10	0,33	1783	-0,214	-1,10866	0,19368265	0,893934	2,444728	0,80676	0,1	0,244473
11	0,23	1773	-0,222	-1,46968	0,15152179	1,246988	3,479846	0,800365	0	0

На рисунке 2 и 3 представлены рассчитанные по предлагаемой методике активности железа и хрома в системе Fe-Cr.

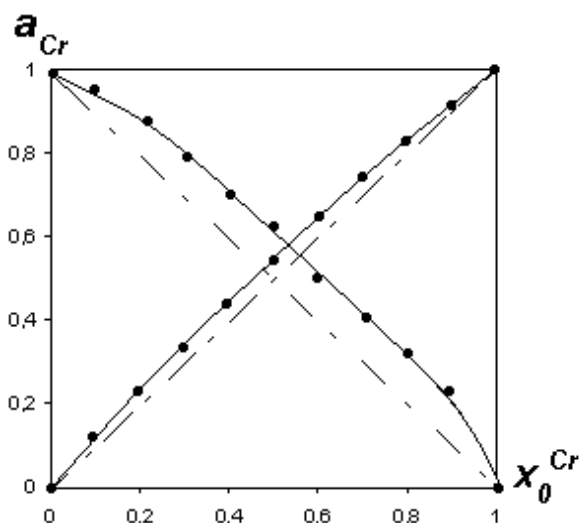


Рисунок 2. Результаты расчета активности железа и хрома

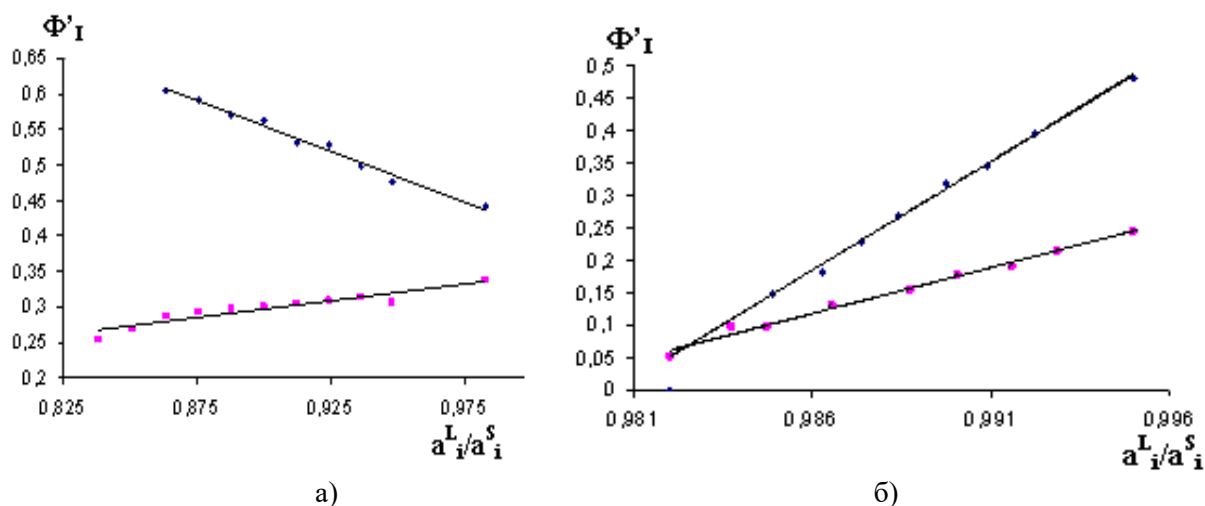


Рисунок 3. Область кристаллизации Cr (а) и Fe (б) в системе Cr-Fe

Для определения применимости осмотического коэффициента Бьеррума-Гуттенгейма на базе диаграммы состояния системы Cr-Fe (рисунок 4) в дополнение к ранее проведенным расчетам были рассчитаны теплоты растворения и коэффициенты активности хрома и железа в расплаве Cr-Fe с атомным содержанием хрома в интервале 0-100% при температурах от 2103 К до 1780 К (со стороны хрома) и от 1812 К до 1780 К (со стороны железа). Расчеты были проведены с помощью математического аппарата теории регулярных растворов.

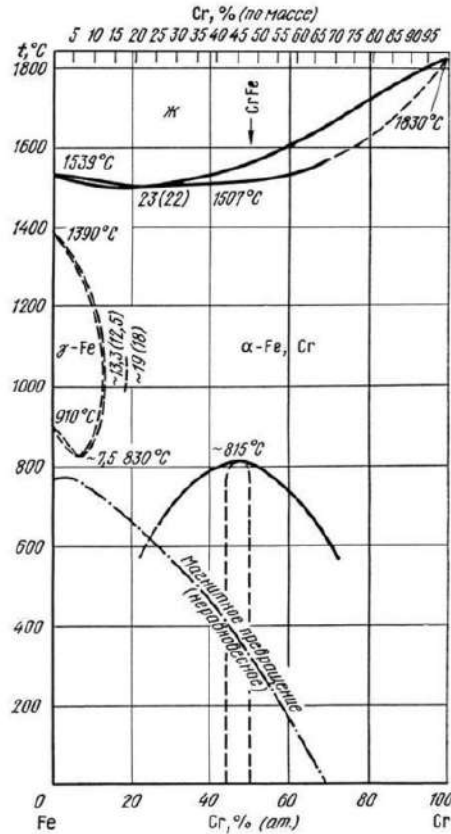


Рисунок 4. Диаграмма состояния системы Cr-Fe [5]

**Результаты и обсуждение.** Основопологающим допущением теории регулярных растворов является то, что энтропия смешения компонентов в таком растворе описывается уравнением идеальной системы, а энтальпия считается отличной от нуля. В жидко-твердой области химические потенциалы компонентов в жидкой и твердой фазах при температуре  $T$ , соответствующие равновесию фаз, одинаковы:  $\mu_i^{ст,(ж)} + RT \ln a_i^{(ж)} = \mu_i^{ст,(ТВ)} + RT \ln a_i^{(ТВ)}$ . В качестве стандартного состояния выбираем чистый компонент  $i$  в жидком и твердом состояниях соответственно для жидкой [ $\mu_i^{ст,(ж)} = \mu_i^{о,(ж)}$ ] и твердой [ $\mu_i^{ст,(ТВ)} = \mu_i^{о,(ТВ)}$ ] фаз. Учитывая, что  $\mu_i^{о,(ж)} = \mu_i^{о,(ТВ)} + \Delta H_{пл(i)} - T\Delta S_{пл(i)} = \mu_i^{о,(ТВ)} + \Delta H_{пл(i)} \cdot (1 - T/T_{пл(i)})$  и  $a_i = \gamma_i x_i$ , получим следующие уравнения для компонентов бинарного сплава:

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_{пл(1)}(1 - T/T_{пл(1)}) + RT \ln x_1^{(ж)} + RT\gamma_1^{(ж)} &= RT \ln x_1^{(ТВ)} + RT\gamma_1^{(ТВ)} \\ \Delta H_{пл(2)}(1 - T/T_{пл(2)}) + RT \ln x_2^{(ж)} + RT\gamma_2^{(ж)} &= RT \ln x_2^{(ТВ)} + RT\gamma_2^{(ТВ)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Температура  $T$  в двухфазной области и соответствующие ей составы равновесных фаз (точки  $x_i^{(ж)}$  и  $x_i^{(ТВ)}$ ) определяются из диаграммы состояния. В системе уравнений (1) являются неизвестными четыре величины: коэффициенты активности железа и хрома в жидкой и твердой фазах.

Для их определения необходимы еще два уравнения. Из приближения теории регулярных растворов для каждой равновесной твердой и жидкой фаз парциальные энтальпии смешения компонентов выражается следующими соотношениями [8-12]:

$$\Delta H^{L(S)}_1 = RT^{L(S)} \gamma_1 = (1 - x^{L(S)}_1)^2 \Omega^{L(S)}; \quad (8)$$

$$\Delta H^{L(S)}_2 = RT^{L(S)} \gamma_2 = (1 - x^{L(S)}_2)^2 \Omega^{L(S)}; \quad (9)$$

где  $\Omega$  - энергия обмена компонентов в соответствующей фазе, которая является основным параметром теории [Дж/моль].

С учетом выражений (8) и (9) уравнение (10) преобразуется к виду:

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_{\text{пл}(1)}(1-T/T_{\text{пл}(1)})+RT \ln x_1^{(\text{ж})}+(1-x_1)^2 \Omega^{(\text{ж})} &= RT \ln x_1^{(\text{тв})}+(1-x_1^{(\text{тв})})^2 \Omega^{(\text{тв})} \\ \Delta H_{\text{пл}(2)}(1-T/T_{\text{пл}(2)})+RT \ln x_2^{(\text{ж})}+(1-x_2)^2 \Omega^{(\text{ж})} &= RT \ln x_2^{(\text{тв})}+(1-x_2^{(\text{тв})})^2 \Omega^{(\text{тв})} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Таблица 3. Расчетные значения ( $\gamma$ ) и  $\Delta H$  железа и хрома по диаграмме Cr-Fe

Исходные данные			Результаты расчета	
для железа				
$X_{\text{Fe}}^{(\text{ж})}$	$X_{\text{Fe}}^{(\text{тв})}$	$\Omega_{\text{Fe}}^{(\text{ж})}$ Дж/моль	$(\gamma_{\text{Fe}})$	$\Delta H_{\text{Fe}}$ , Дж/моль
0,98	0,99	4623	1,0000	0,92
0,92	0,97	3120	1,0006	9,36
0,865	0,935	2210	1,001	22,1
для хрома				
$X_{\text{Cr}}^{(\text{ж})}$	$X_{\text{Cr}}^{(\text{тв})}$	$\Omega_{\text{Cr}}^{(\text{ж})}$ Дж/моль	$(\gamma_{\text{Cr}})$	$\Delta H_{\text{Cr}}$ , Дж/моль
0,955	0,988	566,6	1,00002	0,4
0,91	0,975	3387,7	1,0006	10,16
0,87	0,96	2391	1,0009	16,74
0,84	0,94	1114	1,0008	13,37
0,81	0,925	2393	1,02	359
0,775	0,9	7716,3	1,01	231,48
0,74	0,88	3553	1,0008	142,12
0,705	0,85	4016	1,02	321,28
0,67	0,825	3434,8	1,01	206
0,635	0,795	2022,2	1,16	242,66
0,6	0,765	6832,7	1,04	683,3
0,55	0,725	9720	1,24	3499,2
0,5	0,685	7207	1,2	2883
0,44	0,63	1041,4	1,15	2083
0,37	0,55	7423,7	1,069	1484,5
0,23	0,35	6751	1,2	3375,5

Система уравнений (7) содержит две неизвестные величины и легко разрешаются относительно  $\Omega^{(\text{ж})}$  и  $\Omega^{(\text{тв})}$  [13]. Результаты расчетов коэффициентов активностей и теплота растворения согласно системе уравнений (10) приведены в таблице 3.

**Выводы.** Проведенный расчет предсказывает положительные отклонения системы Cr-Fe от закона Рауля также, как и в случае применения осмотического коэффициента, что подтверждает достоверность и адекватность подхода с позиции концепции Бьеррума-Гуттенгейма при извлечении информации из диаграмм состояний.

Следует отметить, что расчеты на базе регулярных растворов в основном можно применять для систем, не образующих ряд твердых растворов, что также является одним из недостатков указанной методики.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Baisanov S. Phase equilibrium thermodynamics in binary systems // Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferrous Alloys Congress: Efficient Technologies in Ferrous Alloy Industry, 2020, pp. 605-620.
- [2] Агеев Н.В. Расчеты и экспериментальные методы построения диаграмм состояния. - М.: Наука, 1985. - 184 с.
- [3] Морачевский А.Г. Термодинамика расплавленных металлических и солевых систем. - М.: Metallurgiya, 1987. - 240 с.
- [4] Алмагамбетов М.С., Байсанов С.О., Абдулабеков Е.Э. и др. Фазовое состояние процесса плавки рафинированных сортов феррохрома // Межд. научно-практ. конф. посв. 80-летию Е.А. Букетова / «Академик Е.А. Букетов – ученый, педагог, мыслитель» - Караганды, 2005 - Т-3.- С.-314-321.
- [5] Байсанов С.О., Нурумгалиев А.Х., Абишев Д.Н. Закономерности фазового равновесия твердое – жидкость в бинарных неизоморфных системах // ДАН СССР. – 1986. – Т.289, №6. – С.1399-1403.
- [6] Толоконникова В.В., Байсанов С.О., Куликов И.С. Обобщенные уравнения линии солидуса и ликвидуса в двойных системах на основе железа // Металлы. – 1989. – №2. – С.34-37.
- [7] Кубашевски О. Диаграммы состояния двойных систем на основе железа: Справочное издание. Пер. с англ. М., Metallurgiya, 1985, 184 с.
- [8] Григорян В.А., Стомахин А.Я., Пономаренко А.Г. и др. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: Уч. пособие для ВУЗов. М., Metallurgiya, 1989, 288 с.
- [9] Акбердин А.А. Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем // КИМС. - 1995. - №3. - С. 92-93
- [10] Akberdin A., Kim A., Sultangaziyev R., Karbayev M. Thermodynamic modeling of the borbarium ferroalloy smelting technological process // Metalurgija, 2020, 59(3), pp. 333-336
- [11] Oskembekov, I.M., Kasenov, B.K. Calculations of the thermodynamic properties of rare-earth metal ferrites doped with alkaline-earth metals // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2002, 76(12), С. 1930-1932.
- [12] Kelamanov, B., Samuratov, Y., Zhumagaliyev, Y., Akuov, A., Sariev, O. Titanium and chrome oxides system thermodynamic diagram analysis // Metalurgija, 2020, 59(1). - pp. 101-104.
- [13] Алмагамбетов М.С., Байсанов С.О., Нурмали Н.З. и др. Расчет термодинамических характеристик сплавов системы Cr-Fe на базе её диаграммы состояния. // Тез. докл. Межд. научно-практическая конференция. «Жидкость на границе раздела фаз - теория и практика» / Караганды, 2006. - С.605-607.

## REFERENCES

- [1] Baisanov S. Phase equilibrium thermodynamics in binary systems // Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferrous Alloys Congress: Efficient Technologies in Ferrous Alloy Industry, 2020, pp. 605-620.
- [2] Ageyev N.V. Raschety i eksperimental'nyye metody postroyeniya diagramm sostoyaniya [Calculations and experimental methods for constructing state diagrams]. - M.: Nauka, 1985. - 184 s.
- [3] Morachevskiy A.G. Termodinamika rasplavlennykh metallicheskiykh i solevykh system [Thermodynamics of molten metal and salt systems]. - M.: Metallurgiya, 1987. - 240 s.
- [4] Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Abdulabekov Ye.E. i dr. Fazovoye sostoyaniye protsessa plavki rafinirovannykh sortov ferrokroma [Phase state of the process of smelting refined ferrochrome grades] // Mezhd. nauchno-prakt. konf. posv. 80-letiyu Ye.A. Buketova / «Akademik Ye.A. Buketov – uchenyy, pedagog, myslitel'» - Karagandy, 2005 - T-3.- S.-314-321.
- [5] Baysanov S.O., Nurumgaliyev A.X., Abishev D.N. Zakonomernosti fazovogo ravnovesiya tverdoye - zhidkost' v binarnykh neizomorfnykh sistemakh [Regularities of solid-liquid phase equilibrium in binary non-isomorphic systems] // DAN SSSR. – 1986. – T.289, №6. - S.1399-1403.
- [6] Tolokonnikova V.V., Baysanov S.O., Kulikov I.S. Obobshchennyye uravneniya linii

solidus i likvidusa v dvoynykh sistemakh na osnove zheleza [Generalized equations of the solidus and liquidus lines in binary systems based on iron] // *Metally*. – 1989. – №2. – S.34-37.

[7] Kubashevski O. Diagrammy sostoyaniya dvoynykh sistem na osnove zheleza [Diagrams of Binary Systems Based on Iron]: Spravochnoye izdaniye. Per. s angl. M., Metallurgiya, 1985, 184 s.

[8] Grigoryan V.A., Stomakhin A.YA., Ponomarenko A.G. i dr. Fiziko-khimicheskiye raschety elektrostaleplavil'nykh protsessov [Physical and chemical calculations of electric arc furnace processes]: Uchebnoye-posobiye dlya VUZov. M., Metallurgiya, 1989, 288 s.

[9] Akberdin A.A. Balansovyy metod rascheta ravnovesnogo fazovogo sostava mnogokomponentnykh system [Balance method for calculating the equilibrium phase composition of multicomponent systems] // *KIMS*. - 1995. - №3. - S. 92-93.

[10] Akberdin A., Kim A., Sultangaziyev R., Karbayev M. Thermodynamic modeling of the Pborbarium ferroalloy smelting technological process // *Metalurgija*, 2020, 59(3)- P. 333-336

[11] Oskembekov, I.M., Kasenov, B.K. Calculations of the thermodynamic properties of rare-earth metal ferrites doped with alkaline-earth metals // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2002, 76(12)- P. 1930-1932

[12] Kelamanov, B., Samuratov, Y., Zhumagaliyev, Y., Akuov, A., Sariev, O. Titanium and chrome oxides system thermodynamic diagram analysis // *Metalurgija*, 2020, 59(1). - pp. 101-104.

[13] Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Nurgali N.Z. i dr. Raschet termodinamicheskikh kharakteristik splavov sistemy Cr-Fe na baze yeyo diagrammy sostoyaniya [Calculation of thermodynamic characteristics of alloys of the Cr-Fe system on the basis of its state diagram] // *Tez. dokl. Mezhd. nauchno-prakticheskaya konferentsiya. «Zhidkost' na granitse razdela faza -teoriya i praktika» / Karagandy*, 2006. - S.605-607.

<sup>1</sup>Н.З. Нурғали\*, <sup>1</sup>О.Р. Сариев, <sup>2</sup>М.С. Алмағамбетов, <sup>2</sup>М.С. Досекенов,  
<sup>1</sup>Б.С. Келаманов, <sup>3</sup>Е.Б. Тажиев

<sup>1</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан  
<sup>2</sup>«ERG- дің ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Қазақстан  
<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail.ru: n.nurgali@yandex.kz

### Cr-Fe ЕКІЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ БІРНҰСҚАЛЫҚ ФАЗАЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕҢДІК СЫЗЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада Cr-Fe екілік жүйесінің кристалдану өрістерінің ерекшеліктерін есептеу үшін Бьеррум-Гуггенгеймнің осмотикалық коэффициентінің қолданылуы көрсетілген. Бьеррум-Гуггенгейм осмотикалық коэффициентінің қолданылуын анықтау үшін Cr-Fe жүйесінің жай-күйінің диаграммасы негізінде бұрын жүргізілген есептеулерге қосымша 2103 К-ден 1780 К-ге дейінгі (хром жағынан) және 1812 К-ден 1780 К-ге дейінгі (темір жағынан) температура кезінде 0-100% аралықтағы хромның атомдық құрамы бар Cr-Fe балқымасындағы хром мен темірдің белсенділік коэффициенттері мен еру жылулары есептелді.

Жүргізілген есептеу Cr-Fe жүйесінің Рауль заңынан оң ауытқуын, сондай-ақ осмотикалық коэффициентті қолдану жағдайында болжайды, бұл мемлекеттік диаграммалардан ақпарат алу кезінде Бьеррум-Гуггенгейм тұжырымдамасы тұрғысынан көзқарастың сенімділігі мен жеткіліктілігін растайды.

Айта кету керек, тұрақты ерітінділерге негізделген есептеулерді негізінен бірқатар қатты ерітінділерді құрмайтын жүйелер үшін қолдануға болады, бұл да осы техниканың кемшіліктерінің бірі болып табылады.

**Негізгі сөздер:** Cr-Fe диаграммасы, термодинамика, фаза, Бьеррум-Гуггенгейм коэффициенті, Рауль Заңы, тазартылған феррохром.

<sup>1</sup>N.Z. Nurgali\*, <sup>1</sup>O.R. Sariyev, <sup>2</sup>M.S. Almagambetov, <sup>2</sup>M.S. Dossekenov,  
<sup>1</sup>B.S. Kelamanov, <sup>3</sup>Ye.B. Tazhiyev

<sup>1</sup>Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

<sup>2</sup>LLP «ERG Research and Engineering Center», Kazakhstan

<sup>3</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail.ru: n.nurgali@yandex.kz

## REGULARITIES OF FORMATION OF LINES OF MONO-VARIANT PHASE EQUILIBRIA IN THE BINARY Cr-Fe SYSTEM

**Abstract.** This paper shows the applicability of the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient for calculating the features of the crystallization fields of the Cr-Fe binary system. To determine the applicability of the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient, the dissolution heats and activity coefficients of chromium and iron in a Cr-Fe melt with an atomic content of chromium in the range of 0-100% were calculated on the basis of the Cr-Fe system state diagram, in addition to the previously performed calculations, at temperatures from 2103 K to 1780 K (on the chromium side) and from 1812 K to 1780 K (on the iron side).

The calculation predicts positive deviations of the Cr-Fe system from Raoult's law, as well as in the case of the osmotic coefficient, which confirms the reliability and adequacy of the approach from the perspective of the Bjerrum-Guggenheim concept when extracting information from state diagrams.

It should be noted that calculations based on regular solutions can mainly be used for systems that do not form a series of solid solutions, which is also one of the disadvantages of this method.

**Keywords:** Cr-Fe diagram, thermodynamics, phase, Bjerrum-Guggenheim coefficient, Raoult's law, refined ferrochrome.

<sup>1</sup>Д. Р. Аубакиров\*, <sup>1</sup>А. З. Исагулов, <sup>1</sup>В. Ю. Куликов,  
<sup>1</sup>Р. Б. Султангазиев, <sup>2</sup>Б. Ж. Толукпаев

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганды, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, Караганды, Казахстан

\*e-mail: [dastan\\_kstu@mail.ru](mailto:dastan_kstu@mail.ru)

## ВЫБОР ЛИТЕЙНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ, СОЧЕТАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УДАРНОЙ И АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ

**Аннотация.** В данном исследовании приведены результаты работ по выбору наиболее технологически и экономически эффективных составов износостойких Fe-C-сплавов для деталей промышленного оборудования и технологий их производства. Рассмотрены основные виды существующих износостойких сталей и чугунов, показаны их составы и свойства, описаны основные преимущества и недостатки. С точки зрения экономической выгоды и простоты технологии, одним из наиболее эффективных для отливки деталей, подвергающихся интенсивным ударным и истирающим воздействиям, является половинчатый чугун с шаровидным графитом, полученный в результате низкого легирования хромом и последующего модифицирования магнийсодержащей добавкой. Основным преимуществом данного сплава, определяющим высокую его износостойкость, является то, что в данном случае, в структуре внешнего приповерхностного слоя отливки углерод находится в виде легированных хромом и марганцем мелкодисперсных карбидных включений, что обеспечивает высокую твердость и сопротивление абразивному износу, а во внутренних глубинных слоях отливки углерод находится в виде шаровидного и вермикулярного графита – это обеспечивает повышенную ударную вязкость сплава.

**Ключевые слова:** высокопрочный чугун, шаровидный графит, износостойкость, ударопрочность, сталь, сплав, литьё, отливка, легирование, модифицирование, внепечная обработка, модификатор, лигатура, магний.

Проведенный мониторинг потребности деталей, изготавливаемых из износостойких сплавов и применяемых в металлургическом секторе Республики Казахстан, выявил наиболее востребованные и требующие замены не менее 2 раз в год наименования литых изделий (таблица 1) [1].

Таблица 1. Наиболее востребованные детали металлургического сектора, производимые из износостойких материалов

№ п/п	Наименование детали	Потребность, не менее тыс.т. в год	Материал
1	Мелющие шары разного диаметра	100	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
2	Черпак питателя барабанной мельницы	30	легированная сталь
3	Футеровка разгрузочной крышки барабанной мельницы	50	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
4	Била молотковых дробилок	80	легированная сталь
5	Колеса грунтовых насосов типа ГРАТ, ГР	60	легированная сталь
6	Диски грунтовых насосов типа ГРАТ, ГР	40	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
7	Зубья экскаваторных ковшей	35	легированная сталь



Как видно из данных таблицы 1, основными материалами, применяемыми для изготовления перечисленных деталей, являются легированные стали (типа 110Г13Л, 50ГС и др.) и износостойкие хромистые чугуны. Большая часть готовой продукции данного сегмента импортируется в нашу страну из России и Китая.

Таким образом, остро стоит задача создания и применения собственных разработок в области производства новых износостойких сплавов для изготовления перечисленных деталей, причем эти материалы должны быть сопоставимы по свойствам с зарубежными аналогами, иметь казахстанское содержание, что позволит снизить их себестоимость и сделать конкурентоспособными на рынке.

Изучение существующих составов современных износостойких железоуглеродистых сплавов, ознакомление с их эксплуатационными свойствами и способами изготовления отливок из них позволяют сделать следующие выводы:

1) в целях оптимизации расходов, производство изделий из высококачественного износостойкого сплава литьём, при условии получения требуемых рабочих свойств непосредственно в литом состоянии, является более предпочтительным. Это существенно расширит возможности его использования для производства наиболее востребованных деталей технологического оборудования, имеющих самые разнообразные геометрические формы, размеры, конфигурацию и достаточно высокую точность, что затруднено, а зачастую и невозможно при изготовлении из проката. Кроме того, литейная технология позволяет более гибко вносить корректировки и работать со сплавом, путём изменения структуры, химического состава и скорости охлаждения отливки;

2) технология стального литья является более сложной и дорогостоящей по сравнению с технологией производства отливок из чугуна, что связано, в первую очередь, с довольно низкими литейными свойствами сталей, которые, чаще всего, обуславливают повышенную усадку и связанную с этим склонность к образованию на различных этапах множества как явных, так и скрытых дефектов. Напротив, более высокая технологичность чугунов позволяет избежать, в большинстве случаев, множества дополнительных расходов, неизбежных при производстве отливок из стали, таких как: технологические припуски и напуски, увеличение сечения литников, усиленные меры по обеспечению направленной кристаллизации (прибыли, бобышки, холодильники), проведение обязательной термовременной обработки и т.д.;

3) изучение технологий производства деталей из наиболее распространённых типов износостойких сталей и исследование их свойств показывает, что:

– изделия из подшипниковых сталей изготавливаются, в большинстве случаев, методами интенсивной пластической деформации и достигают необходимых эксплуатационных свойств только после проведения термической обработки, в литом состоянии использование деталей из данных марок технически и экономически нецелесообразно;

– несмотря на достаточно высокие антифрикционные свойства изделий из графитизированных сталей и их высокую стойкость к абразивному износу, использование сталей данного типа для производства отливок, работающих в условиях длительных динамических ударных нагрузок является нерациональным ввиду их достаточно низких механических свойств;

– износостойкие свойства высоколегированных марганцовистых сталей в наибольшей степени проявляются только при условии предварительного ударного упрочнения, когда изделия подвергаются абразивному воздействию без наклёпа, их преимущества в износостойких свойствах не столь очевидны. Также изделия из высоколегированных литейных сталей нуждаются в обязательной термической обработке, что значительно повышает их себестоимость [2-3];

– зарубежные марки сталей типа Hardox<sup>®</sup> изготавливаются, в основном, в виде листового проката и имеют немалую стоимость (в зависимости от марки ≈ 1050 – 3800\$/тн),

что, несмотря на достаточно высокие служебные свойства, накладывает определённые ограничения на область их использования;

4) изучение рабочих свойств и обзор технологий литья из различных групп износостойких чугунов и показывают, что:

– серым износостойким чугунам с мартенситной или игольчатой структурой, несмотря на их относительно невысокую стоимость и хорошую обрабатываемость резанием, характерна чувствительность прочности и износостойкости от массы и толщины сечения отливки, а их сравнительно невысокие эксплуатационные свойства не позволяют применять их для деталей, работающих в тяжёлых условиях;

–к основным недостаткам отбелённых чугунов, помимо их плохой обрабатываемости, относится значительное снижение износостойкости металла по сечению отливки от поверхности к сердцевине, что ограничивает их использование в качестве материала для производства мелющих тел;

– легированные высокохромистые белые чугуны (содержащие более 10% Cr) с карбидами типа  $Me_{23}C_6$  и  $Me_7C_3$ , хотя и обладают наиболее высокими показателями по твёрдости и износостойкости, однако имеют высокую линейную усадку при затвердевании (в пределах 1,8-2,1%), что также повышает склонность к образованию литейных дефектов в виде раковин и трещин. Также чугуны данной группы нуждаются в обязательной достаточно сложной и дорогостоящей термической обработке, что также накладывает некоторые ограничения в их эксплуатации с экономической точки зрения;

– значительно снизить общую степень легирования сплава при сохранении относительно высокой твёрдости, за счёт образования в них карбидов MC наряду с карбидами типа  $Me_7C_3$ , позволяет комплексное легирование белых чугунов Cr, Ti, Nb, Mo и V с последующим модифицированием;

–зарубежные марки чугунов типа «Нихард» обладают невысокой стойкостью к значительным ударным нагрузкам, что является их основным существенным недостатком, а также, наряду с их невысокими литейными свойствами, чувствительностью к термическим напряжениям и склонностью к образованию холодных и горячих трещин, в литом состоянии отличаются низкой технологичностью. Достижение необходимых эксплуатационных свойств сплавов данного типа возможно только при условии двойной или тройной термообработки (отжиг, закалка, нормализация, отпуск) [4-5];

5) высокопрочный чугун с шаровидным графитом, обладая комплексом высоких физико-механических свойств, позволяет достичь наивысших показателей долговечности и стойкости деталей и конструкций по сравнению с другими более дорогими сплавами, а в ряде случаев его применение является безальтернативным как, например, при производстве строительных забивных свай [6].

С точки зрения оптимального сочетания ударной и абразивной стойкости деталей из чугуна, представляют несомненный интерес частично графитизированные чугуны, имеющие в структуре, как графит шаровидной формы, так и структурно-свободный цементит. При этом, если наличие цементита обеспечивает повышенную износостойкость при истирании, то ШГ в структуре такого чугуна оказывает смазывающее действие, смягчая разрушительное внешнее воздействие на элементы структуры [6-8].

Химический состав и механические свойства традиционных ЧШГ в странах СНГ регламентируется ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки».

Зарубежом состав и свойства высокопрочных чугунов нормируются международными стандартами ISO 400-18S / 800-2, европейскими – EN 1563 «Founding. Spheroidal graphite cast irons» и EN 1564 «Founding. Austempered ductile cast irons», рядом иностранных стандартов - WNr 0.7040-0.7080 и DIN GGG40-80 (Германия), SAE J434 «Automotive Ductile (Nodular) Iron Castings», ASTM A536 «Standard for Ductile Iron Castings» (таблицы 2, 3) и ASTM A897 / A897M – 16 «Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings» (таблица 4) (США), JIS FCD400 - FCD800 (Япония), AFNOR FGS-400-12 / FGS800-2 (Франция), BS 420/12-800/2

• Химико-металлургические науки

(Великобритания), UNI GS 400-12/800-2 (Италия), GB QT 400-15 (Китай), IS SG800/2 (Индия), SS 0717-02/0864-03 (Швеция) и др. [9-10].

Таблица 2. Химический состав высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по американскому стандарту ASTM A536–84(2019)e1 [9-10]

Марка	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mg
Grade 60-40-18	3,4-3,8	2,0-2,5	≤0,3	≤0,02 5	≤0,00 8	≤ 0,08	≤0,5	≤0,2	0,025- 0,055
Grade 65-45-12		2,35-	≤0,4					≤0,4	
Grade 80-55-06		2,75						≤0,6	
Grade 100-70-03		2,25-3,0	0,15-0,35						

Из указанных в таблице 2 марок высокопрочных чугунов только изделия из Grade 65-45-12 и 80-55-06 используются непосредственно в литом состоянии, а изделия из остальных марок используют после соответствующих видов термической обработки: для Grade 80-55-06 – отжиг, для Grade 100-70-03 – нор мализация, для Grade 120-90-02 – закалка и отпуск [11].

Таблица 3. Механические свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по стандартам США ASTM A536–84(2019)e1 и SAE J434 [9-10]

Американские спецификации	Марка чугуна	Прочность при растяжении, psi	Предел текучести, psi	Удлинение, %	Твердость, НВ
ASTM A536	60-40-18	60 000	40 000	18	143 ≅ 187
SAE J434	D4018	60 000	40 000	18	170 max
ASTM A536	65-45-12	65 000	45 000	12	156 ≅ 217
SAE J434	D4512	65 000	45 000	12	156 ≅ 217
ASTM A536	80-55-06	80 000	55 000	6	187 ≅ 255
SAE J434	D5506	80 000	55 000	6	187 ≅ 255
ASTM A536	100-70-03	100 000	70 000	3	241 ≅ 302
SAE J434	D7003	100 000	70 000	3	241 ≅ 302
ASTM A536	120-90-02	120 000	90 000	2	255 ≅ 302

Таблица 4. Механические свойства аустенитных высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, для изделий работающих под давлением, по стандарту ASTM A897 (США) [9-10]

Марка чугуна ASTM A897	Прочность при растяжении, psi	Предел текучести, psi	Удлинение, %	Ударная вязкость, ft-lb
Grade 1	125 000	80 000	10	75
Grade 2	150 000	100 000	7	60
Grade 3	175 000	125 000	4	45
Grade 4	200 000	155 000	1	25
Grade 5	250 000	185 000		

Аустенитные высокопрочные чугуны, приведённые в таблице 4, легируются никелем, и, кроме высоких прочностных свойств, характеризуются также и повышенной износостойкостью и коррозионной устойчивостью [9-10].

Наличие пластинчатого или вермикулярного графита в структуре хромоникелевых чугунов, при воздействии ударных нагрузок, способствует появлению трещин в отливках

[11-12], тогда как модифицирование сфероидизирующими лигатурами за счёт получения в структуре чугуна графита правильной шаровидной формы, позволяет значительно улучшить их прочность и ударостойкость. Шаровидная форма графита в меньшей степени ослабляет рабочее сечение матрицы и не оказывает сильного надрезающего действия, способствующего к созданию высоких концентраций напряжений вокруг сфероидов графита [13-16]. Также в работе [17] показано благоприятное влияние наличия включений ШГ в металлической основе ХНЧ на инверсию карбидной фазы, а значит и повышению износостойких свойств сплава.

Повышение стойкости хромоникелевых чугунов к ударам возможно путём их внепечной обработки такими поверхностно-активными элементами, как Ti, B, V и Mg, Ce, Te-содержащими лигатурами (МЦ-40, МЦ-65, МЦ-75, ФЦМ-5, МЦМ5, Ni-Mg, ДМК-7, Ni-Mg-Ce) [13-15, 18-20].

В качестве глобуляризирующих модификаторов в производстве ЧШГ используются в чистом виде или в виде лигатур и смесей такие элементы, как Mg, Ce, Ca, Li, Zn, Ba, K, Na, Th, однако наиболее распространённым из них, в силу относительной дешевизны и недефицитности, всё же является магний [15, 20]. Такие элементы, как Cr, Sb, Bi, S, Se, Te являются антиграфитизаторами, их поверхностно-активные свойства вызывают охлаждение чугуна [21].

Так в ряде зарубежных стран давно используются никельмагниевого лигатуры Incomag-alloy производства International Nickel Company (США), кремниймагниевого лигатуры Remag (США), сплавы Si-Mg-РЗМ фирмы Foote Ferroalloys (США), а также кремнемагнийкальциевые лигатуры ЖКМК-1÷6 и РЗМ-Mg (Россия), комплексные модификаторы КМ-1÷8 (Украина), модификаторы КСи ОZ (Япония) и многие другие. В данных модификаторах, помимо основных легирующих, графитизирующих, рафинирующих и раскисляющих компонентов Mg, Ni, Ca, Si, Ce, Al и Fe также могут содержаться РЗМ, которые позволяют уменьшить пироэффект и дымовыделение за счёт существенного подавления упругости образующихся паров, повысить плотность чугуна и снизить склонность к отбелу, тем самым повышая эффект модифицирования [20].

Расход магниевой присадки при модифицировании зависит от применяемой технологии введения, исходного содержания S, сечения отливки и составляет около 0,1-0,4% массы жидкого чугуна в ковше. Считается, что остаточная концентрация Mg в чугуне, наиболее эффективная для образования ШГ, находится в пределах 0,04% [15, 22]:

$$\sum \text{Mg} = [0,04 + 0,76 (S_{\text{исх}} - 0,02)] \frac{1}{n},$$

где  $S_{\text{исх}}$  – содержание серы в чугуне, %;

0,76 – соотношение атомных масс Mg и S;

n – коэффициент усвоения магния, обычно от 0,1 до 0,5 (зависит от способа модифицирования, начального содержания Mg в лигатуре и температуры чугуна).

Таблица 5. Химический состав высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85 [13, 15, 20]

Марка	Содержание элементов*, %						Структура металлической основы
	C	Si	Mn	Cr	S	P	
ВЧ 38-17	3,4-3,8	2,1-2,8	0,4	≤ 0,05	≤ 0,002	≤ 0,1	ферритная
ВЧ 42-12		2,1-2,7		≤ 0,1	≤ 0,02		
ВЧ 45-5							
ВЧ 50-2	3,2-3,6	1,9-2,2	0,5-0,8	≤ 0,1	≤ 0,02	≤ 0,1	перлитно-ферритная
ВЧ 60-2		1,9-2,2					

• Химико-металлургические науки

ВЧ 70-2		2,6-2,9	0,6-0,9			бейнитная
ВЧ 80-2		2,6-2,8		$\leq$ 0,002		
ВЧ 100-2		3,4-3,8		$\leq$ 0,02		
ВЧ 120-2						

\* Содержание химических элементов после модифицирования.

Усвоение магния из лигатуры и степень сфероидизации графита, помимо базового содержания Mg в присадке, также во многом зависит от способа модифицирования, температуры заливки металла (считается, что полная сфероидизация графита происходит при 1420-1480°C), времени его перемешивания и выдержки (обычно от 20 до 120 секунд).

Основное влияние на свойства ЧШГ оказывают Si, Mn и P, в то время как C не оказывает заметного влияния на мех. свойства чугуна (пределы его содержания 3,2-3,8% обуславливаются необходимой жидкотекучестью для качественной заливки).

Физико-механические и эксплуатационные свойства ЧШГ зависят, в основном, от химического состава металла, а на структуру его металлической основы и уровень механических свойств, помимо химического состава, оказывают значительное влияние скорость кристаллизации и режим применяемой термообработки.

Испытания механических свойств ВЧШГ проводятся: на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение», на ударную вязкость согласно ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах», на твердость по ГОСТ 27208-87 «Отливки из чугуна. Методы механических испытаний».

Таблица 6. Термическая обработка и механические свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85 [13, 15, 20]

Марка чугуна	Механические свойства					Вид применяемой термообработки
	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta, \%$	КС, кДж / м <sup>2</sup>	Твёрдость НВ	
	МПа					
ВЧ 38-17	380	235	17	58,8	140-170	Отжиг
ВЧ 42-12	420	275	12	39,2	140-200	
ВЧ 45-5	450	324	5	29,4	160-220	
ВЧ 50-2	500	372	2	19,6	180-260	
ВЧ 60-2	600	392		29,4	200-280	Нормализация
ВЧ 70-2	700			19,6	229-275	
ВЧ 80-2	800	490		29,4	220-300	Двойная нормализация
ВЧ 100-2	1000	686		29,4	302-369	Изотермическая закалка и отпуск
ВЧ 120-2	1200	882			302-360	

Таким образом, с точки зрения оптимального сочетания ударной и абразивной стойкости деталей из чугуна, без значительного удорожания, наиболее привлекательны частично графитизированные чугуны, имеющие в структуре, как графит шаровидной формы, так и структурно-свободный цементит, что достигается внепечной обработкой сплава магнийсодержащими модификаторами. При этом, достаточно невысокое остаточное содержание Mg в чугуне (в пределах 0,04%), требуемое для образования ШГ, также свидетельствует об экономичности процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куликов В. Ю., Аубакиров Д. Р., Квон Св. С., Достаева А. М., Щербакова Е. П. Применение износостойких материалов в металлургической отрасли Республики Казахстан // Научно-технический и производственный журнал «Металлург», – 2018, – №10, – С. 80-83.
- [2] Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Том 3. Специальные стали и сплавы. Под редакцией Ф. Ф. Химушина.– М.: Изд-во Машиностроение, 1968 –446 с.
- [3] Гольдштейн М.Н., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. /М.: Изд-во Металлургия, 1989 – 408 с.
- [4] Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Том 4. Чугун. Под редакцией И. В. Кудрявцева.– М.: Изд-во Машиностроение, 1969–248 с.
- [5] Чугун. Справочник /под редакцией А. Д. Шермана и А. А. Жукова – М.: Изд-во Металлургия, 1991 –576 с.
- [6] Н. И. Бех, Н. Н. Александров, Ф. А. Нуралиев. Высокопрочный чугун сейчас и в будущем// «Литейное производство», –2018.– № 5.–С. 2-5.
- [7] Справочник по чугунному литью/под редакцией Н. Г. Гиршовича.– Л.: Изд-во Машиностроение, 1978 –758 с.
- [8] Марукович Е. И., Карпенко М. И. Износостойкие сплавы.– М.: Изд-во Машиностроение, 2005 –428 с.
- [9] А. П. Цвияк. Краткий справочник машиностроителя международного. СПб.: Питер, 2011. – 384 с.
- [10] Классификация и характеристика чугунов в США. Ресурс – <http://www.detalmach.ru/spravka356.html>
- [11] An Introduction to Ductile Iron. Ресурс – <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=797>
- [12] Н. С. Гуцин. Исследование и разработка технологии изготовления отливок из износостойкого чугуна с шаровидным графитом: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2000.–19 с.
- [13] Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев, Наук. думка, 1986 –248 с.
- [14] Л. А. Шевчук. Структура и свойства чугуна. Минск, Изд-во Наука и техника, 1978 –216 с.
- [15] К. И. Ващенко, Л. Софрони. Магнийевый чугун. Киев, М.: Изд-во Машгиз, 1960 –487 с.
- [16] А. А. Тахиров, Н. С. Гуцин. Хромоникелевый чугун с шаровидным графитом // «Литейное производство», – 2012.– № 12.–С. 2-4.
- [17] Н. С. Гуцин, В. В. Андреев, А. А. Тахиров, Ф. А. Нуралиев. Механизм влияния кремния и шаровидного графита на абразивную износостойкость хромоникелевого чугуна // «Литейное производство», – 2018.– № 6.–С. 2-5.
- [18] Н. С. Гуцин, Ф. А. Нуралиев, А. А. Тахиров. Особенности получения мелкодисперсной металлической основы хромоникелевого чугуна // «Литейное производство», – 2018.– № 6.–С. 2-5.
- [19] Е. И. Марукович, А. М. Брановицкий, Ю. А. Лебединский, Ю. В. Саченко, В. А. Харьков. Исследование литья в кокиль цильпесов // «Литьё и металлургия», – 2016.– № 1 (82).–С. 27-33.
- [20] В. С. Шумихин, В. П. Кутузов, А. И. Храмченков и др. / под редакцией Н. Н. Александрова. Высококачественные чугуны для отливок. М.: Изд-во Машиностроение, 1982 –222 с.
- [21] S. V. Davidov, A. O. Gorlenko. A new type of antifriction and wear resistant malleable cast iron // «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», –2016. –Volume 124. – Pp. 1-5.
- [22] В. Л. Найдек, И. Г. Неижко, В. П. Гаврилюк. Шаровидный графит в чугунах // «Литейное производство», – 2018.– № 12.–С. 6-10.

### REFERENCES

- [1] Kulikov V. Yu., Aubakirov D. R., Kvon Sv. S., Dostaeva A. M., Shcherbakova E. P. Primenenie iznosostoikikh materialov v metallurgicheskoi otrasli Respubliki Kazakhstan // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal «Metallurg», – 2018, – №10, –S. 80-83.
- [2] Materialy v mashinostroenii. Vychor i primenenie. Tom 3. Spetsial'nye stali i splavy. Pod redaktsiei F. F. Khimushina.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1968 –446 s.
- [3] Gol'dshtein M.N., Grachev S.V., Veksler Yu.G. Spetsial'nye stali. /M.: Izd-vo Metallurgiya, 1989 – 408 s.
- [4] Materialy v mashinostroenii. Vychor i primenenie. Tom 4. Chugun. Pod redaktsiei I. V. Kudryavtseva.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1969–248 s.

- [5] Chugun. Spravochnik /pod redaktsiei A. D. Shermana i A. A. Zhukova – M.: Izd-vo Metallurgiya, 1991 –576 s.
- [6] N. I. Bekh, N. N. Aleksandrov, F. A. Nuraliev. Vysokoprochnyi chugun seichas i v budushchem// «Liteinoe proizvodstvo», –2018.– № 5.–S. 2-5.
- [7] Spravochnik po chugunnomu lit'yu/pod redaktsiei N. G. Girshovicha.– L.: Izd-vo Mashinostroenie, 1978 –758 s.
- [8] Marukovich E. I., Karpenko M. I. Iznosostoikie splavy.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 2005 –428 s.
- [9] A.P. Tsviyak. Kratkii spravochnik mashinostroytelya mezhdunarodnika. SPb.: Piter, 2011. – 384 s.
- [10] Klassifikatsiya i kharakteristika chugunov v SShA. Resurs – <http://www.detalmach.ru/spravka356.html>
- [11] An Introduction to Ductile Iron. Resurs – <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=797>
- [12] N. S. Gushchin. Issledovanie i razrabotka tekhnologii izgotovleniya otlivok iz iznosostoikogo chuguna s sharovidnym grafitom: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Moskva, 2000.–19 s.
- [13] Zakharchenko E. V., Levchenko Yu. N., Gorenko V. G., Varenik P. A. Otlivki iz chuguna s sharovidnym i vermikulyarnym grafitom. Kiev, Nauk. dumka, 1986 –248 s.
- [14] L. A. Shevchuk. Struktura i svoystva chuguna. Minsk, Izd-vo Nauka i tekhnika, 1978 –216 s.
- [15] K. I. Vashchenko, L. Sofroni. Magnievyi chugun. Kiev, M.: Izd-vo Mashgiz, 1960 –487 s.
- [16] A. A. Takhirov, N. S. Gushchin. Khromonikelevyi chugun s sharovidnym grafitom // «Liteinoe proizvodstvo», – 2012.– № 12.–S. 2-4.
- [17] N. S. Gushchin, V. V. Andreev, A. A. Takhirov, F. A. Nuraliev. Mekhanizm vliyaniya kremniya i sharovidnogo grafita na abrazivnyuyu iznosostoikost' khromonikelevogo chuguna // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 6.–S. 2-5.
- [18] N. S. Gushchin, F. A. Nuraliev, A. A. Takhirov. Osobennosti polucheniya melkodispersnoi metallicheskoj osnovy khromonikelevogo chuguna // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 6.–S. 2-5.
- [19] E. I. Marukovich, A. M. Branovitskii, Yu. A. Lebedinskii, Yu. V. Sachenko, V. A. Khar'kov. Issledovanie lit'ya v kokil' tsil'pebov // «Lit'e i metallurgiya», – 2016.– № 1 (82).–S. 27-33.
- [20] V. S. Shumikhin, V. P. Kutuzov, A. I. Khrumchenkov i dr. / pod redaktsiei N. N. Aleksandrova. Vysokokachestvennye chuguny dlya otlivok. M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1982 –222 s.
- [21] S. V. Davidov, A. O. Gorlenko. A new type of antifriction and wear resistant malleable cast iron // «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», –2016. –Volume 124. – Pp. 1-5.
- [22] V. L. Naidek, I. G. Neizhko, V. P. Gavrilyuk. Sharovidnyi grafit v chugunakh // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 12.–S. 6-10.

<sup>1</sup>Д. Р. Аубакиров \*, <sup>1</sup>А. З. Исагулов, <sup>1</sup>В. Ю. Куликов,  
<sup>1</sup>Р. Б. Султангазиев, <sup>2</sup>Б. Ж. Толукпаев

<sup>1</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup>Қарағанды индустриалды университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

## СОҚҚЫ ЖӘНЕ ТҮРШЛІК БЕРКТІКТІҢ ОПТИМАЛДЫ КӨРСЕТКІШТЕРІҢ ҮЙЛЕСТІРЕТІҢ ҚҰЮ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ҚОРЫТПАЛАРЫҢ ТАҢДАУ

**Андатпа.** Бұл зерттеуде өнеркәсіптік жабдықтардың бөліктерің өндіру үшін тозуға төзімді Fe-C қорытпаларының технологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді құрамдары және оларды өндіру технологияларын таңдау бойынша жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Қолданыстағы тозуға төзімді болаттар мен шойындардың негізгі түрлері қарастырылып, олардың құрамдары мен қасиеттері көрсетілген, негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған. Экономикалық тиімділік пен технологияның қарапайымдылығы тұрғысынан қарқынды соққыға және үйкеліске ұшырайтын бөлшектерді құю үшін тиімділердің бірі - хроммен аз легирленіп одан кейін құрамында магний бар модифицирлеу нәтижесінде алынған жартыкеш шойын. Бұл қорытпаның оның жоғары тозуға төзімділігін анықтайтын басты артықшылығы - бұл жағдайда құйманың сыртқы беткі қабатының құрылымында көміртек хром және марганецпен легирленген ұсақ карбидті қосындылары түрінде болады, бұл құйманың абразивті тозуға төзімділігің жоғарылатады, ал құйманың ішкі терең қабаттарда көміртегі шартәріздес және вермикулярлы графит түрінде болады - бұл қорытпаның соққыға беріктігін арттырады.

**Негізгі сөздер:** жоғары берікті шойын, шар тәріздес графит, тозуға төзімділік, соққыға беріктік, болат, қорытпа, құю, құйма, легірлеу, модификациялау, пештен тыс өңдеу, модификатор, лигатура, магний.

<sup>1</sup>**D. R. Aubakirov\***, <sup>1</sup>**A. Z. Issagulov**, <sup>1</sup>**V. Yu. Kulikov**,  
<sup>1</sup>**R. B. Sultangaziyev**, <sup>2</sup>**B. Zh. Tolukpayev**  
Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan  
Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan  
\*e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

### **SELECTION OF CASTING WEAR-RESISTANT ALLOYS COMBINING OPTIMAL INDICATORS OF SHOCK AND ABRASIVE RESISTANCE**

**Abstract.** This study presents the results of the selection of the most technologically and cost-effective compositions of wear-resistant Fe-C alloys for parts of industrial equipment and their production technologies. The article also considers the main types of existing wear-resistant steels and cast irons, shows their compositions and properties, describes the main advantages and disadvantages. From the point of view of economic benefits and simplicity of technology, one of the most effective for casting parts subjected to intense impact and abrasion is half nodular cast iron obtained as a result of low alloying with chromium and subsequent modification with a magnesium-containing additive. The main advantage of this alloy, which determines its high wear resistance, is that in this case, in the structure of the outer surface layer of the casting, carbon is in the form of finely dispersed carbide inclusions doped with chromium and manganese, which ensures high hardness and resistance to abrasive wear, and in the inner deep layers Castings carbon is in the form of spheroidal and vermicular graphite - this provides an increased impact toughness of the alloy.

**Key words:** ductile iron, spherical graphite, wear resistance, strength, impact resistance, steel, alloy, casting, alloying, modifying, after-furnace processing, modifier, ligature, magnesium.



Э.Б. Аскарбеков\*, Н. Тебенхина, Ә. Әміржанов, А. Серік

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

\*e-mail: erik\_ab82@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА

**Аннотация.** В данной статье, исследования направлены на изучение качества и безопасности нетрадиционного сырья для производства этилового спирта. Решение проблем, связанных с экологической обстановкой, и конечная продукция, стоимость и качество которой полностью соответствует требованиям потребителей и определяет ее конкурентоспособность, являются неотъемлемыми критериями успешной работы предприятия в условиях жесткой рыночной конкуренции. Оценка ситуации, складывающейся в спиртовой отрасли Республики Казахстан, показывает, что основным сырьем при производстве этанола являются различные виды зерновых культур, лидирующее место при этом отводится пшенице и ржи. Зерновые ресурсы относятся к широко востребованному многофункциональному сырью, что приводит к конкурентной борьбе с другими потребителями, вследствие чего спиртовые заводы могут испытывать трудности с поставками сырья. В целом спиртовая отрасль характеризуется низкой рентабельностью, значительной энерго- и материалоемкостью и серьезной сырьевой зависимостью. Данный факт подтверждает перспективность расширения сырьевой базы отрасли за счет вовлечения в производство нетрадиционных видов сырья, что позволяет нивелировать риски при закупке сырья.

**Ключевые слова:** спирт-сырец, сахарное сорго, дистилляция, ректификация, летучие примеси.

**Введение.** Современное состояние спиртовой отрасли Республики Казахстан характеризуется сильной зависимостью не только от регуляционных процессов, проводимых государственными органами и заключающихся в надзоре и контроле за качеством производимого этилового спирта, соответствием современным нормам производственной и экологической безопасности предприятий и многим другим параметрам, но и от конъюнктурных изменений рынков сырьевых и энергетических ресурсов, ситуации, связанной с реализацией готовой продукции предприятий, а также многих других факторов [1].

Структура основных производственных затрат при промышленном получении этанола, несмотря на постоянное колебание цен на сырье и энергоносители остается относительно стабильной. Наибольшая часть затрат в процентном выражении приходится на сырье и составляет около 55-65%. Традиционно зерно занимает основную долю сырьевых ресурсов при производстве этанола, как в Казахстане, так и рубежом. В Казахстане зерновые культуры занимают порядка 65% всей посевной площади сельхозкультур. В том числе, треть этих площадей приходится на озимые зерновые культуры и две трети - на яровые.

Одним из важных параметров, оказывающих регулирующее воздействие на внутренний зерновой рынок, является цена на зерно. За последние годы следует отметить существенные колебания внутренних цен на зерновые ресурсы: снижение до значений, приводящих к убыточности, или достижение мировых цен [1,2].

Зерновые ресурсы относятся к многофункциональному сырью, в виду чего, производители этанола довольно часто испытывают трудности со снабжением из-за конкуренции с другими потребителями в ценовой политике. Недостаточная обеспеченность кондиционным основным сырьем, в некоторых случаях вынуждает спиртзаводы перерабатывать дефектное зерно, невостребованное другими потребителями. Однако данный факт, приводит к снижению производительности, снижению качества этилового спирта и увеличению технологических затрат для выработки конечного продукта, соответствующего государственным стандартам [3,8].

Современная действительность рыночной экономики, характеризующаяся жесткой конкуренцией, предопределяет успешную работу предприятий только при выработке продукции, удовлетворяющей требования потребителей по двум пунктам: качество и цена, напрямую зависящая от себестоимости продукта. Несоответствие даже одному из них лишает ее конкурентоспособности, а следовательно приводит и к снижению экономических результатов предприятия [1,3].

Один из путей повышения рентабельности производства этилового спирта и снижения зависимости предприятий от колебаний, затрагивающих зерновые ресурсы, заключается в поиске альтернативных сырьевых ресурсов. Одним из новых перспективных видов сырья в соответствие с его биохимическим составом могут быть сироп из сахарного сорго отечественных сортов [4].

**Методика исследования.** Для исследования использовали сахарное сорго отечественной селекции Казахстанский -20, с получением сиропа на ее основе, как основного источника углеводов.

Определение физико-химических показателей. Физико-химический состав определен согласно установленным методикам:

– *массовую долю сухих веществ* определяли по рефрактометру согласно СТ РК 1424-2005. Содержание растворимых СВ выражали в единицах массовой доли сахарозы в водном растворе сахарозы, имеющем в заданных условиях такой же показатель преломления, как и анализируемый раствор, в процентах [5,12].

– активную кислотность определяли потенциометрическим методом, с помощью лабораторного рН-150МИ;

– *массовую долю крахмала* определяли по методу, основанному на реакции крахмала в водной вытяжке из анализируемого продукта с йодом и последующей визуальной оценке появления или отсутствия появления окраски, обусловленной образованием комплексного соединения;

– *массовую долю углеводов* (сахарозы, глюкозы, мальтозы, фруктозы) исследовали согласно ГОСТ 31669-2012. Метод основан на высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с рефрактометрическим детектором и термостатируемой хроматографической колонкой [5,6].

*Определение аминокислотного состава.* Массовую долю аминокислот определяли на системе капиллярного электрофореза «Капель 105 М», методикой М-04-38- 2005 [5,6,7].

**Методика определения водорастворимых витаминов.** Водорастворимые витамины в пробах анализировались методом капиллярного электрофореза. Метод относится к числу современных методов, предназначен для определения массового содержания водорастворимых витаминов, основан на миграции и разделении ионных форм анализируемых компонентов под действием электрического поля с регистрацией при длине волны 200 нм их электрофоретической подвижности [9,11].

**Основные результаты исследований.** На первом этапе исследования изучено получение сока из сорго сортов отечественной селекции (Казахстанский-20 и Казахстанский-16), как основного сырья при производстве сиропа.

Для получения сока, уборку сахарного сорго осуществляли в стадии восковой спелости зерна с раздельным сбором стеблей и зерна. Стебли проходили стадии первичной обработки

для удаления листовой массы, которая используется при получении силоса, входящего в рационы кормления животных. Очищенные стебли имеют узловую поверхность в сочленении колен. Диаметр и длина этих колен колеблется в широких пределах не только для различных стеблей, но и на одном и том же стебле.

Далее стебли подвергали обработке давлением под воздействием рабочих органов пресса. В результате этой обработки (фракционирования) получали сахаросодержащий сок и отжимки. Отжимки совместно с массой листьев подвергали измельчению и использовали для получения силоса на корм животных, создавая тем самым безотходное производство.

На следующем этапе исследования изучены физико-химические показатели качества и показатели пищевой ценности соков из сорго сортов Казахстанский -20 и Казахстанский -16 (таблица 1), для проведения сравнительного анализа и подбора оптимального сорта для дальнейшего использования.

**Таблица 1. Физико-химический состав сока сорго сортов Казахстанский -20 и Казахстанский -16**

№	Показатели	Казахстанский -20	Казахстанский -16
1	Массовая доля сухих веществ, %	18,0±0,6	16,8±0,6
2	Массовая доля общих сахаров, г/100 см <sup>3</sup>	15,1±0,5	14,3±0,5
3	Массовая доля редуцирующих веществ, г/100 см <sup>3</sup>	3,6±0,1	2,8±0,1
4	Массовая доля крахмала, г/100 см <sup>3</sup>	1,5±0,1	0,7±0,1
5	Массовая доля целлюлозы и гемицеллюлозы, г/100 см <sup>3</sup>	0,7±0,08	0,4±0,03
6	Общая кислотность, см <sup>3</sup> раствора NaOH конц.1 моль / дм <sup>3</sup> на 100 см <sup>3</sup> сока	1,5±0,1	1,7±0,1
7	pH	5,30	5,52

В результате исследования выявлено, что сорговый сок сорта Казахстанский -20 и Казахстанский -16 по физико-химическому составу имеют примерно одинаковые показатели качества, что дают возможность использования обоих в производстве сиропа и его дальнейшего сбраживания.

Сорговый сок отличается более низким содержанием титруемых кислот и высоким содержанием сахаров. Различающиеся величины данных, полученные при определении сахаристости разными методами, свидетельствуют о том, что в состав сока входят не только глюкоза и фруктоза, но и сахароза. Результаты исследования химического состава соргового материала показали присутствие остаточного сахара. Вероятно, имеющиеся в достаточном количестве полисахариды, в частности, пентозаны, стали источником образования несбраживаемых сахаров – пентоз (таблица 2).

**Таблица 2. Углеводный состав соргового сока сортов Казахстанский -20 и Казахстанский -16**

Показатели состава	Массовая доля, г/100 см <sup>3</sup>			
	сахарозы	глюкозы	мальтозы	фруктозы
Казахстанский-16	8,2±0,8	3,6±0,4	-	0,015±0,002
Казахстанский-20	10,8±1,2	4,8 ±0,4	-	0,026±0,002

Так как основным показателем при производстве спирта является содержание сахаров в сырье, то согласно таблице 2 видно, что их большее количество содержится в соке из сорго сорта Казахстанский - 20, что делает его перспективнее для дальнейшего использования.

На следующем этапе исследования изучены витаминный, минеральный и аминокислотный составы данных соков (таблица 3).

Таблица 3. Характеристика показателей пищевой ценности в соке сорго сортов Казахстанский -20 и Казахстанский -16

№	Показатели	Казахстанский -20	Казахстанский -16
Содержание витаминов, мкг/кг			
1	2	3	4
1	В1(тиамин)	2,34 ±0,1	1,55±0,1
2	В2(рибофлавин)	1,49±0,05	1,27±0,05
3	В6(пиридоксин)	5,05±0,3	4,25±0,3
4	В3(ниацин)	29,17±2,0	28,98±2,0
5	В5(пантотеновая кислота)	следы	следы
6	В9(фолиевая кислота)	0,29±0,04	0,27±0,04
7	С(аскорбиновая кислота)	16,90±1,5	15,20±1,5
8	Н (биотин)	1,5±0,1	1,2±0,1
Содержание аминокислот, г/100г			
8	Лизин	0,020±0,008	0,011 ±0,003
9	Тирозин	0,008±0,001	0,002±0,0002
10	Лейцин + изолейцин	0,012±0,003	0,009±0,0002
11	Метионин	0,006±0,001	0,007±0,0002
12	Валин	0,013±0,003	0,011±0,003
13	Пролин	0,010±0,003	0,008±0,001
14	Треонин	0,027±0,008	0,022±0,008
15	Серин	0,033±0,008	0,032±0,008
16	Аланин	0,028±0,008	0,014±0,003
17	Глицин	0,011±0,003	0,011±0,003
Содержание минеральных веществ, мг/дм <sup>3</sup>			
18	ионы магния и кальция	539,89±12,0	528,20±12,0
19	ионы калия	433,72±10,0	404,77±10,0
20	ионы железа	3,25±0,1	4,45±0,1
21	ионы натрия	810±15,0	740±15,0

Витаминный состав имеет огромное значение для азотного питания дрожжей в процессе брожения суслу. Для нормального развития и спиртового брожения дрожжи нуждаются в витаминах, которые являются кофакторами многих ферментов. Особенно важно содержание биотина, который должен обязательно содержаться в питательной среде для дрожжей, его количество в соке из сока сорго сорта Казахстанский-20 выше, чем в соке сорта Казахстанский -16. Минеральный состав соргового сока весьма разнообразен.

Согласно приведенным данным анализа содержания минеральных веществ в соках сорго сортов отечественной селекции выявлено, что по содержанию ионов магния и кальция их количество превышает на 5% в соке из сорта Казахстанский - 20. По содержанию железа данный сок уступает на 1,2 раза сорговому соку из сорта Казахстанский -16.

Анализируя данные аминокислотного состава можно сделать следующий вывод, что сорговые соки из сортов отечественной селекции содержат в своем составе весь набор незаменимых аминокислот, что значительно повышает их биологическую ценность как сырья. Но в соке из сорта Казахстанский – 20 содержание лизина и треонина больше на 10%, лейцина, изолейцина и трозина больше на 5%, аланина в 2 раза больше их содержания чем соке из сорта Казахстанский-16.

Сорговый сок содержит в своем составе как заменимые, так и незаменимые аминокислоты, определяющие его пищевую ценность.

• **Технические науки**

В целом сок из сорго отечественных сортов по набору и абсолютному содержанию витаминов, минеральных веществ и аминокислотному составу является биологически полноценным сырьем.

Сорговый сок является хорошей средой для развития различных микроорганизмов, поэтому в процессе получения и хранения его состав и свойства могут измениться, а качественные показатели – ухудшиться, в связи с этим изучение его микробиологических показателей является целесообразным (таблица 4).

**Таблица 4. Микробиологические показатели сока сорго сорта Казахстанский 16 и Казахстанский 20**

Содержание	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup> (г), не более	БГКП г, см <sup>3</sup> (колиформы)	Патогенные, г, см <sup>3</sup> , в том числе сальмонеллы
Допустимые уровни	5*10 <sup>3</sup>	не допускаются	не допускаются
Казахстанский -20	7,2*10 <sup>3</sup>	не обнаружено	не обнаружено
Казахстанский-16	7,7*10 <sup>3</sup>	не обнаружено	не обнаружено

Как видно из данных таблицы 4 наличие КМАФАнМ превышает допустимые уровни, это связано с тем, что для анализа использовался свежееотжатый сок сахарного сорго, без предварительной обработки, который в дальнейшем пройдет стадию термической обработки при производстве на его основе сиропа. Наличие бактерий группы кишечной палочки не обнаружено как в соке сорго сорта Казахстанский -20 так и в соке сорго сорта Казахстанский -16. В настоящее время при выборе сырья для производства продуктов питания наряду с пищевой и энергетической ценностью большое значение придается показателям безопасности, которые являются главными критериями пищевой безопасности продукции.

При использовании сока сорго, как основного вида сырья для производства сиропа необходимо удостовериться в его безопасности. Показатели безопасности сока сорго из отечественных сортов представлены в таблице 5.

**Таблица 5. Показатели безопасности сока сорго сорта Казахстанский -16 и Казахстанский- 20**

Содержание	Допустимые уровни	Казахстанский -20	Казахстанский -16
Токсичные элементы, мг/л			
1	2	3	4
Свинец	0,5	не обнаружен	не обнаружен
Мышьяк	0,2	0,01	0,01
Кадмий	0,03	не обнаружен	0,002
Хром	0,5	не обнаружен	не обнаружен
ГХЦГ (α,β,γ-изомеры)	0,5	не обнаружен	не обнаружен
ДДТ и его метаболиты	0,1	не обнаружен	не обнаружен

Анализ исследуемых образцов соков из сорго отечественных сортов на соответствие нормативным показателям безопасности, представленный в таблице 5, показывает, что сырье отвечает требованиям по всем критериям и может применяться без ограничения для дальнейшего использования в пищевой промышленности.

Вышеперечисленные экспериментально установленные показатели углеводного состава, содержания витаминов, аминокислот и минеральных веществ сока из сорго сорта

Казахстанский-20 в незначительном количестве превышают показатели сока из сорта Казахстанский-16, а по содержанию общих сахаров превышает значение в 2 раза, что делает данный сорт более перспективным в дальнейшем использовании.

Кроме того, изучен полный углеводный состав сиропа из сорго методом жидкостной хроматографии. В сиропе из сока сорго (таблица 6) определены целлобиоза, мальтоза, манноза, рамноза, рибоза, фруктоза, глюкоза и сахароза.

Таблица 6. Количественный состав углеводов сиропа из сока сорго

№	Наименование сахара	% к общему содержанию сахаров
1	Целлобиоза	0,127±0,04
2	Мальтоза	1,284±0,05
3	Рамноза	0,024±0,008
4	Рибоза	0,026±0,008
5	Манноза	0,456±0,05
6	Фруктоза	4,0±2
7	Арабиноза	0,348±0,04
8	Глюкоза	14,968±2
9	Сахароза	45,251±4

Таким образом, можно констатировать, что углеводный состав сиропа из сока сорго весьма разнообразен, сравнительно с мелассой, что является определяющим показателем для технологии производства спирта.

На следующем этапе исследования изучен минеральный состав (таблица 7) и содержание аминокислот (таблица 8) в сиропе из сока сорго и мелассе, играющие важную роль в питании дрожжей в процессе сбраживания суслу.

Таблица 7. Минеральный состав сиропа из сока сорго и мелассы

№	Наименование элемента	Содержание, мкг/мл	
		торговый сироп	меласса
1	калий	4155,0±102	1464,0±52
2	магний	1410,0±52	242,0±12
3	натрий	81,0±5	37,0±3
4	кальций	4450,0±101	205,0±11
5	железо	3,25±0,1	8,3±0,8
6	марганец	20±2	25±21
7	цинк	10,9±1	20±1
8	фосфор	1,06±0,05	31±3

Таблица 8. Аминокислотный состав сиропа из сока сорго и мелассы

№	Наименование элемента	содержание, г/100г	
		торговый сироп	меласса
незаменимые аминокислоты			
1	2	3	4
1	Триптофан	0,010 ±0,003	0,004±0,001
2	Валин	0,012±0,003	0,003±0,001
3	Метионин	0,006±0,001	0,003±0,001
4	Изолейцин	0,006±0,001	0,004±0,001
5	Лейцин	0,005±0,001	0,006±0,001
6	Фенилаланин	0,010 ±0,003	сл.

7	Лизин	0,016 ±0,003	сл.
8	Треонин	0,026±0,008	0,02±0,003
заменяемые аминокислоты			
9	Аспаргиновая кислота	0,012±0,003	0,025±0,003
10	Серин	0,028±0,003	0,010±0,003
11	Глутаминовая кислота	0,035 ±0,003	0,025±0,003
12	Пролин	0,008 ±0,001	0,010±0,003
13	Глицин	0,005 ±0,004	0,011±0,003
14	Аланин	0,026 ±0,003	0,011±0,003
15	Тирозин	0,006±0,001	0,008±0,001
16	Гистидин	0,008 ±0,001	0,002±0,001
17	Аргинин	0,024 ±0,003	0,024±0,003

Согласно проведенным исследованиям таблицы 7 и 8 весь набор минеральных веществ необходимых для питания дрожжей, а также все незаменимые аминокислоты содержит сорговый сироп. А также их количество незначительно различаются с показателями их содержания в мелассе.

При производстве спирта из сиропа сахарного сорго основным процессом является брожение, поэтому очень важно чтобы в среде, в которой развиваются дрожжи, помимо сбраживаемых сахаров находились минеральные и азотистые вещества, усваиваемые в достаточных количествах. Прежде всего, это пластические элементы, необходимые для построения клеток дрожжей.

Из минеральных веществ большую роль в развитии дрожжей играют фосфор и калий. Фосфор входит в состав белков протоплазмы: и нуклеинов, являющихся составной частью ядра. В виде различных соединений фосфор принимает важное участие в энергетических процессах клетки. Калий необходим не только как питательный элемент, но и как стимулятор размножения дрожжей. Калий активирует дрожжевую альдолазу, необходим для действия фермента пируваткарбоксилазы и влияет на липидный обмен дрожжевых клеток [8, 10].

Таким образом, для производства спирта важную роль играет углеводный состав сырья, влияющий на выход этилового спирта. Наряду с сахарозой идентифицированы и другие виды углеводов. В результате проведенных исследований установлено, что сироп из сока сорго является хорошей питательной средой для жизнедеятельности дрожжей в процессе сбраживания с полным набором азотистого, витаминного и минерального питания. А также определяющим фактором выбора сиропа из сока сахарного сорго, как сырья для производства этилового спирта является его длительный срок хранения.

**Заключение.** Вышеперечисленные экспериментально установленные показатели углеводного состава, содержания витаминов, аминокислот и минеральных веществ сока из сорго сорта Казахстанский-20 в незначительном количестве превышают показатели сока из сорта Казахстанский-16, а по содержанию общих сахаров превышает значение в 2 раза, что делает данный сорт более перспективным в дальнейшем использовании.

Таким образом, использование сока сахарного сорго полученного из сорта Казахстанский -20 для приготовления сиропа и дальнейшего использования в технологии производства спирта, является целесообразным и перспективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gulgaisha Baigazieva, Saule Zhiyenbaeva, Nurgul Batyrbaeva, Auelbek Iztaev, Gulshat Uvakasova, Asia Serikbaeva. «Comparative of industrial strains of dry yeast in simulated difficult conditions of industrial fermentation of sweet sorghum syrup»// Bioscience Research 15(2), 2018, с. 1048-1062.
- [2] K. Silva, L. Caetano, C. Garcia. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin// Journal of Food Engineering.- Volume 105, Issue 1, July 2011, P. 56-64.
- [3] Балакай С.Г. Сорго – культура больших возможностей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации:электрон.периодич. изд. - 2012.- №1.-С.8.

[4] Askarbekov E.B., Baigazieva G.I. Sweet Sorghum Use in the Production of Alcohol // Research Journal of Applied Sciences. –2015. - №10.–P. 501-504.

[5] Дронов А. В., Дышлюк М. Ю., Добродей О. Л. Сахарное Сорго-культура больших возможностей для кормопроизводства и перерабатывающей промышленности АПК Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №4.- С.43-48.

[6] Witold Pietrzak, Joanna Kawa-Rygielska. Ethanol, feed component and fungal biomass production from field bean (*Vicia faba* L.) seed sinan integrated process//BioresourceTechnology. –2016. –Vol. 216. - P. 69-76.

[7] Байгазиева Г.И. Методы анализа алкогольсодержащей продукции: Учебное пособие.- Алматы: INTER PRINT, 2017.- 172с.

[8] Байгазиева Г.И., Аскарбеков Э.Б., Кекибаева А.К. Биотехнологические основы применения сиропа сахарного сорго в технологии бродильных производств: Монография, Алматы: INTER PRINT, 2017.- 174 с.

[9] Свечников А. Ю. Изучение возможности использования яблочных выжимок для получения плодового дистиллята // В мире научных открытий: материалы III Всероссийской студенческой научной конференции. 20-21 мая 2014.-Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2014.-Том II. Часть 2.- С. 89-93.

[10] Ye Liu, C. He. Comparison of fresh watermelon juice aroma characteristics of five varieties based on gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry//Food Research International.-Volume 107, May 2018, P. 119-129.

[11] Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И., Кекибаева А.К. Ферментативная активность дрожжей, исследуемых для сбраживания сиропа сахарного сорго // Издательство «Исследования», результаты. № 2 (78) 2018.- С. 24-30.

[12] Войнов А. Н. и др. Ректификация этилового спирта в колоннах со спирально-призматической насадкой //Техника и технология пищевых производств. – 2012. – №. 4 (27).

#### REFERENCES

[1] Gulgaisha Baigazieva, Saule Zhiyenbaeva, Nurgul Batyrbaeva, Auelbek Iztaev, Gulshat Uvakasova, Asia Serikbaeva.«Comparative of industrial strains of dry yeast in simulated difficult conditions of industrial fermentation of sweet sorghum syrup»// Bioscience Research 15(2), 2018, с. 1048-1062.

[2] K. Silva, L. Caetano, C. Garcia. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin// Journal of Food Engineering.- Volume 105, Issue 1, July 2011, P. 56-64.

[3] Balakai S.G. Sorго – kul'tura bol'shikh vozmozhnostei // Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii:elektron.periodich. izd. - 2012.- №1.-S.8.

[4] Askarbekov E.B., Baigazieva G.I. Sweet Sorghum Use in the Production of Alcohol // Research Journal of Applied Sciences. –2015. - №10.–P. 501-504.

[5] Dronov A. V., Dyshlyuk M. Yu., Dobrodei O. L. Sakharnoe Sorго-kul'tura bol'shikh vozmozhnostei dlya kormoproizvodstva i pererabatyvayushchei promyshlenosti APK Bryanskoi oblasti //Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2012. – №4.- S.43-48.

[6] Witold Pietrzak, Joanna Kawa-Rygielska. Ethanol, feed component and fungal biomass production from field bean (*Vicia faba* L.) seed sinan integrated process//BioresourceTechnology. –2016. –Vol. 216. - P. 69-76.

[7] Baigazieva G.I. Metody analiza alkohol'soderzhashchei produktsii: Uchebnoe posobie.- Алматы: INTER PRINT, 2017.- 172с.

[8] Baigazieva G.I., Askarbekov E.B., Kekibaeva A.K. Biotekhnologicheskie osnovy primeneniya siropa sakharnogo sorго v tekhnologii brodil'nykh proizvodstv: Monografiya, Алматы: INTER PRINT, 2017.- 174 с.

[9] Svechnikov A. Yu. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya yablochnykh vyzhimok dlya polucheniya plodovogo distillyata // V mire nauchnykh otkrytii: materialy III Vserossiiskoi studencheskoi nauchnoi konferentsii. 20-21 maya 2014.-Ul'yanovsk: UGSKhA im. PA Stolypina, 2014.-Tom II. Chast' 2.- С. 89-93.

[10] Ye Liu, C. He. Comparison of fresh watermelon juice aroma characteristics of five varieties based on gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry//Food Research International.-Volume 107, May 2018, P. 119-129.



[11] Askarbekov E.B., Baigazieva G.I., Kekibaeva A.K. Fermentativnaya aktivnost' drozhzhei, issleduemykh dlya sbrazhivaniya siropa sakharnogo sorgo // Izdenister, nәtizheler – Issledovaniya, rezul'taty. № 2 (78) 2018.- S. 24-30.

[12] Voinov A. N. i dr. Rektifikatsiya etilovogo spirta v kolonnakh so spiral'no-prizmaticheskoi nasadkoi // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2012. – №. 4 (27).

**Э.Б. Аскарбеков\*, Н. Тебенхина, Ә. Әміржанов, А. Серік**  
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: erik\_ab82@mail.ru

### **ЭТИЛ СПИРТІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ДӘСТҮРЛІ ЕМЕС ШИКІЗАТТЫҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ЗЕРТТЕУ**

**Андатпа.** Бұл мақалада зерттеулер этил спиртін өндіруге арналған дәстүрлі емес шикізаттың сапасы мен қауіпсіздігін зерттеуге бағытталған. Экологиялық жағдайға байланысты проблемаларды шешу және құны мен сапасы тұтынушылардың талаптарына толық сәйкес келетін және оның бәсекеге қабілеттілігін анықтайтын түпкілікті өнім қатаң нарықтық бәсекелестік жағдайында кәсіпорынның табысты жұмысының ажырамас өлшемдері болып табылады. Қазақстан Республикасының спирт саласында қалыптасқан жағдайды бағалау этанол өндіру кезінде негізгі шикізат дәнді дақылдардың әртүрлі түрлері болып табылатынын, бұл ретте бидай мен қара бидайға жетекші орын берілетінін көрсетеді. Астық ресурстары кеңінен сұранысқа ие көп функциялы шикізатқа жатады, бұл басқа тұтынушылармен бәсекелестікке әкеледі, нәтижесінде алкоголь зауыттары шикізатты жеткізуде қиындықтарға тап болуы мүмкін. Тұтастай алғанда, алкоголь саласы төмен рентабельділікпен, айтарлықтай энергия мен материалды тұтынумен және маңызды шикізатқа тәуелділікпен сипатталады. Бұл факт өндіріске шикізаттың дәстүрлі емес түрлерін тарту арқылы саланың шикізат базасын кеңейту перспективаларын растайды, бұл шикізатты сатып алу кезіндегі тәуекелдерді жоюға мүмкіндік береді.

**Негізгі сөздер:** шикі спирт, қант құмайы, дистилляция, ректификация, ұшпа қоспалар.

**E.B. Askarbekov\*, N. Tebenhina, A. Amirzhanov, A. Serik**  
Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: erik\_ab82@mail.ru

### **RESEARCH ON THE QUALITY AND SAFETY OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF ETHYL ALCOHOL**

**Abstract.** In this article, research is aimed at studying the quality and safety of non-traditional raw materials for the production of ethyl alcohol. Solving problems related to the environmental situation, and the final product, the cost and quality of which fully meets the requirements of consumers and determines its competitiveness, are essential criteria for the successful operation of the enterprise in a tough market competition. Assessment of the situation in the alcohol industry of the Republic of Kazakhstan shows that the main raw materials in the production of ethanol are various types of grain crops, the leading place is given to wheat and rye. Grain resources are widely used multifunctional raw materials, which leads to competition with other consumers, as a result of which distilleries may experience difficulties in supplying raw materials. In General, the alcohol industry is characterized by low profitability, significant energy and material consumption, and serious dependence on raw materials. This fact confirms the prospects for expanding the raw material base of the industry by involving non-traditional types of raw materials in production, which makes it possible to level the risks when purchasing raw materials.

**Keywords:** raw alcohol, sugar sorghum, distillation, rectification, volatile impurities.

Ш.А. Абдалы\*

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: shyngys.abdaly@gmail.com

## БҰЛТТЫ ЕСЕПТЕУЛЕР ЖӘНЕ БҰЛТТАҒЫ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ НЕГІЗДЕРІ

**Андатпа.** Мақалада бұлтты есептеулер мен оның виртуалды технологиялар негізінде ұсынылатын қызметтерге шолу жасалған. Технологиялық прогресс адам өмірінің барлық салаларына әсер етуде. Ақпараттық технологиялар әлемінде ай сайын бірнеше мың қызметтер мен жобалар жасалуда. Көптеген компаниялар бұлтты қызметтерге жергілікті жобалардың жұмысын жақсарту, компанияның архитектурасы мен инфрақұрылымын жақсарту, бюджет пен уақытты үнемдеу мақсатында көшуде. Бұлтты есептеулерге жаппай көшу, бұл бұлтты қоймалардағы пайдаланушылардың жеке деректерінің жүз пайыз қауіпсіздігін қамтамасыз етеді деген қате ой тудырады. Әрбір пайдаланушының жеке ақпараты құпия дерек болып табылады, сондықтан бұлтты жүйелер пайдаланушы деректерінің тұтастығы мен сенімді қорғалуын қамтамасыз етуі қажет. Бұл мақалада бұлтты есептеулердегі қауіпсіздік шараларына талдау жүргізіледі.

**Негізгі сөздер:** бұлтты есептеулер, интернет, инфрақұрылым, сервистер, IaaS, PaaS, SaaS.

**Кіріспе.** Қолданушылар жеке ақпараттарын жедел, автоматты түрде қашықтықта орналасқан деректер қоймасында сақтай алады. Бұл дегеніміз адамдардың бұлтты технологиялармен әрдайым өзара әрекеттесу процесінде екендігін көрсетеді. Бірақ бұлтты есептеулер ол тек ақпараттарды сақтайтын деректер қоймасы ғана емес, бұлтты есептеулер бізге кең ауқымды сервистер жүйесін ұсынады. Басқаша айтқанда біз бұлтты есептеулер ұсынатын сервистермен қолданамыз. Бұл сервистерге мысал ретінде электронды пошта, мобильді қосымшаларды ұсынатын онлайн дүкендер, сайтты орналастыратын бұлтты хостингтер және де басқаларын келтіруге болады. Бұлтты технологиялар термині қолданысқа енген кезден бастап, ақпараттық технологиялар қауымдастығында қызу талқыланатын ең басты тақырыптардың бірі ондағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету болды. Бұлтты есептеулерге жаппай көшу, бұл бұлтты қоймалардағы пайдаланушылардың жеке деректерінің жүз пайыз қауіпсіздігін қамтамасыз етеді деген елес тудырады. Әрбір пайдаланушының жеке ақпараты құпия дерек болып табылады, сондықтан бұлтты жүйелер пайдаланушы деректерінің тұтастығы мен сенімді қорғалуын қамтамасыз етуі қажет.

**Бұлтты есептеулерге шолу.** Бұлтты есептеулерге анықтама берсек, бұл интернет желісі арқылы ыңғайлы есептеу қызметтерін ұсыну [1]. Бұлтты есептеулердің негізгі мүмкіншіліктері кәсіпорындардың жұмысында айқын көрінеді. Кәсіпорындар үшін қуаты мықты серверді сатып алу, компьютердегі бағдарламалық қамтамасыз етуді орнатуға, жаңартуға қаражат жұмсау қажеттілігі жоқ. Кәсіпорындар тек қолданатын сервистері үшін ғана қаражат жұмсайды. Үлкен деректер қорымен жұмыс істеуге, онда ақпараттарды өңдеуге, саралауға болады. Сонымен қатар кәсіпорын қызметкерлерінің жұмысына қажетті құралдар веб сервис арқылы автоматты түрде ұсынылады. Кәсіпорын қызметкері физикалық жұмыс орнына байланбай, интернетке қосылған кез келген құрылғыдан жұмыс істей алады. Орта және кіші кәсіпорындары үшін уақыт пен қаражат маңыздылығы зор және бұлтты есептеулер кәсіпорындарға осы ресурстарды үнемдеуге мүмкіншілік туғызады. Бұлтты есептеулерді ұсынатын көптеген провайдерлер бар, солардың бірі Microsoft Azure. Бұл компания осы нарықта монополистер қатарына жатады. Microsoft Azure-дың сайтында жазылған ақпаратқа сүйенетін болсақ, бұлтты есептеулердегі 6 маңызды артықшылықтары аталған, олар шығындарды азайту, жылдамдық, ғаламдық масштаб, өнімділік, сенімділік, қауіпсіздік.

1. Бұлтты есептеулер жабдықтар мен бағдарламалық жасақтаманы сатып алуға, жергілікті деректер орталықтарын орнатуға және пайдалануға күрделі шығындардан аулақ болуға мүмкіндік береді.

2. Бұлтты есептеулер қызметтерінің көпшілігі өзіне-өзі қызмет көрсету режимінде және сұраныс бойынша ұсынылады, сондықтан есептеу ресурстарының үлкен көлемін бірнеше минут ішінде дайындауға болады, әдетте тінтуір түймесін бірнеше рет басу арқылы. Бұл компанияларға икемділік береді және тұрақты жүктеуді жоспарлаудан арылуға мүмкіндік береді.

3. Бұлтты есептеулер қызметтерінің артықшылықтары серпімді масштабтау мүмкіндігін қамтиды. Бұл дегеніміз ақпараттық технологиялар ресурстарының тек қажетті көлемін бөлуді білдіреді. Мысалы, өндеу қуатын, сақтау көлемін немесе өткізу қабілетін арттыру немесе азайту.

4. Жергілікті деректер орталықтары әдетте көптеген тіректер мен серверлерді, сонымен қатар жабдықты орнатуды, бағдарламалық жасақтаманы жаңартуды және уақытты қажет ететін басқа да жұмыстарды талап етеді. Бұлтты есептеулер осы тапсырмалардың көпшілігін болдырмайды.

5. Бұлтты есептеулер деректердің сақтық көшірмесін жасауды, апаттық жағдайларды қалпына келтіруді және бизнес-процестердің үздіксіздігін жеңілдетеді және арзанырақ етеді.

6. Бұлтты есептеулерді ұсынатын провайдерлер деректерді, қосымшалар мен инфрақұрылымды ықтимал қауіптерден қорғауға көмектесетін, қауіпсіздік деңгейін арттыратын көптеген саясаттар, технологиялар және басқару құралдарын ұсынады.

Бұлтты инфрақұрылым келесі орналастыру модельдерінің біреуінде жұмыс істей алады: қоғамдық, жеке, қауымдастық және гибриді [2]. Қоғамдық бұлт көптеген компаниялар мен сервистер жұмыс жасайтын ақпараттық технологиялар инфрақұрылымы. Қоғамдық бұлттың қолданушылары бұлтты есептеулерді басқару және қадағалау мүмкіншілігіне ие емес. Қолданушылар тек провайдер ұсынатын қызметтермен жұмыс жасай алады. Қоғамдық бұлт инфрақұрылымына мысал ретінде веб түріндегі Microsoft Office бағдарламасын, Google Docs секілді сервистерді келтіруге болады. Жеке бұлт тек бір ғана кәсіпорнына берілетін бұлтты инфрақұрылым. Мұнда кәсіпорындар бұлтты есептеулерді басқару мүмкіншілігіне ие болады. Көбінде жеке бұлттар кәсіпорын аумағында орналастырылады және оның қызметіне сол кәсіпорын жұмысшылары жауапты болады. Қауымдастық бұлт бірнеше кәсіпорнына берілген бұлтты инфрақұрылым түрі. Гибриді бұлт жеке және қоғамды бұлттарды қамтиды. Көбінде кәсіпорындар жеке бұлттармен уақытша жұмыс жасайтын болса, осы гибриді бұлтты инфрақұрылымға көшуді ұйғарады. Себебі жеке бұлтты есептеулерді қолдануға ауқымды қаражат жұмсалады.

Виртуалды технологиялар негізінде ұсынылатын қызметтер бірнеше топқа бөлінеді. Бұлтты есептеулерде қызметтер модельдері көп, бірақ қолдану жиілігі мен маңыздылығына қарай үлкен 3 топқа жіктеледі, олар IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service), SaaS (Software as a Service) [3].

IaaS (Инфрақұрылым қызмет ретінде) – бұл клиенттің кез келген қосымша мен бағдарламалық қамтамасыз етуді орната алатын есептеу ресурстарын жалға алу. Операциялық жүйелер мен қосымшалар деңгейіндегі параметрлерді клиенттің өзі жүзеге асырады, ал сервер мен желілік жабдықты басқарудың барлық мәселелерін провайдер шешеді.

PaaS (Платформа қызмет ретінде) – клиенттер деректерді енгізу, нәтиже алу және провайдер мүмкіндік беретін дәрежеде тиісті платформаны орнату үшін бағдарламалық жасақтамамен өзара әрекеттесе алады. Тапсырыс беруші бағдарламалық жасақтамаға немесе қосымшаларды әзірлеуге жауапты емес, тек платформамен өзара әрекеттескені үшін жауапты. Қызмет көрсетуші техникалық қызмет көрсету, қызметтің барлық пайдалану аспектілеріне

және өнімнің өмірлік циклін басқаруға міндетті. Көп жағдайда PaaS шешімін жеткізуші әзірлеуші болып табылады, ол клиентке толық шешім ұсынады. Google да осы жүйеде PaaS провайдері ретінде әрекет етеді, өйткені ол өз клиенттеріне осы қызмет моделінің бөлігі ретінде көптеген веб-қызмет қосымшаларын ұсынады. Google карталары, Google Earth, пошта және басқа да көптеген ұсыныстарды мысал ретінде келтіруге болады.

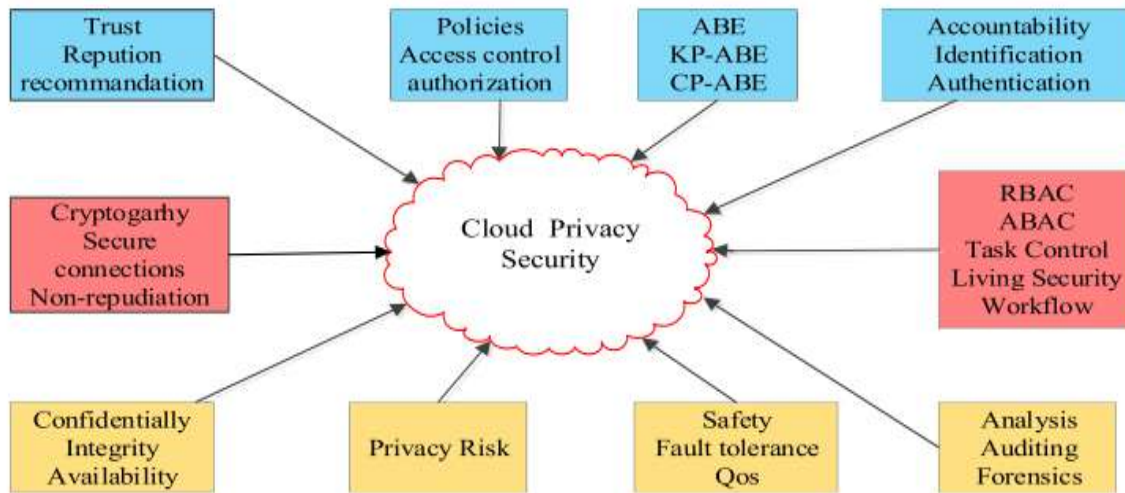
SaaS (Бағдарламалық жасақтама қызмет ретінде) – бұнда провайдер есептеу жабдықтары мен бағдарламалық қамтамасыздандыру, сонымен қатар кешенді қызмет ретінде шешімдерді ұсынады. SaaS бұлтты есептеу қызметінің ең толық моделі болып саналады. Қызмет ретінде бағдарламалық жасақтаманы хостингте орналастырылған бағдарламалық жасақтама ретінде қысқаша сипаттауға болады. Сервис бүкіл әлем бойынша интернет арқылы, көбінесе браузерде қолжетімді болады.

Бұлтты қызметтер мен шешімдер саны (SaaS, Paas, IaaS) өсуді жалғастырады. Бұл тұжырымның келесі мақалада сандар арқылы ашық көрсетілген [4]. Bain & Company мәліметтері бойынша, 2020 жылға қарай SaaS – қа жазылудың бірлескен жылдық өсу қарқыны 18% - ға артады. PaaS 2016 жылы 32% -дан 2019 жылы 56% -ға дейін өседі, бұл бұлтты платформалардың ең қарқынды дамып келе жатқан секторына айналады, деп хабарлайды KPMG. Ал IaaS нарығы 2020 жылға қарай бүкіл әлем бойынша 72,4 миллиард долларға жетеді деп жазалы Gartner.

Бұлтты технологияларды қолдану жайлы PWC компаниясы жүргізген аналитикалық зерттеудің нәтижесін келтіре кетуге болады [5]. Бұл зерттеуде зерттеуге қатысушылардан, яғни компания өкілдерінен нәліктен бұлтты технологияларға өтуден тайынады деген сұрақтар қойылған. Зерттеуге қатысушылардың 36% жеке деректердің бөтен қолдарға өтіп кетуінен, 45% заянды бағдарламалық вирустардың енуінен, 27% есептік жазбаның бұзылуынан қорқу салдарынан бұлтты технологияларға асыға өтуден тартынатындығын көрсетеді. Тағы бір сауалнамада бұлтты технологияларға төнетін ең үлкен қауіп қандай деген сұраққа, зерттеу қатысушыларының 45% рұқсатсыз кіру, 38% бұлтты сервистерді қате орнату, 36% жеке деректердің ұрлануы, 31% провайдер тарапынан қорғау шараларының жеткіліксіздігін көрсетеді. Осы пайыздық қатынасқа анализ жүргізсек, қолданушылардың бұлтты технологияларды жаппай қолданудан ең үлкен қауіпі, ол жеке деректердің қауіпсіздік мәселесі екендігіне көз жеткізуге болады.

**Бұлтты есептеулердегі қауіпсіздікті қамтамасыз ету.** Бұлтты есептеулер деректерді өңдеу орталығында немесе серверде орналастырылады. Деректерді өңдеу орталықтары бұл серверлер мен интернетке қосылған желілік жабдықтамалар сақталатын орын. Деректерді өңдеу орталықтары әрдайым электр қуатына қосылу және салқындату жүйесімен жабдықталған болады, сонымен қатар онда түрлі қауіпсіздік шаралары қарастырылған. Сервер дегеніміз ақпараттық технологиялар инфрақұрылымының жұмысын қамтамасыз ететін қосымшалар мен қызметтердің жұмысы үшін қолданылатын мамандандырылған компьютер. Бұлтты технологияларды ұсынатын ірі провайдерлерде өзінің деректерді өңдеу орталықтары бар. Ал кіші провайдерлер бұлтты есептеулерді серверде орналастырады. Бұл дегеніміз сервердің физикалық шабуылға, табиғи апаттарға осал болатындығын көрсетеді [6]. Сондықтан бұлтты технологияларды ұсынатын провайдерді таңдағанда осы фактрге мән берген жөн.

Пайдаланушының жеке деректері құпия болып табылады және бұлтты есептеулерде де осы қағида талаптары орындалуы қажет. Деректерді сақтау, виртуалдандыру, үлкен деректер және тағы да басқа технологиялар даму аясында адамдар өздерінің ақпараттарының құпия сақталатындығына алаңдайды, бұлтты есептеулердегі қауіптер көрсетілген (1-сурет) [7].



1-сурет. Бұлтты есептеулердегі қауіптер мен онымен байланысты технологиялар

Құпиялылық пен қауіпсіздік бұлтты есептеулердің негізгі алғышарттары, деректер ресурстарына қауіпсіз және тиімді қол жеткізуді басқару бұлтты есептеулердегі басты мәселе болып табылады. Бұлтты есептеулерде қатынасты басқарудың (access control) бірнеше маңызды технологиялары бар. Олар DAC (discretionary access control), MAC (mandatory access control), RBAC (role based access control), TBAC (task based access control), UCON (usage control), ABAC (attribute based access control) және олардың өнімділігі Кесте 1-де салыстырылған.

Кесте 1. Қатынасты басқару модельдерінің негізгі түрлері мен олардың өзара салыстырылуы

Қатынасты басқару модельдері/ қасиеттері	RBAC	TBAC	ABAC	UCON	MAC	DAC
Қауіпсіздігі	X	X	X	√	√	X
Құпиялылығы	X	X	X	X	√	√
Басқару икемділігі	√	√	√	√	X	√
Минималды артықшылығы	√	√	√	√	√	X
Міндеттерді бөлу	√	√	√	X	√	X
Сипаттау қабілеті	√	√	√	X	√	√
Ұсақтылығы	X	√	√	√	√	√
Шектеу сипаттамасы	√	X	√	√	√	X
Динамика	√	√	√	√	X	√
Үйлесімділігі	√	X	√	√	X	√
Кенейтілуі	X	√	√	√	X	√
Басқару жеңілдігі	√	X	X	X	√	X
Модельдеу жеңілдігі	√	X	√	√	X	√

Желілік қауіпсіздікте ақпараттың құпиялылығы мен деректердің тұтастығын міндетті түрде қамтамасыз ететін негізгі кілт ол, заңды пайдаланушыларға әртүрлі деректерге қол жеткізуге өкілеттік бере алатын қатынасты басқарудағы ережелер мен рәсімдер тобы. Дәстүрлі желілік ортамен салыстырғанда бұлтты ортада қатынасты басқаруды басқару технологиясы маңыздырақ. Бұлтты есептеулерде қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін сервис провайдерлері арасында өзара аутентификация және қатынасты басқару амалдары және деректер қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тиісті механизмдері қажет, сонымен қатар бұлтты есептеулер клиенттері үшінші тарап арналары бойынша шабуылдарын болдырмау керек. IaaS моделінде

бұлтты сервис провайдерлері жалғыз хостта бірнеше тұтынушыларға арнап көптеген виртуалды машиналарды құрады. Бұл кіріс пен ресурстарды пайдалануды барынша көбейтумен қатар, жана осалдылықты тудырады [8]. Осы ретте үшінші тарап арналары бойынша шабуылдар қауіпі туындайды. Осы шабуылдың алдын алу үшін виртуалды машиналарды тарату стратегиясын жүзеге асыру қажет.

Екі қабатты шифрлау - бұлтты есептеулердегі деректерді қорғаудың жақсы тәсілдерінің бірі. Бұл мақалада AES және Rabbit алгоритмдері қолданып екі қабатты шифрлау арқылы деректерді қорғау моделі ұсынылады [8]. Алдымен Rabbit алгоритмімен шифрлау жүргізіледі, кейіннен сәйкесінше AES алгоритмі орындалады. Rabbit алгоритмі ағынды шифрлау түріне жатады және бағдарламалық жасақтаманы іске асыруда жоғары өнімділікке арналған. Бұл алгоритм генерация негізінде алынған 64 немесе 128 бит блок негізінде жұмыс істейді. Ал AES алгоритмінің таңдалуы оның итеративті негізде жұмыс істеуінде, ол өз кезегінде DES алгоритмі негізіндегі Фейштель кестесінен күрделі, сонымен қатар 128/192/256-битті кілттерден тұрады.

Пайдаланушы файлдары бұлт қоймаларына алғашқы шифрлаусыз, яғни бастапқы түрінде жібереді. Бұл жағдайда бұлтты ортада жеке ақпаратты сақтау қауіпті болады, өйткені бұлтты инфрақұрылымды ұсынатын провайдер осы деректерді өндеуге мүмкіндік алады. Бұған жол бермеу үшін барлық жеке деректерді бұлтқа жіберместен бұрын шифрлау керек. Бірақ бұл жағдайда бұлтты есептеу шифрланған деректерде еркін операцияларды орындай алмайды. Бұл проблеманы криптографиялық алгоритмдер арқылы шешуге болады. Осындай шешімге гомоморфты шифрлеу арқылы қол жеткізуге болады [10]. Гомоморфты шифрлеу жеке кілтті білмей, шифрланған ақпаратқа есептеу жүргізуге мүмкіншілік тудырады. Гомоморфты шифрлеуді математикалық түрде HE (A) және HE (B), HE (C (A, B)) операциясын орындайды деп көрсетуге болады, мұндағы C: қосу, көбейту немесе X-or операторланың бірі бола алады.

**Қорытынды.** Бұлтты есептеулердің қазіргі уақытта қарқынды дамып жатқан ғылым саласы екендігіне көз жеткіздік. Бұлтты есептеулерге бұлтты есептеулер мен оның виртуалды технологиялар негізінде ұсынылатын қызметтерге, бұлтты инфрақұрылымда деректерді қорғау үшін қолданылатын белгілі криптографиялық алгоритмдерге шолу жасалынды. Бұлттағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету негіздері айқындалды. Бұлтты есептеулерде қатынасты басқарудың бірнеше маңызды түрлері атап көрсетілді және өзара салыстырулар жүргізілді. Екі қабатты шифрлеу, гомоморфты шифрлерге қысқаша шолу жасалынды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] De Donno M., Tange K., Dragoni N. Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog // IEEE Access. IEEE, 2019. Vol. 7. P. 150936–150948.
- [2] Patel J., Suthar F., Khanna S.V.O. A Critical Analysis on Encryption Techniques used for Data Security in Cloud Computing and IOT ( Internet of Things ) based Smart cloud storage System : A Survey // IJSRNSC. 2019. Vol.7, № 2. P. 21–25.
- [3] Курбанов З.М. Облачные технологии: обзор и применение // Вестник науки и образования. 2019. Vol. 4, № 58. P. 55–60.
- [4] Ashok A. Four trends in cloud computing CIOs should prepare for in 2019 // Forbes Community Voice. 2018.P. 4.
- [5] Виталий Соколов, Михаил Курзин П.Н. Исследование PwC « Страх облаков » // pwc. 2020.
- [6] Вишняков А.С. et al. Обеспечение защиты данных, представленных в облачных сервисах // Вестник науки и образования. 2019. Vol. 11, № 65. P. 22–29.
- [7] Sun P.J. Privacy Protection and Data Security in Cloud Computing: A Survey, Challenges, and Solutions // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 147420–147452.
- [8] Hefei Jia, Xu Liu, Xiaoqiang Di, Hui Qi, Ligang Cong J.L., Yang H. Security Strategy for Virtual Machine Allocation in Cloud Computing // Procedia Comput. Sci. Elsevier B.V., 2019. Vol. 147. P. 140–144.
- [9] Taiwade M.Hi. Dual Layer Data Security in Cloud Computing // Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol. 2019. Vol. 7, № 10. P. 170–173.
- [10] Amruta Patil, Apurva Kirve, Sayali Nandeshwar, Swati Ture N.R.S. Homomorphic Encryption Security for Cloud Computing // Int. Res. J. Eng. Technol. 2020. Vol. 7, № 5. P. 1–4.

## REFERENCES

- [1] De Donno M., Tange K., Dragoni N. Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog // IEEE Access. IEEE, 2019. Vol. 7. P. 150936–150948.
- [2] Patel J., Suthar F., Khanna S.V.O. A Critical Analysis on Encryption Techniques used for Data Security in Cloud Computing and IOT ( Internet of Things ) based Smart cloud storage System : A Survey // IJSRNSC. 2019. Vol.7, № 2. P. 21–25.
- [3] Kurbanov Z.M. Cloud technologies: overview and application // Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of science and education]. 2019. Vol. 4, № 58. P. 55–60.
- [4] Ashok A. Four trends in cloud computing CIOs should prepare for in 2019 // Forbes Community Voice. 2018.P. 4.
- [5] Vitaly Sokolov, Mikhail Kurzin P.N. Исследование PwC [Reserch of PwC] «Fear of the clouds » // pwc. 2020.
- [6] Vishnyakov A.S. et al. Ensuring the protection of data presented in cloud services // Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of science and education]. 2019. Vol. 11, № 65. P. 22–29.
- [7] Sun P.J. Privacy Protection and Data Security in Cloud Computing: A Survey, Challenges, and Solutions // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 147420–147452.
- [8] Hefei Jia, Xu Liu, Xiaoqiang Di, Hui Qi, Ligang Cong J.L., Yang H. Security Strategy for Virtual Machine Allocation in Cloud Computing // Procedia Comput. Sci. Elsevier B.V., 2019. Vol. 147. P. 140–144.
- [9] Taiwade M.Hi. Dual Layer Data Security in Cloud Computing // Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol. 2019. Vol. 7, № 10. P. 170–173.
- [10] Amruta Patil, Apurva Kirve, Sayali Nandeshwar, Swati Ture N.R.S. Homomorphic Encryption Security for Cloud Computing // Int. Res. J. Eng. Technol. 2020. Vol. 7, № 5. P. 1–4.

Ш.А. Абдалы\*

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: shyngys.abdaly@gmail.com

## ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАКЕ

**Аннотация.** В статье представлен обзор облачных вычислений и услуг, предоставляемых на основе его виртуальных технологий. Технологический прогресс затронул все области жизни людей. В мире информационных технологий создаются несколько тысяч сервисов и проектов ежемесячно. Все больше компаний переходят на облачные сервисы для улучшения работы локальных проектов, для усовершенствования их архитектуры и инфраструктуры компании, для экономии бюджета и времени. Массовый переход на облачные вычисления создает иллюзию стопроцентной защищенности персональных данных пользователей в облачных хранилищах. Личная информация каждого пользователя является конфиденциальной, поэтому облачные системы должны обеспечить целостность и надежную защиту пользовательских данных. В данной статье проведен анализ мер безопасности в облачных вычислениях.

**Ключевые слова:** облачные вычисления, интернет, инфраструктура, сервисы, IaaS, PaaS, SaaS.

S.A. Abdaly\*

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: shyngys.abdaly@gmail.com

## CLOUD COMPUTING AND THE FOUNDATION OF SECURITY IN THE CLOUD

**Abstract.** The article provides an overview of cloud computing and services provided on the basis of its virtual technologies. Technological progress has affected all areas of people's lives. In the world of information technology, several thousand services and projects are created every month. More and more companies are switching to cloud services to improve the performance of local projects, to improve their architecture and infrastructure of the company, to save budget and time. The massive transition to cloud computing creates the illusion of one hundred percent security of user's personal data in cloud storage. Each user's personal information is confidential, so cloud systems must ensure the integrity and reliable protection of user data. This article analyzes security measures in cloud computing.

**Keywords:** cloud computing, internet, infrastructure, services, IaaS, PaaS, SaaS.

М.А. Мустафин, Н.К. Алмуратова\*, Н.И. Даримбаева, Г.Д. Дауренова  
Алматынський университет энергетікы и связы ім. Г.Даукеева, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: n.almuratova@aes.kz

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАГРУЗКИ

**Аннотация.** Предлагается математическая модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода, позволяющая исследовать электромагнитные и электромеханические процессы в электроприводе с любым приводимым механизмом. Экспериментальные или паспортные параметры нагрузки достаточно просто подготавливаются и вводятся в программу и учитываются в расчете с высокой точностью. Приведены блок-схема алгоритмов вычислений, выполненных в компьютерном приложении «Mathcad», результаты моделирования и их анализ.

В настоящее время наиболее массовыми потребителями электрической энергии являются электроприводы на базе асинхронных электродвигателей (АД). На этапах проектирования новых и модернизации существующих электроприводов с АД важное место занимает математическое моделирование объекта. Математическое описание электромагнитных и электромеханических процессов асинхронного электропривода известно давно. Так, в [1] предлагается модель асинхронного привода для центробежных механизмов с квадратичной зависимостью момента сопротивления от скорости. Авторами предлагается универсализация математической модели электропривода с целью использования ее для механизмов с любым моментом сопротивления.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, асинхронный двигатель, механическая характеристика, динамические режимы, аппроксимация, энергетические показатели.

**Введение.** Созданная на базе компьютерного математического приложения «Mathcad» модель [1,2] является достаточно универсальной, поскольку охватывает все варианты управления АД. Путем задания необходимых начальных условий, моделируются все виды переходных процессов (пуск, останов, реверс, сброс и наброс нагрузки), различные формы задающих воздействий для их формирования.

Расчет мгновенных значений токов, моментов, мощностей сопровождается расчетом интегральных характеристик – мощностей за время переходного процесса, коэффициентов мощности и КПД. В [2] модель модернизирована с учетом несинусоидальности выходного напряжения преобразователя частоты, для чего математическая модель, предложенная в [1], дополняется уравнениями, отражающими выходные параметры и свойства источников питания. В блок-схеме добавляются два блока («Параметры преобразователя частоты» и «Расчет гармоник напряжения ПЧ»), в которых проводится гармонический анализ (рисунок 1).

Характер электромеханических процессов в электроприводе в значительной степени определяется механической характеристикой приводимого механизма (нагрузки) – зависимостью момента сопротивления от частоты вращения вала двигателя  $M_c=f(\omega)$ . Эти зависимости исследуются для различных типов нагрузки – неизменной активной, свойственной подъемным механизмам, реактивной, при которой направление и величина момента сопротивления в разной степени зависят от направления и частоты вращения [4].

На рисунке 1 выделены блоки расчета механической нагрузки, которые предлагается модернизировать в данной статье.



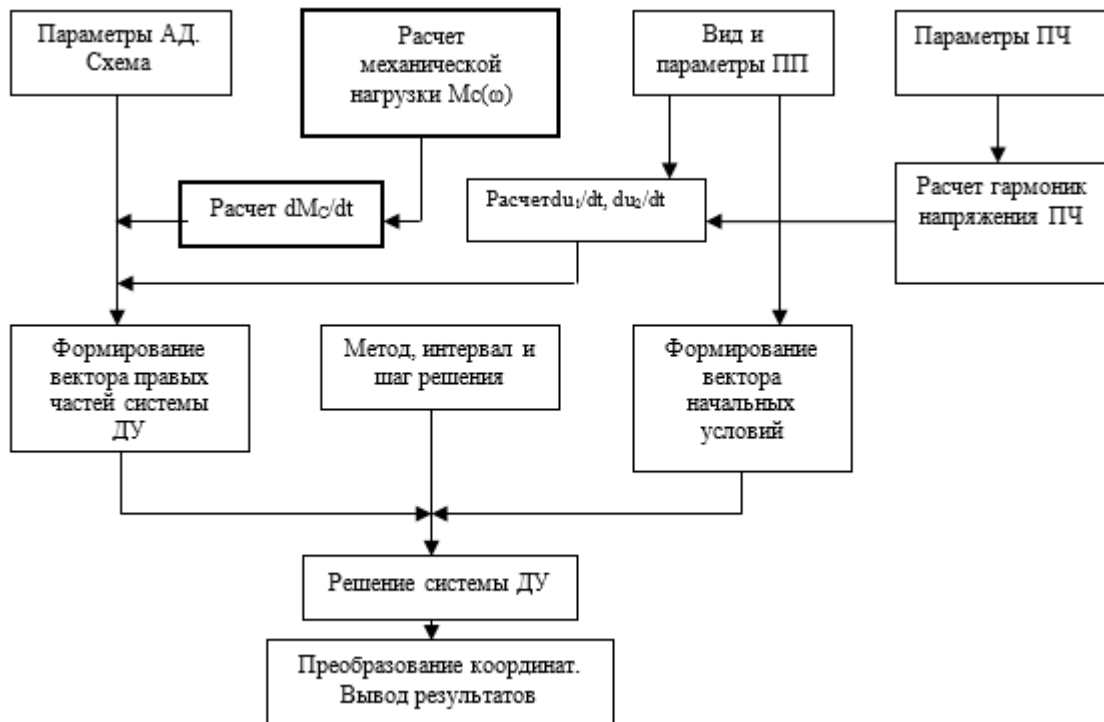


Рисунок 1. Блок – схема математической модели

Модель, описанная в [1,2], включает в себя обязательный блок электромеханических преобразований в приводе. В общем случае, электромеханические соотношения в программе рассчитываются по составляющим уравнения движения электропривода

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1)$$

В (1) электромагнитный момент, развиваемый двигателем, определяется достаточно просто:

$$M = -\frac{3}{2} p_n l_m \begin{vmatrix} i_{1x} & i_{2x} \\ i_{1y} & l_{2y} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Для определения зависимости  $M_c(\omega)$  приходится для каждого исследуемого механизма проводить расчет и анализ механических характеристик. Например, момент центробежного насоса  $M_c$  является достаточно сложной функцией скорости, параметров насоса и трубопровода:

$$M_c = M_{c0} + \frac{C_n H_c + \omega^2}{\omega \eta_{цн}(\omega, H_c)} \sqrt{\omega^2 - \frac{H_c}{H_o}}. \quad (3)$$

Кроме того, для численного решения системы дифференциальных уравнений привода, необходимо записать в аналитическом виде (вычислить) первую производную (значение  $dM_c/dt$ ). При этом применяются различного вида упрощения и допущения, снижающие точность результатов моделирования. Так, например, зависимость (3) условно принимают квадратичной [3,4]. В [1], например,  $dM_c/dt$  рассчитывается, как

$$\frac{dM_c}{dt} = \frac{dM_c}{ds} \frac{ds}{dt},$$

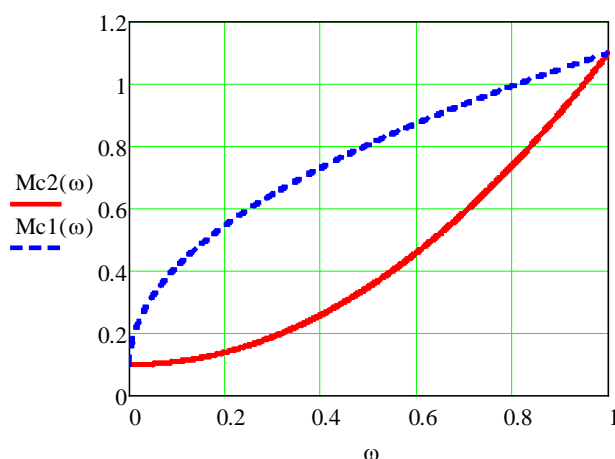
где

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{J\omega_0} \left( \frac{3p_{II}l_m}{2} (i_{1y}i_{2x} - i_{1x}i_{2y}) - M_c \right).$$

**Материалы и методы исследования.** Механические характеристики предоставляются заводами – изготовителями в виде таблиц или графиков. Так, в документации к каждому центробежному насосу или вентилятору производители приводят семейство рабочих характеристик – зависимостей КПД, потребляемой мощности, моментов от производительности. В случае отсутствия заводских данных, эти параметры можно получить экспериментально. В любом варианте не представляет сложности оформить данные  $M_c(\omega)$  в виде массива определенной формы.

В новой модели мы предлагаем унифицировать расчет механических характеристик и их производных, сделав его применимым для любой зависимости  $M_c(\omega)$ . Механическая характеристика большинства механизмов представляет собой непрерывную «плавную» функцию без скачков и разрывов и, следовательно, может быть аппроксимирована полиномиальной функцией. Представление характеристик степенными полиномами определяется тем, что они с высокой точностью аппроксимируют функции единообразным образом. При этом, поскольку они содержат суммы простых членов, легко вычисляются их производные. Во всех компьютерных математических приложениях имеется ряд встроенных функций, которые позволяют упростить такое решение [5]. Предлагаем один из вариантов, использованный в разрабатываемой модели с применением приложения «Mathcad».

Пусть  $M_c$  изменяется при регулировании скорости по нелинейной зависимости, неопределенной аналитически, но представленной в виде упорядоченного массива (таблицы), полученного экспериментально или по паспортной характеристике механизма. На рисунке 2 представлены две такие характеристики, соответствующие механизму с постоянной мощностью на валу двигателя ( $M_{c1}$ ) и с «вентиляторной» нагрузкой ( $M_{c2}$ ).



**Рисунок 2.** Характеристики, соответствующие механизму с постоянной мощностью на валу двигателя и с «вентиляторной» нагрузкой

В блоке «Расчет механической нагрузки» механическая характеристика, представленная в виде таблицы, преобразуется в полиномиальную регрессию вида

$$M_c(\omega) = b_0 + b_1\omega + b_2\omega^2 + \dots + b_n\omega^n \quad (3)$$

Далее рассчитывается значение  $dMp/d\omega$ , которое в нашем случае имеет вид

$$dMc(\omega)/d\omega = b_1 + 2b_2\omega + 3b_3\omega^2 + \dots + nb_n\omega^{n-1} \quad (4)$$

На рисунке 3 приведены фрагмент программы и результаты расчета в блоке «Расчет механической нагрузки» для объекта с механической характеристикой  $Mc1$ .

```

Представление механической характеристики в виде полиномиальной регрессии (Mathcad 15)

MM1 := ( 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 )
      ( 0.1 0.416 0.547 0.648 0.732 0.807 0.875 0.937 0.994 1.049 1.1 )

data := MM1T  X := data<0>  Y := data<1>  n := rows(data)  k := 4

z := regress(X, Y, k)  coeffs := submatrix(z, 3, äëèâ (z) - 1, 0, 0)
coeffsT = (0.113 3.36 -7.233 8.207 -3.354)

b0 := coeffs0  b1 := coeffs1  b2 := coeffs2  b3 := coeffs3
b0 = 0.113  b1 = 3.36  b2 = -7.233  b3 = 8.207

Mp(ω) := b0 + b1·ω + b2·ω2 + b3·ω3 + b4·ω4
dMp(ω) := b1 + 2b2·ω + 3b3·ω2 + 4b4·ω3

dMp(ω) :=  $\frac{d}{d\omega} Mp(\omega)$ 
    
```

Рисунок 3. Фрагмент программы «Расчет механической нагрузки»

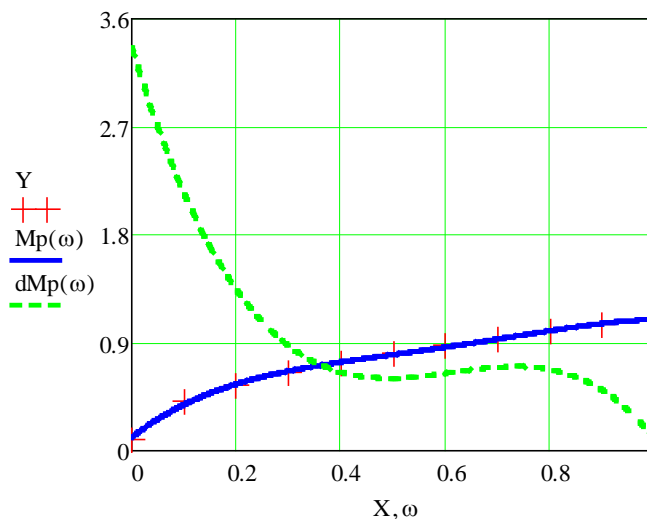


Рисунок 4. Графическая интерпретация результата

В программе зависимость  $Mc(\omega)$  представлена в виде вектора  $MM1$ . Для решения используем встроенную в «Mathcad» программу « $regress(X, Y, k)$ », которая возвращает вектор

«coeffs», содержащий коэффициенты многочлена  $k$ -ой степени, который наилучшим образом приближает «облако» точек с координатами, хранящимися в векторах  $X$  и  $Y$ .

Графическая интерпретация результата приведена на рисунке 4. Табличные значения механической характеристики ( $X, Y$ , обозначены крестиками) с высокой точностью аппроксимируются полиномом  $Mp(\omega)$ . Здесь же показана вычисленная производная  $dMp(\omega)$ .

Для получения характеристик любого другого механизма в исходных данных программы достаточно выставить табличные данные его механической характеристики. Ниже (рисунок 5) приведены результаты расчета для механизма с «вентиляторной» нагрузкой  $Mc2$ .

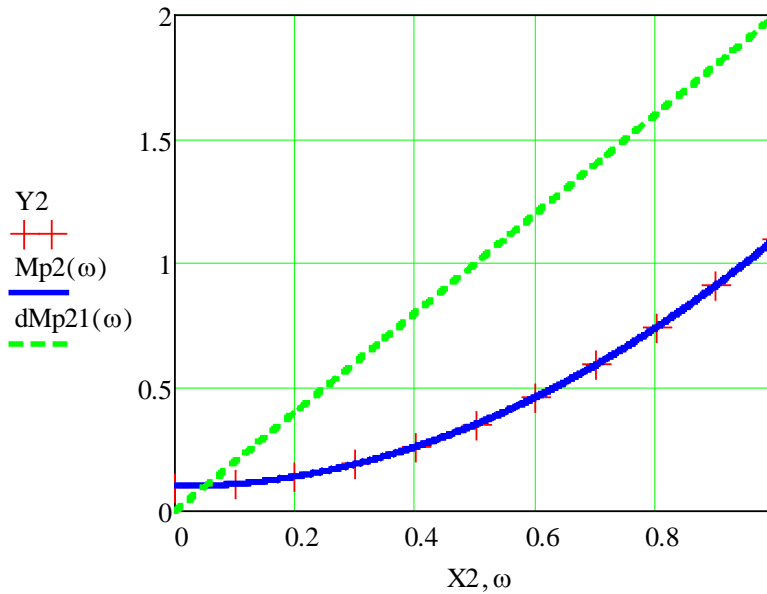


Рисунок 5. Результаты расчета для механизма с «вентиляторной» нагрузкой

**Результаты работы.** В соответствии с предложенными изменениями, блок решения системы дифференциальных уравнений математической модели электропривода с АД приобретает вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1x}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (-r_1 l_2 i_{1x} + \omega l_1 l_2 i_{1y} - \omega s l_m^2 i_{y1} + r_2 l_m i_{2x} + \omega l_2 l_m i_{2y} - \omega l_2 l_m s i_{2y} + (l_2 u_{1x} - l_m u_{2x})) \\ \frac{di_{1y}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (-\omega l_1 l_2 i_{1x} + \omega s l_m^2 i_{1x} - r_1 l_2 i_{1y} - \omega l_2 l_m i_{2x} + \omega l_2 l_m s i_{2x} + r_2 l_m i_{2y} + (l_2 u_{1y} - l_m u_{2y})) \\ \frac{di_{2x}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (r_1 l_m i_{1x} - \omega l_1 l_m i_{1y} + \omega s l_1 l_m i_{y1} - r_2 l_1 i_{2x} - \omega l_m^2 i_{2y} + \omega l_1 l_2 s i_{2y} + (l_1 u_{2x} - l_m u_{1x})) \\ \frac{di_{2y}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (\omega l_1 l_m i_{1x} - \omega s l_1 l_m i_{1x} + r_1 l_m i_{1y} - \omega l_1 l_2 s i_{2x} + \omega l_m^2 i_{2x} - r_2 l_1 i_{2y} + (l_1 u_{2y} - l_m u_{1y})) \\ \frac{ds}{dt} &= -\frac{3p_{II} l_m}{2J\omega} i_{1y} i_{2x} + \frac{3p_{II} l_m}{2J\omega} i_{1x} i_{2y} + \frac{M_C}{J\omega} \\ \frac{dM_C}{dt} &= \left( \sum b_n s^n \right) \left( \frac{3p_{II} l_m}{2J\omega} i_{1y} i_{2x} M_H + \frac{3p_{II} l_m}{2J\omega} i_{1x} i_{2y} M_H s - \frac{M_C}{J\omega} M_H \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На рисунках 6 и 7 приведены зависимости моментов сопротивления  $Mc1(t)$  и  $Mc2(t)$  при пуске АД, полученные на данной модели.

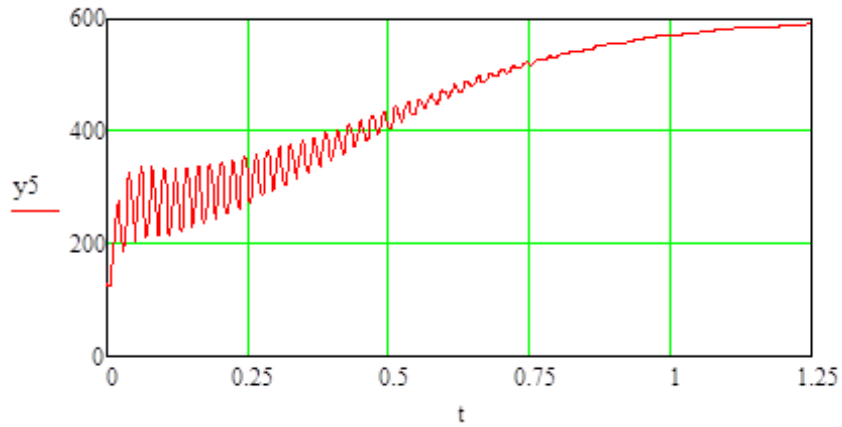


Рисунок 6. Зависимости моментов сопротивления

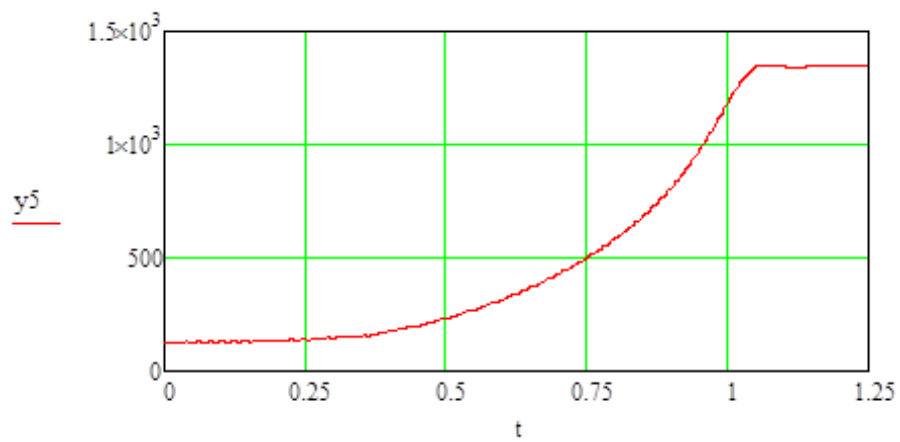


Рисунок 7. Зависимости моментов сопротивления

Кривые электромагнитных моментов АД при пуске с различными типами нагрузок, полученные на предлагаемой модели, представлены на рисунках 8,9.

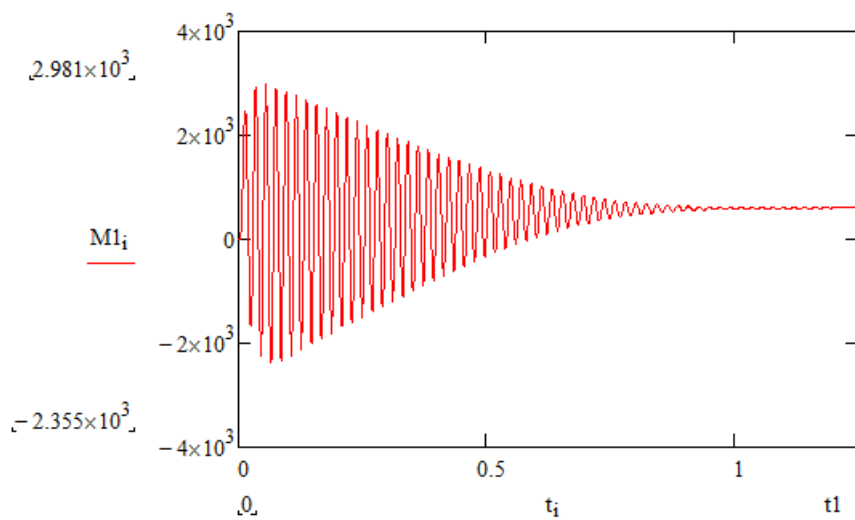


Рисунок 8. Электромагнитный момент АД при пуске с  $M_{c1}$

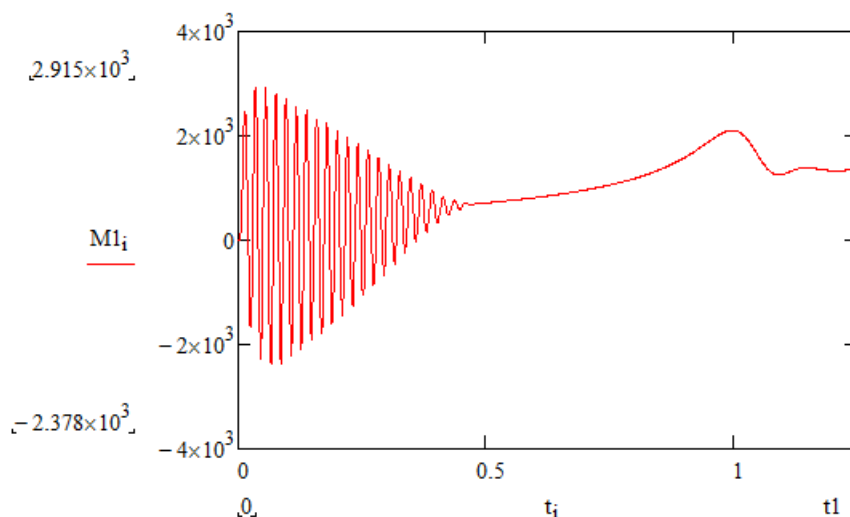


Рисунок 9. Электромагнитный момент АД при пуске с Mc2

Полученные кривые соответствуют представлениям о переходных процессах в электроприводе при моменте сопротивления механизма, зависящем от скорости вала двигателя, а также рассмотренным в статье механизмам (рисунок 2). Результаты моделирования привода с центробежной нагрузкой (рисунки 7,9) совпадают с результатами, полученными в [1] на модели асинхронного электропривода центробежного насоса.

**Выводы.** В результате дальнейшего развития математической модели регулируемого асинхронного электропривода, появляется возможность использования модели для исследования электроприводов механизмов с любым моментом сопротивления при минимальной подготовке данных по нагрузке. При этом достигается высокая точность представления реальной механической характеристики приводимого в движение механизма, полученного экспериментально или от предприятия – изготовителя, полиномом. Адекватность модели подтверждается сравнением результатов моделирования с ранее известными данными.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] M.Mustafin, N.Almuratova. International Journal of Pharmacy & Technology. Calculation of transient processes of electric drives of centrifugal mechanisms. IJPT| Sep-2016 | Vol. 8 | Issue No.3 | Indian.
- [2] Мустафин М.А., Алмуратова Н.К., Даримбаева Н. Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Вестник КазНУ, №6 (136), 2019г. -650-654 с.
- [3] Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: «Машиностроение», 2013.-176с.
- [4] Ключев В.И. Теория электропривода. -М.: Энергоатомиздат, 1985.
- [5] Дьяконов В.П. «Mathcad 8-12 для всех» Издательство: «Солон-пресс», 2005.
- [6] <https://drives.ru/novosti/leznov/>
- [7] Справочник по электрическим машинам: В 2 т/Под общей ред. Копылова И.П. и Клокова Б.К. – М.: Энергоиздат, 1988. – 405 с.
- [8] Автоматизированный электропривод промышленных установок. Под ред. Онищенко Г.Б. – М.: РАСХН, 2001.-520 с.

#### REFERENCES

- [1] M.Mustafin, N.Almuratova. International Journal of Pharmacy & Technology. Calculation of transient processes of electric drives of centrifugal mechanisms. IJPT| Sep-2016 | Vol. 8 | Issue No.3 | Indian.
- [2] Mustafin M.A., Almuratova N.K., Darimbayeva N. Modelirovaniye chastotno-reguliruyemogo asinkhronnogo elektropivoda. Vestnik KazNITU, №6 (136), 2019g. -650-654 s.

[3] Leznov B.S. Chastotno reguliruyemyy elektropriwod nasosnykh agregatov. М.: «Mashinostroyeniye», 2013.-176s.

[4] Klyuchev V.I. Teoriya elektropriroda. -М.: Energoatomizdat, 1985.

[5] D'yakonov V.P. «Mathcad 8-12 dlya vseh» Izdatel'stvo: "Solon-press", 2005.

[6] <https://drives.ru/novosti/leznov/>

[7] Spravochnik po ehlektricheskim mashinam [in Russian: Handbook of Electrical Machines]. Under the general ed. I.P. Kopylova and B.K. Klokova. Moscow, ENergoizdat Publ., 1988, 405 p.

[8] Avtomatizirovannyj ehlektropriwod promyshlennyh ustanovok [in Russian: Automated electric drive of industrial installations]. Ed. G.B. Onishchenko. Moscow, RASKHN Publ., 2001, 520 p.

**М.А. Мустафин, Н.К. Алмуратова\*, Н.И. Даримбаева, Г.Д. Дауренова**

Г. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: n.almuratova@aes.kz

### **ӘР ТҮРЛІ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІҢ ТҮРЛЕРІ ҮШІН ЖИЛІКТІ БАСҚАРЫЛАТЫН АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ**

**Андатпа.** Кез-келген жетекті механизмдердегі жиілікті басқарылатын асинхронды электр жетектегінің электрмагниттік және электр механикалық үрдістерді зерттеуге мүмкіндік беретін электр жетегінің математикалық моделі ұсынылған. «Mathcad» компьютерлік қосымшасында орындалған есептеулер алгоритмдерінің блок-схемасы, модельдеу нәтижелері және оларды талдау көрсетілген.

Қазіргі уақытта электр энергиясының ең көп тұтынушылары болып асинхронды электр қозғалтқыштарына негізделген электр жетектері болып табылады. Жаңа электр жетектерін жобалау кезеңінде және қолданыстағы моделін модернизациялау кезінде маңызды орынды объектіні математикалық модельдеу алады. Асинхронды электр жетектің электрмагниттік және электрмеханикалық процестерінің математикалық сипаттамасы бұрыннан белгілі. Сонымен, [1] қарсы моментінің жылдамдыққа квадраттық тәуелділігі бар ортадан тепкіш механизмдерге арналған асинхронды жетектің моделі ұсынылған. Авторлар электр жетектің математикалық моделін кез-келген қарсылық моменті бар механизмдер үшін пайдалану үшін әмбебаптандыруды ұсынады.

**Негізгі сөздер:** математикалық модельдеу, асинхронды қозғалтқыш, механикалық сипаттамалар, динамикалық режимдер, энергетикалық көрсеткіштер.

**M. Mustafin, N. Almuratova\*, N. Darimbayeva, G. Daurenova**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev,

Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: n.almuratova@aes.kz

### **MATHEMATICAL MODEL OF ASYNCHRONOUS FREQUENCY CONTROLLED ELECTRIC DRIVE FOR DIFFERENT TYPES OF LOAD**

**Abstract.** A mathematical model of a frequency-controlled asynchronous electric drive is proposed, which makes it possible to study electromagnetic and electromechanical processes in an electric drive with any drive mechanism. The block diagram of algorithms of calculations performed in the computer application "Mathcad", the results of modeling and their analysis are presented.

Currently, the most massive consumers of electrical energy are electric drives based on asynchronous electric motors (AM). At the design stages of new and modernization of existing electric drives with IM, an important place is occupied by mathematical modeling of the object. The mathematical description of the electromagnetic and electromechanical processes of an asynchronous electric drive has been known for a long time. So, in [1], a model of an asynchronous drive for centrifugal mechanisms with a quadratic dependence of the moment of resistance on speed is proposed. The authors propose the universalization of the mathematical model of the electric drive in order to use it for mechanisms with any moment of resistance.

**Keywords:** mathematical modeling, asynchronous motor, mechanical characteristics, dynamic modes, energy indicators.

<sup>1</sup>А.В. Волокитин, <sup>1</sup>А.Б. Найзабеков, <sup>1</sup>И.Е. Волокитина\*, <sup>2</sup>Е.А. Панин,  
<sup>3</sup>Е.И. Кульдеев, <sup>3</sup>Г.Ж. Молдабаева, <sup>4</sup>Д.В. Куис

<sup>1</sup>Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Белорусский государственный технологический университет, Беларусь

\*e-mail: irinka.vav@mail.ru

## КОНСТРУКЦИЯ ШТАМПА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

**Аннотация.** Была осуществлена разработка специальной конструкции штампа, позволяющего реализовать процесс интенсивной пластической деформации путем кручения под высоким давлением для деформирования кольцевых заготовок, которые будут являться исходным материалом для создания высокопрочных поршневых колец. Особенностью конструкции штампа является обеспечение кручения деформирующего инструмента при неизменном прямолинейном движении пуансона пресса за счет составного деформирующего инструмента, включающего в себя как блоки перемещения, так и вращения. С помощью полученной геометрии было проведено компьютерное моделирование данного процесса в программе Deform с целью оценки возможности стабильного протекания процесса. В качестве материала заготовки была выбрана нержавеющая сталь аустенитного класса AISI-316. Было рассмотрено возникающее усилие деформирования на первых двух циклах. На первом цикле усилие было равно 464 кН, на втором цикле значение усилия было около 1200 кН. Полученные значения являются вполне адекватными, что говорит о возможности многоциклового деформирования.

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, кручение под высоким давлением, конструкция штампа, моделирование.

Одной из основных задач физического материаловедения является обеспечение требуемого сочетания технологических и эксплуатационных свойств современных материалов. Механические свойства зависят от таких структурных параметров, как размеры зерен, плотность дислокаций, типы межкристаллитных границ. Наиболее простым и эффективным способом получения материалов с ультрамелкозернистой структурой является термомеханическая обработка (ТМО), основанная на сочетании больших пластических деформаций и отжига [1–3]. Варьируя режимы ТМО, можно получать структуры с различными параметрами в результате развития тех или иных рекристаллизационных процессов, что позволяет за счет микроструктурного дизайна управлять свойствами материалов в широких пределах [4–6].

Методы интенсивного пластического деформирования, в отличие от традиционных методов обработки металлов давлением, направленных преимущественно на формообразование, используются для значительного изменения структуры, фазового состава, физических и механических свойств. В результате ИПД в металлических материалах на порядки возрастают протяженности границ зерен и субзерен, заметно изменяется статическая и динамическая дилатация атомов кристаллической решетки. Благодаря этому во много раз повышаются прочностные характеристики металлов при сохранении достаточно высоких пластических свойств [7–10]. Наиболее исследуемым из всех методов ИПД является метод кручения под высоким давлением. Данный метод был разработан П.У. Бриджменом (Нобелевская премия по физике в 1946 г.) в 1950-х гг. и в дальнейшем развит в работах Л.Ф. Верещагина, Н.С. Ениколопяна, В.Е. Панина и других ученых из России, США, Австрии, Японии и Китая. Значительный вклад в развитие современных представлений о структурных превращениях в металлах и сплавах при таком сложном воздействии внесли В.А. Теплов, А.Н. Тюменцев, В.Д. Бланк, В.П. Пилюгин, В.В. Сагарадзе, И.Г. Бродова, М.В. Дегтярев, Р.З. Валиев и др.



Кручение под высоким давлением (КВД), как эволюция наковальни Бриджмена, было одним из первых способов получения объемных УМЗ и наноструктурных образцов, позднее развитых в работах [12-14]. Этот метод еще называют кручение под гидростатическим давлением (КГД). Образцы в форме дисков диаметром 10-20 мм и толщиной 0,3-1 мм деформируют кручением в условиях высокого приложенного гидростатического давления. Образец помещается внутрь полости, выполненной в нижнем бойке, и к нему прилагается гидростатическое давление величиной от 1 до 10 ГПа. Пластическая деформация кручением образца осуществляется за счет вращения одного из бойков. Поворот подвижной наковальни на определенный угол позволяет достичь различной степени деформации.

Как известно, в процессе кручения под высоким давлением движение деформирующего инструмента состоит из двух типов: поступательного и вращательного. В качестве рабочего механизма для реализации данного способа идеально подходят прессы, позволяющие создать высокое гидростатическое давление при сжатии. Однако главной трудностью является необходимость осуществления операции кручения вдоль оси заготовки. Для этого необходимо сообщить определенный крутящий момент деформирующему инструменту, что зачастую является невозможным из-за особенностей конструкции большинства прессового оборудования. Поэтому единственным возможным вариантом в этом случае остается обеспечение кручения деформирующего инструмента при неизменном прямолинейном движении пуансона прессы. Решение этой технической задачи может реализовано на практике только при наличии составного деформирующего инструмента, включающего в себя как блоки перемещения, так и вращения [15-18].

На рисунке 1 представлены чертеж и трехмерная модель верхнего бойка, которому сообщается поступательное движение от прессы. На нижней грани созданы 4 периодических выточки спиральной формы. При этом в центре верхнего бойка предусмотрено цилиндрическое отверстие для штока деформирующего элемента и обеспечения соосности обеих деталей.

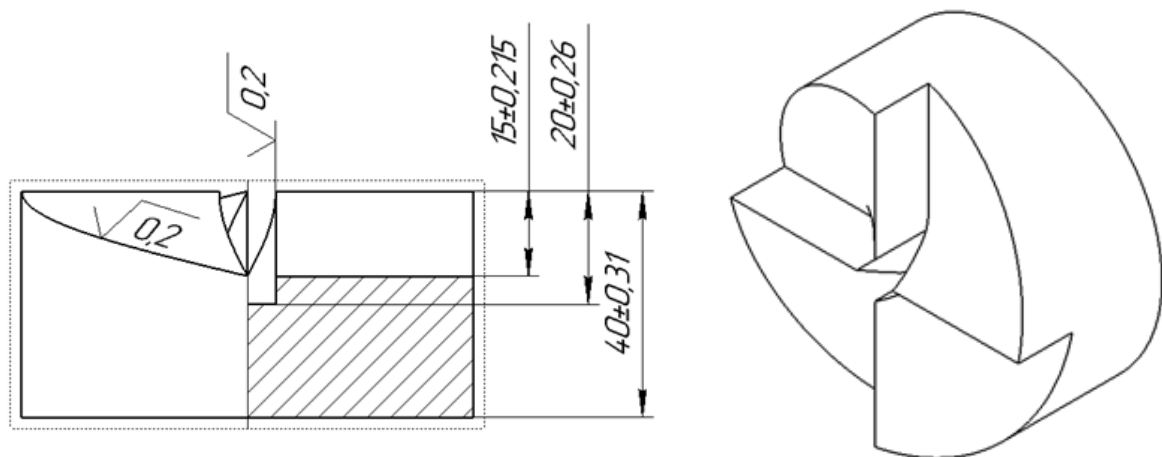
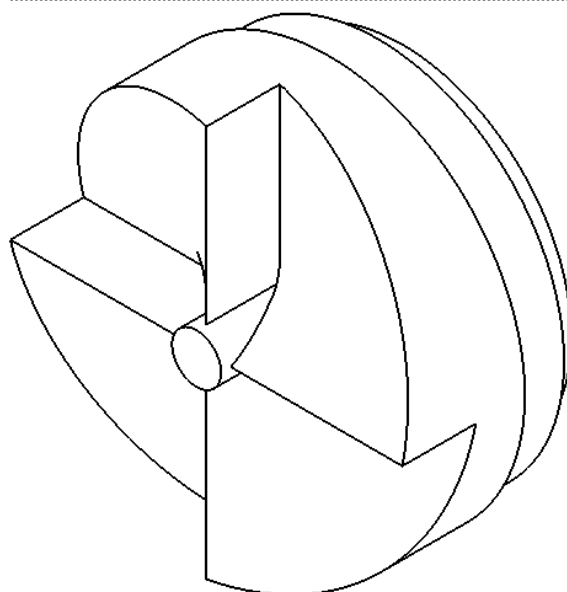


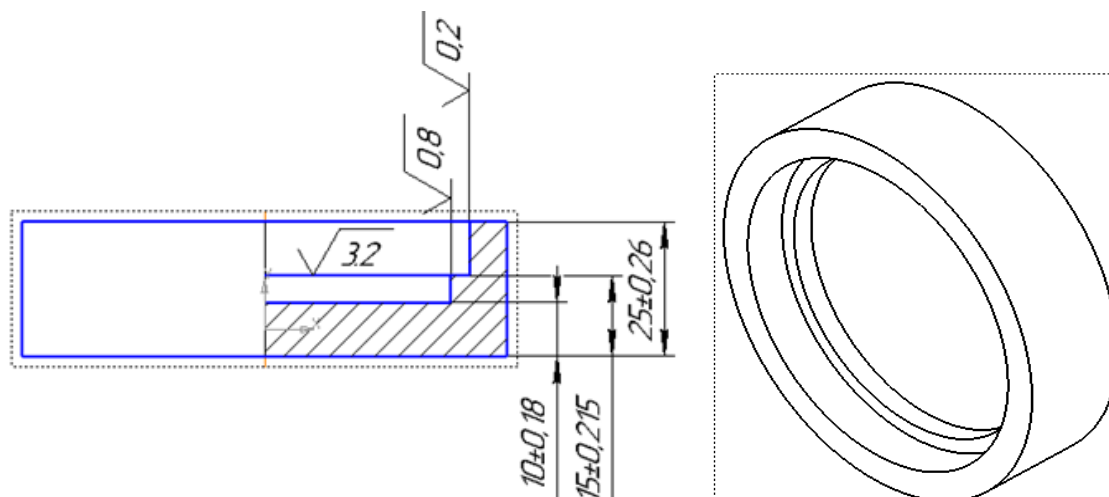
Рисунок 1. Верхний боек

На рисунке 2 представлена трехмерная модель нижнего бойка, которому сообщается крутящий момент от поступательного движения пуансона. За счет трения скольжения между двумя спиральными поверхностями данный элемент вынужденно проворачивается вокруг своей оси до смыкания вертикальных участков спиральных каналов.



**Рисунок 2.** Нижний боек

Нижний боек имеет несколько ступеней. Данное конструктивное решение является необходимым, поскольку в данном случае речь идет о деформировании кольцевой заготовки, а не дисковой. Первый переход (вторая промежуточная ступень) обеспечивает своей боковой гранью соприкосновение с боковой гранью стакана, в который закладывается заготовка (рис. 3). Второй переход (третья нижняя ступень) обеспечивает контакт с заготовкой по ее внутреннему радиусу, попутно полностью замыкая ее поперечное сечение.



**Рисунок 3.** Чертеж и модель нижней матрицы

В соответствии с этим принципом, внутренняя форма стакана также должна иметь ступенчатую форму. Ширина ступени должна соответствовать ширине обрабатываемой кольцевой заготовки.

Трехмерная геометрия всех деталей создавалась в программе КОМПАС-16 (рис.4), с последующим сохранением в формат STL.

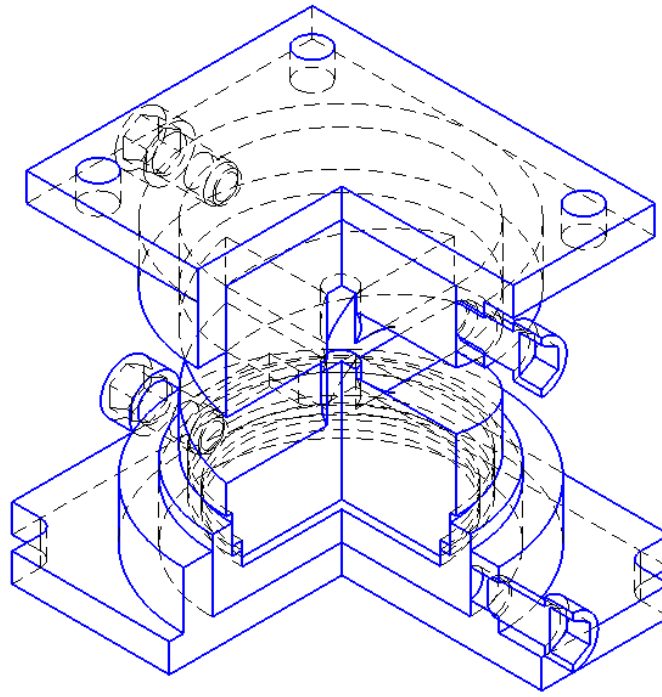


Рисунок 4. Результирующая модель в Deform

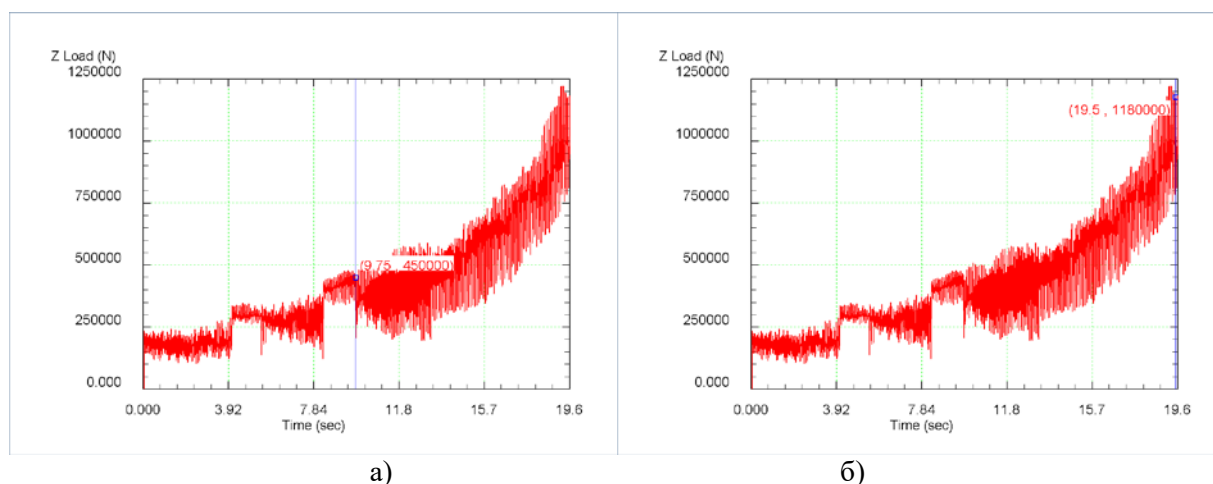
В качестве материала заготовки была выбрана нержавеющая сталь аустенитного класса AISI-316. Деформирование проводилось при комнатной температуре. Скорость движения пуансона составляла 1,5 мм/сек. Для осуществления деформации сдвига в данном процессе необходима высокая степень сцепления заготовки с инструментом. Поэтому на контакте заготовки со стаканом и деформирующим элементом было установлено значение коэффициента трения, равное 0,45. Деформирующему элементу никаких значений скорости не сообщалось. Вместо этого на оси цилиндрического штока устанавливалось следующее граничное условие: свободное перемещение в вертикальном направлении; перемещение оси по двум другим направлениям было отключено. Такая фиксация соответствует тому, что шток попадает в цилиндрический вырез пуансона и может в нем свободно перемещаться и вращаться.

Также для всех спиральных поверхностей деформирующего элемента было разрешено вращение вокруг данной оси. При этом величина угловой скорости вращения также не была задана, вместо этого было установлено крайне малое значение крутящего момента  $10^{-6}$  Н\*мм со знаком, обратным предполагаемому направлению вращения. Данный способ является универсальным, когда требуется задать косвенное вращение от действия сил трения. На контакте двух спиральных поверхностей было установлено малое значение коэффициента трения, равное 0,1, которое в реальных условиях обеспечивается низким уровнем шероховатости обеих поверхностей и применением смазки.

Для оценки возможности стабильного протекания процесса предварительно было проведено моделирование двух циклов деформирования, т.е. после того, как вертикальные участки пуансона и деформирующего элемента соприкасались, пуансон поднимался вверх, вся остальная конструкция проворачивалась на 2-3 градуса в обратную сторону для обеспечения торцевого захвата. После этого процесс деформирования повторялся.

Самый простой способ оценить реальную возможность реализации любого разрабатываемого процесса - это учесть возникающее усилие деформации, поскольку этот параметр определяет реальные деформационные возможности используемого механического оборудования.

На рис. 5 показаны графики усилия для двух циклов деформации. Поскольку холодная деформация неизбежно приводит к упрочнению обрабатываемого металла, уровень усилия при увеличении циклов обработки постоянно увеличивается, и максимальное значение усилия для конкретного цикла получается в конце взаимного скольжения спиральных поверхностей. В первом цикле было получено около 464 кН, во втором - около 1200 кН. Эти значения вполне адекватны, учитывая сложную схему нагружения и достаточно прочный исходный материал.



а – на первом цикле; б – на втором цикле

**Рисунок 5.** Усилие деформирования

**Выводы.** Осуществлена разработка специальной конструкции штампа, позволяющего реализовать процесс интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением для деформации кольцевых заготовок, которые будут исходным материалом для создания высокопрочных поршневых колец. Полученные в результате моделирования в программном комплексе Deform значения вполне адекватны, что свидетельствует о возможности многоциклового деформации в новой конструкции штампа для реализации кручения под высоким давлением.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP08856353).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Патент РФ № 2364660, МПК C22F 1/18, B21J 5/100. Способ получения ультрамелкозернистых заготовок из титановых сплавов / Латыш В.В., Половников В.М., Кандаров В.В. и др. // Оpubл. 20.08.09.
- [2] Патент РФ №2393936, МПК C22F 1/18, B21J 5/06. Способ получения ультрамелкозернистых заготовок из металлов и сплавов / В.А. Шундалов, В.Ю. Иванов, В.В. Латыш, и др. // опубл. 10.07.10.
- [3] Volokitina I.E., Kurapov G.G. Effect of Initial Structural State on Formation of Structure and Mechanical Properties of Steels Under ECAP // Metal Science and Heat Treatment. 2018. V. 59(11-12). P. 786-792.
- [4] Исламгалиев Р.К., Нестеров К.М., Валиев Р.З. Структура, прочность и электропроводность медного сплава системы Cu–Cr, подвергнутого интенсивной пластической деформации // ФММ. 2015. № 116. С. 219-230.
- [5] Lezhnev S., Nayzabekov A., Volokitin A., Volokitina I. New combined process "pressing-drawing" and impact on properties of deformable aluminum wire // Procedia Engineering. 2014. № 81. С.1505 – 1510.
- [6] Литовченко И.Ю., Аккузин С.А., Полехина Н.А., Тюменцев А.Н. Влияние термомеханических обработок на формирование субмикроструктурных состояний и механические свойства метастабильной аустенитной стали // Письма о материалах. 2016. № 4 (24). С. 290–293.

- [7] Лю Цзюньвей, Оуян Цзыпен, Лу Шигиан и др. Влияние РКУП по маршрутам Вс и С на микроструктуру и температуру мартенситного превращения сплава NITiNB // *МиТОМ*. 2017. № 1(739). С. 48-53.
- [8] Lezhnev S. N., Volokitina I. E., Volokitin A. V. Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of Steel during Pressing–Drawing // *Physics of Metals and Metallography*. 2017. № 118(11). С. 1167–1170.
- [9] Frint P., Wagner M.F.-X., Weber S. et al. An experimental study on optimum lubrication for large-scale severe plastic deformation of aluminum-based alloys // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. V.239. P. 222–229.
- [10] Kurapov G.G., Orlova E.P., Volokitina I.E., Turdaliev A. Plasticity as a physical-chemical process of deformation of crystalline solids // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2016. V. 51. P. 451-457.
- [11] Zhilyaev, A.P. Evolution of microstructure and microtexture in fcc metals during high-pressure torsion / A.P. Zhilyaev, T.R. Mcnelley, T.G. Langdon // *Journal of Materials Science*. – 2007. – V.42, N5. – P.1517-1528.
- [12] В.П.Пилюгин Л.М. Воронова, М.В. Дегтярев, Т.И. Чащухина. Особенности измельчения структуры чистого железа при низкотемпературной деформации под высоким давлением // *Деформация и разрушение материалов*. – 2011. – N.1. – С.26-30.
- [13] Вайнблат Ю.М., Клепачевская С.Ю., Ланцман П.Ш. Диаграммы структурных состояний и рекристаллизации горячедеформированного сплава АК4-1 // *Физика металлов и металловедение*. 1977. V.44(4). P.834.
- [14] Вайнблат Ю. М. Структурные состояния полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов // *Технология легких сплавов*. 1992. № 8. С. 34.
- [15] Васильев М. А., Волошко С. М., Яценко Л. Ф. Микроструктура и механические свойства металлов и сплавов, деформированных в жидком азоте // *Успехи физики металлов*. 2012. № 13. С. 303-343.
- [16] Panigrahi S.K., Jayaganthan R., Pancholi V., Gupta M. A DSC study on the precipitation kinetics of cryorolled Al 6063 alloy // *Materials Chemistry and Physics*. 2010. №122. С. 188-193.
- [17] Ramesh Kumar S., Kondaiah Gudimetla, Tejaswi B., Ravisankar B. Effect of Microstructure and Mechanical Properties of Al–Mg Alloy Processed by ECAP at Room Temperature and Cryo Temperature. // *Trans Indian Inst Met*. 2017. V. 70. P. 639-648.
- [18] Niranjani V.L., Kumar K.C.H., Sarma V.S. Development of high strength Al–Mg–Si AA6061 alloy through cold rolling and ageing // *Materials Science and Engineering A*. 2009. V.515. P. 169-174.

#### REFERENCES

- [1] Patent RF № 2364660, МПК C22F 1/18, B21J 5/100. Sposob polucheniya ul'tramelkozernistykh zagotovok iz titanovykh spлавov / Latysh V.V., Polovnikov V.M., Kandarov V.V. i dr. // *Opubl.* 20.08.09.
- [2] Patent RF №2393936, МПК C22F 1/18, B21J 5/06. Sposob polucheniya ul'tramelkozernistykh zagotovok iz metallov i spлавov / V.A. Shundalov, V.Yu. Ivanov, V.V. Latysh, i dr. // *opubl.* 10.07.10.
- [3] Volokitina I.E., Kurapov G.G. Effect of Initial Structural State on Formation of Structure and Mechanical Properties of Steels Under ECAP // *Metal Science and Heat Treatment*. 2018. V. 59(11-12). P. 786-792.
- [4] Islamgaliev R.K., Nesterov K.M., Valiev R.Z. Struktura, prochnost' i elektroprovodnost' mednogo сплава системы Su–Sr, podvergnutogo intensivnoi plasticheskoj deformatsii // *FMM*. 2015. № 116. S. 219-230.
- [5] Lezhnev S., Nayzabekov A., Volokitin A., Volokitina I. New combined process "pressing-drawing" and impact on properties of deformable aluminum wire // *Procedia Engineering*. 2014. № 81. С.1505 – 1510.
- [6] Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N. Vliyanie termomekhanicheskikh obrabotok na formirovanie submikrokristallicheskich strukturykh sostoyanii i mekhanicheskie svoistva metastabil'noi austenitnoi stali // *Pis'ma o materialakh*. 2016. № 4 (24). S. 290–293.
- [7] Lyu Tszyun'vei, Ouyan Tszypen, Lu Shigian i dr. Vliyanie RKUP po marshrutam Vs i S na mikrostrukturu i temperaturu martensitnogo prevrashcheniya сплава NITiNB // *МиТОМ*. 2017. № 1(739). С. 48-53.
- [8] Lezhnev S. N., Volokitina I. E., Volokitin A. V. Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of Steel during Pressing–Drawing // *Physics of Metals and Metallography*. 2017. № 118(11). С. 1167–1170.

[9] Frint P., Wagner M.F.-X., Weber S. et al. An experimental study on optimum lubrication for large-scale severe plastic deformation of aluminum-based alloys // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. V.239. P. 222–229.

[10] Kurapov G.G., Orlova E.P., Volokitina I.E., Turdaliev A. Plasticity as a physical-chemical process of deformation of crystalline solids // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2016. V. 51. P. 451-457.

[11] Zhilyaev, A.P. Evolution of microstructure and microtexture in fcc metals during high-pressure torsion / A.P. Zhilyaev, T.R. Mcnelley, T.G. Langdon // *Journal of Materials Science*. – 2007. – V.42, N5. – P.1517-1528.

[12] V.P.Pilyugin L.M. Voronova, M.V. Degtyarev, T.I. Chashchukhina. Osobennosti izmel'cheniya struktury chistogo zheleza pri nizkotemperaturnoi deformatsii pod vysokim davleniem // *Deformatsiya i razrushenie materialov*. – 2011. – N.1. – S.26-30.

[13] Vainblat Yu.M., Klepachevskaya S.Yu., Lantsman P.Sh. Diagrammy strukturnykh sostoyanii i rekristallizatsii goryachedeformirovannogo splava AK4-1 // *Fizika metallov i metallovedenie*. 1977. V.44(4). P.834.

[14] Vainblat Yu. M. Strukturnye sostoyaniya polufabrikatov iz deformiruemykh alyuminievykh splavov // *Tekhnologiya legkikh splavov*. 1992. № 8. S. 34.

[15] Vasil'ev M. A., Voloshko S. M., Yatsenko L. F. Mikrostruktura i mekhanicheskie svoystva metallov i splavov, deformirovannykh v zhidkom azote // *Uspekhi fiziki metallov*. 2012. № 13. S. 303-343.

[16] Panigrahi S.K., Jayaganthan R., Pancholi V., Gupta M. A DSC study on the precipitation kinetics of cryorolled Al 6063 alloy // *Materials Chemistry and Physics*. 2010. №122. C. 188-193.

[17] Ramesh Kumar S., Kondaiah Gudimetla, Tejaswi B., Ravisankar B. Effect of Microstructure and Mechanical Properties of Al–Mg Alloy Processed by ECAP at Room Temperature and Cryo Temperature. // *Trans Indian Inst Met*. 2017. V. 70. P. 639-648.

[18] Niranjani V.L., Kumar K.C.H., Sarma V.S. Development of high strength Al–Mg–Si AA6061 alloy through cold rolling and ageing // *Materials Science and Engineering A*. 2009. V.515. P. 169-174.

<sup>1</sup>А.В. Волокитин, <sup>1</sup>А.Б. Найзабеков, <sup>1</sup>И.Е. Волокитина\*, <sup>2</sup>Е.А. Панин,

<sup>3</sup>Е.И. Кульдеев, <sup>3</sup>Г.Ж. Молдабаева, <sup>4</sup>Д.В. Куис

<sup>1</sup>Рудный индустриальный институт, Рудный, Қазақстан

<sup>2</sup>Қарағанды мемлекеттік индустриалдық университеті, Теміртау, Қазақстан

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті, Беларусь

\*e-mail: irinka.vav@mail.ru

## ЖОҒАРЫ ҚЫСЫММЕН БҰРАЛУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУҒА АРНАЛҒАН ШТАМП КОНСТРУКЦИЯСЫ

**Андатпа.** Жоғары берік поршеньдік сақиналарын жасау үшін бастапқы материал болатын сақиналы дайындамаларды деформациялау үшін жоғары қысыммен бұрау арқылы қарқынды пластикалық деформациялау процесін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін арнайы штамп конструкциясын жасау жүзеге асырылды. Штамп конструкциясының ерекшелігі - ауыстыру және сондай-ақ айналу блоктарын қамтитын құрамдас деформациялық құралдың арқасында пресс соққының тұрақты тік сызықты қозғалысы кезінде деформациялық аспаптың бұралуын қамтамасыз ету. Алынған геометрияны қолдана отырып, процестің тұрақты ағу мүмкіндігін бағалау үшін Deform бағдарламасында осы процесті компьютерлік модельдеу жүргізілді. Дайындаманың материалы ретінде AISI-316 тот баспайтын болаттан жасалған аустенит класы таңдалды. Алғашқы екі циклде пайда болған деформация күші қарастырылды. Бірінші циклде күш 464 кН, екінші циклде күш мәні шамамен 1200 кН болды. Алынған мәндер жеткілікті, бұл көп циклді деформация мүмкіндігін көрсетеді.

**Негізгі сөздер:** қарқынды пластикалық деформациясы, жоғары қысыммен бұрау, штамп конструкциясы, модельдеу.

<sup>1</sup>A.V. Volokitin, <sup>1</sup>A. B. Naizabekov, <sup>1</sup>I.E. Volokitina\*, <sup>2</sup>E. A. Panin,  
<sup>3</sup>E.I. Kuldeev, <sup>3</sup>G.Zh. Moldabaeva, <sup>4</sup>D.V. Kuis

<sup>1</sup>Rudny industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

<sup>2</sup>Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

<sup>3</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>Belarussian State Technological University, Belarussia

\*e-mail: irinka.vav@mail.ru

### DIE DESIGN FOR HIGH-PRESSURE TORSION

**Abstract.** A special design of the die was developed, which allows to implement the process of severe plastic deformation by high pressure torsion to deform ring blanks, which will be the starting material for creating high-strength piston rings. A special feature of the die design is the provision of torsion of the deforming tool with constant rectilinear movement of the press punch due to the composite deforming tool, which includes both displacement and rotation blocks. Using the obtained geometry, computer simulation of this process in the Deform program was performed in order to assess the possibility of a stable process flow. AISI-316 austenitic stainless steel was chosen as the material of the billet. The resulting strain force on the first two cycles was considered. On the first cycle, the force was equal to 464 kN, on the second cycle the force value was about 1200 kN. The obtained values are quite adequate, which indicates the possibility of multi-cycle deformation.

**Key words:** severe plastic deformation, high-pressure torsion, die design, simulation.

**<sup>1</sup>В.Ф. Грищенко, <sup>2</sup>С. Толендиулы, <sup>2</sup>Г. Талгатқызы\*, <sup>2</sup>А. Нурланқызы**

<sup>1</sup>Ионосфера институты, ЕЖШСД, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: gozi\_94@mail.ru

## **РАДИАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІНЕН ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ БОРТТЫҚ ЭЛЕКТРОНИКАСЫНЫҢ ЕСТЕ САҚТАУ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ БІРЛІКТІК ІСТЕН ШЫҒУЛАРЫН СҮЛБАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

**Андатпа.** Түрлі ғарыш аппараттарын (ҒА) пайдалану кезінде ғарыштық сәулелер (ҒС) әсерінің нәтижесінде борттық электрониканың істен шығуы орын алатыны белгілі, бұл авариялық жағдайларға, ал бірқатар жағдайларда спутниктерінің жоғалуына әкеп соқтырады. Оған мысал ретінде "Қазсат-1" және "Фобос-Грунт" спутниктерін айтсақ болады. Әр түрлі елдерде (Франция, Ресей, АҚШ, Қытай) ұзақ уақыт ғарыштық ұшулар кезінде ғарыштағы күрделі құрылымдардың әрекетін болжау немесе шешім қабылдау, әр түрлі оқиғалардың орын алуы мен олардың салдарларының бірнеше нұсқаларын алдын-ала "ойнатуды" талап еткен кезде орбитадағы төтенше жағдайларға әкелетін процестерді анықтау нақты қажет болған жағдайларда жүйелердің әрекетін модельдеу әдістері қолданылады. Сондықтан осы жұмыста борттық электрониканың функционалдық жағдайы мен істен шығуларына ғарыш кеңістігі факторларының (ҒКФ) кешенді әсерін бағалауға мүмкіндік беретін тиімділігі жоғары және салыстырмалы түрде арзан әдіс болып табылатын схемотехникалық модельдеу әдісі қарастырылады. Жұмыстың негізгі міндеті-бір бөлшектің өтуі кезінде жад элементінің транзисторларының берілген шарттары мен параметрлері үшін жад модульдерінің ұяшықтарының жалғыз ақауларын схемалық модельдеу. Ионизация тогы мен критикалық зарядтар анықталды, бұл жад модулінің ұяшығының логикалық күйінің бұзылуына және инверсиясына әкеледі.

**Негізгі сөздер:** тізбекті модельдеу, критикалық заряд, ионизация тогы, борттық жабдық.

**Мәселенің қазіргі жағдайы.** Спутниктердің сәтсіздіктері пайда болу себептері бойынша, сондай-ақ олардың жеке борттық жүйелердің қабілетінің төмендеуіне әсері бойынша ерекшеленеді.

ҒКФ-ның пайда болу себептеріне кешенді әсерлер жатады, оның ішінде: күн (КҒС) және галактикалық (ГҒС) ғарыштық сәулелердің, жердің радиациялық белдеулерінің (ЖРБ) бөлшектерінің радиациялық әсері, күн электрмагниттік сәулелену, магнитосфералық плазма, ҒКФ-ның өзіндік атмосферасы, микрогравитация, микрометеориттер және т.б. Ғарыш кеңістігінің борттық радиоэлектрондық аппаратураның істен шығуына радиациялық әсерін микрогравитация жағдайларында авторлар [1] жұмыста толығырақ қарастырған.

Борттық радиоэлектрондық жабдықта жоғары сенімді электрондық компоненттерді қолдану сыртқы ҒКФ-ның әсерінен істен шығу ықтималдығын жоймайтынын атап өткен жөн.

Жекелеген борттық жүйелердің істен шығуы жобалау қателіктерінен, ұшу алдындағы нашар сынақтардан, жүйелердің механикалық және электрлік компоненттерінің тозуынан, операторлардың немесе жер үсті жүйелерінің қателіктерінен қате командалардан немесе операциялардан және істен шығуды талдау кезінде жабдықты әзірлеушілер анықтаған басқа себептерден туындауы мүмкін.

**Электрондық борттық жабдықтың істен шығудың жіктелуі.** Бұл жұмыста ҒС ядроларының әсерінен туындаған жалғызілікті істен шығулар борттық аппаратураны басқару жүйелеріндегі авариялық жағдайлар тұрғысынан неғұрлым қауіпті деп қаралатын болады.

Көбінесе жер үсті модельдеу эксперименттерінде және нақты жағдайларда байқалатын ақаулардың түрлері:

SEU (single event upset) - жеке ұяшықтарда ақпараттың жоғалуы түрінде көрінетін тұрақты логикасы бар интегралдық сұлбалардағы (ИС) жалғызілікті қайтымды істен шығулар;



SEL (single event latchup) - протондар немесе FC ауыр ядролары КМОП ИС-ның сезімтал аймағына түскен кезде паразиттік тиристорлық құрылымдардың қосылуынан туындаған жалғызілікті істен шығулар ("ілемктің" әсері);

SEHE (single event hard error) - элементтің одан әрі "дозаланған" істен шығуымен (термиялық күйдіруден кейін, әдетте, жұмыс күйіне оралу байқалады) протондар немесе FC ядролары кірген кезде ИС белсенді элементтерінің сезімтал аймағына энергияның жергілікті шығарылуымен байланысты жалғыз микродозалық әсер;

SEFI (single event functional interrupt) - функционалдық үзілістің жалғызілікті әсері (микропроцессорлар, контроллерлер және т.б.);

SEB (single event burnout) - FC протондары немесе ядролары түскен кезде паразиттік биполярлық транзистордың ашылуымен байланысты қуатты МОП-транзисторлардағы күйдің жалғызілікті әсері;

SEGR (single event gate rupture) - FC протондары немесе ядролары кірген кезде МОП-құрылымдардағы диэлектриктің ысырмасындағы жалғызілікті тесіп өту әсері;

SES (single event snapback) - n-МОП транзисторларындағы қайталама тесудің жалғызілікті әсері;

SET (single event transient) - ИС сезімтал аймағына FC протонының немесе ядросының кіруінен туындаған ионизацияның өтпелі реакциясы. Аналогты ИС тиімділігі және аралас типті ИС шығыс тізбектеріндегі ток импульстері түрінде көрінуі мүмкін, сонымен қатар жоғары жиілікті оптикалық ақпарат беру желілеріндегі ақпараттың бұрмалануына әкелуі мүмкін [2].

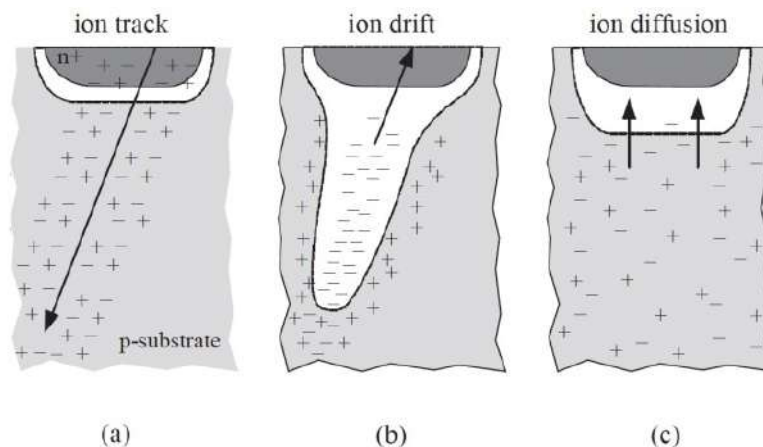
Микрогравитация жағдайында FC бір бөлшегінің өтуі кезінде жад модульдерінде істен шығулардың пайда болу механизмін (SEU) және электростатикалық разрядтардың пайда болуы нәтижесінде істен шығуларды модельдеу схемасы (SEL) ұсынылған [3].

Бұл жұмыста FC иондаушы бөлшегінің өтуінен туындаған ионизация тогының әсерінен КМОП құрылымының сақтау құрылғыларында (жадта) ақаулардың схемалық модельдеуі жүргізілді. Бұған КМОП құрылымдарының сипаттамалары ықпал етеді: статикалық жағдайда өте төмен қуат тұтыну және жоғары шуға төзімділігі.

**Ионизация тогының пайда болу механизмі.** Жалпы жағдайда жалғыз тұйықталу тиімділігі транзистордың белсенді аймағына бір бөлшектердің енуімен, содан кейін транзисторлардың ішінде ионизация жолының пайда болуымен және электронды тесік жұптарының пайда болуымен байланысты.

Иондаушы бөлшектердің бойында бос электр зарядының тасымалдаушылары пайда болады. Кремнийде бір электронды тесік жұбын жасау үшін қажет орташа энергия 3,6 эВ құрайды [4].

1-суретте n-каналды транзистордағы (nМОП) радиациялық әсерден туындаған ионизация тогының пайда болуының мысалы көрсетілген.



1-сурет. Бір ғарыш сәулесінің бөлшегінен туындаған бұзылу механизмі

1-сурет ионизация тогының қалыптасу кезеңдерін және осы токтың уақыт диаграммасын көрсетеді:

1a - зарядталған бөлшек кері ығысумен p-n-ауысуына жақын өтеді және бос электронды тесік жұптарын жасайды; 1b - электрондар оң зарядталған ағын өрісімен тартылып, оған қарай жылжиды, сарқылу аймағын кеңейтеді және иондаушы ток импульсін жасайды; 1c - импульс аяқталғаннан кейін қалған заряд жиналғанға немесе рекомбинацияланғанға дейін сарқылу аймағына ауытқуды жалғастырады.

Жад ұяшығындағы жалғызілікті істен шығулар (SEU) зарядталған бөлшек транзистордың сезімтал аймағымен соқтығысқан кезде пайда болады және сол жасушаның күйінің өзгеруіне әкеледі. Жад ұяшығында, әсіресе жоғары логикалық деңгейде сақталатын түйінде, ағызу мен субстрат арасындағы кері ығысулар иондаушы бөлшектерден туындаған SEU типінің істен шығуына өте сезімтал. Бұл сақтау түйінінің басқа түйіндегі күшті төмендету транзисторымен (nМОП транзисторымен) салыстырғанда салыстырмалы түрде әлсіз тарту транзисторымен (рМОП транзисторымен) қолдау көрсетілуіне байланысты [5].

ҒС бөлшегінің әсерінен пайда болатын зарядтың жинақталуы 1 суретте көрсетілген. Жиналған  $Q_{coll}$  заряды иондаушы бөлшектің түріне, траекториясына, энергия мөлшеріне және әсер ету орнына байланысты болады.  $Q_{coll}$  диапазон аралығы 1-ден жүздеген компьютерге дейін жетеді. Әдетте статикалық жад ұяшығы үшін  $Q_{coll}$  сыни заряды деп өріс пен кеңістіктік зарядтың үлкен аймағының болуына байланысты ҒС бөлшектерінің әсеріне ең сезімтал nМОП транзисторларының кері ығысуымен жад ұяшығының логикалық күйін өзгерту үшін зардап шеккен тораппен жинауға болатын минималды заряд түсініледі. Сонымен,  $Q_{coll} < Q_{crit}$  сақтау түйінінен кіші, содан кейін тартқыш транзистор шығаратын ток биттің бұрылуына жол бермейді.  $Q_{crit}$  мәнін келесідей анықтауға болады:

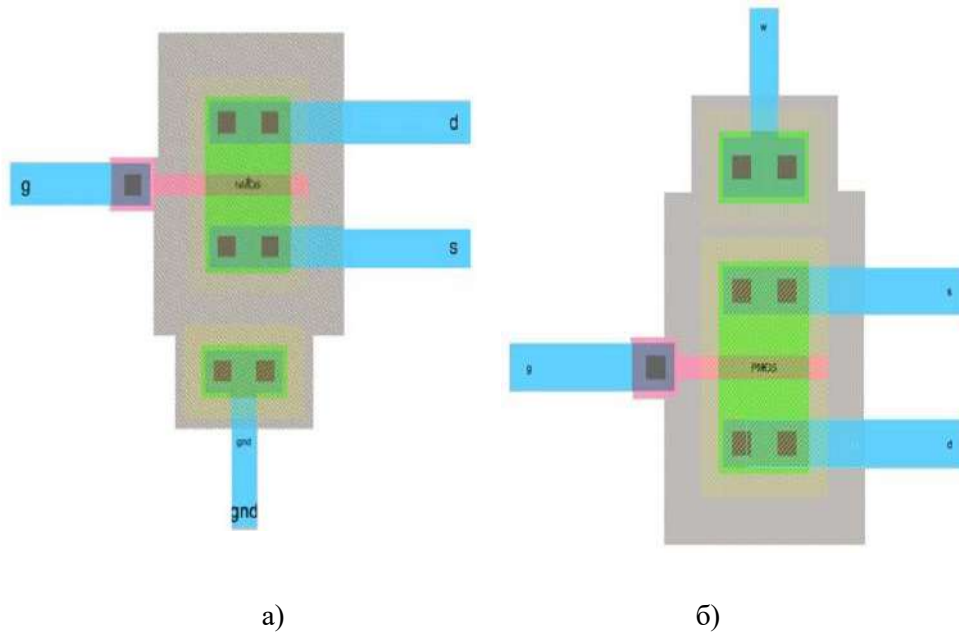
$$Q_{crit} = \int_0^F I_D dt = (C_{min} \times V_{dp}) + (I_{dp} \times T_F), \quad (1)$$

мұндағы  $C_{min}$  - транзистордың минималды сыйымдылығы,  $V_{dp}$  - жад ұяшығының кернеуі,  $I_{dp}$  - транзистордың рМОП максималды дренаждық өткізгіштігі, ал  $T_F$  - жад ұяшығының ауысу уақыты.

Қазіргі уақытта шекті кернеу тұжырымдамасына негізделген әртүрлі модельдер белгілі. Оларға Level1-Level3, МОП Модель 9, BSIM3, BSIM4 кіреді. BSIM4 моделі ең сенімді және 1 - математикалық өрнек үшін барлық қажетті параметрлерді сипаттайды. Ықшам модельдердің маңызды айырмашылығы-транзистордағы физикалық процестерді сипаттайтын негізгі айнымалыларды таңдау.

1-өрнектен критикалық зарядтың мөлшері МОП тізбегінің параметрлеріне байланысты болатындығын көруге болады. Сондықтан біз транзистордың ықшам схемалық моделінің SPICE параметрлерін қолдандық (SPICE - Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) [6].

Біз 2-суретте көрсетілген транзисторлардың геометриялық модельдерін жасадық, 0,5 мкм технологиялық процеске сәйкес келеді.



2-сурет. МОП транзисторларының геометриялық модельдері

nМОП және рМОП транзисторларының физика-топологиялық модельдері BSIM4 моделін қолдана отырып жасалған.

1-суретте көрсетілген nМОП және рМОП транзисторларының физика-топологиялық модельдері МОП тізбегінің параметрлерін алу үшін жасалды. МОП транзисторларының физика-топологиялық модельдері электр VLSI автоматтандырылған дизайнын қолдана отырып жасалды. Бұл қосымша өте үлкен интегралды схемаларды жобалау үшін қолданылады [7].

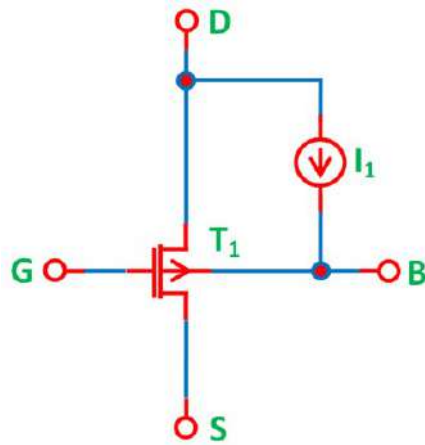
Иондық жолдарда зарядтарды жинауға арналған индукцияланған токтың толқын пішінінің аналитикалық моделі, әдетте, тез өсу мен құлдырау уақытымен қоса экспоненциалды қисыққа жақындағанын ескерту керек:

$$I_{ioniz}(t) = \frac{Q_0}{\tau_0 - \tau_R} \left[ e\left(\frac{-t}{\tau_R}\right) - e\left(\frac{-t}{\tau_F}\right) \right], \quad (2)$$

мұндағы  $Q_0$ -бір бөлшектен жиналған жалпы заряд,  $\tau_F$ -диффузиялық зарядты жинау уақытына байланысты ағымдағы ыдырау уақыты ( $\sim 0.1 \dots 0.4$  нс),  $\tau_R$ -KFC рп-өткелі арқылы тасымалдаушылардың дрейф уақытына байланысты ағымдағы өсу уақыты ( $\sim 10 \dots 50$  пс). Модельденген ионизация тогының импульсі 1 - суретте түсіндірмемен қарастырылған.

Жалғызілікті істен шығу орын алатын  $I_{dp}$  өткізгіштік тогының мәнін тек SPICE электронды схемасының имитаторын қолдана отырып, FC бір ядроларының әсерін модельдеу арқылы бағалауға болады [8].

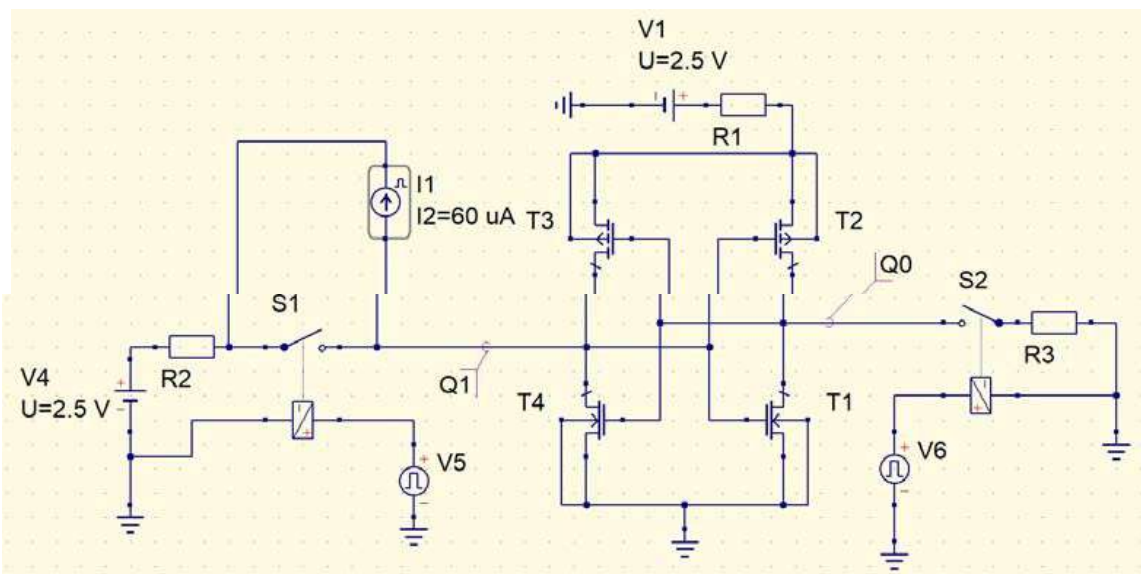
FC ядроларының SPICE симуляторында транзистордың сезімтал аймағына әсері өтетін бөлшектің иондану тогымен модельденеді [9]. Ионизация тогын модельдеу үшін өріс эффектісі транзисторының тізбек моделінен және р-п-ағынды өтуге параллель қосылған ток генераторының моделінен тұратын эквивалентті тізбек құрылды. 3 - сурет FC ядроларының әсерінен туындаған ионизация тогын алмастырудың макромоделін көрсетеді.



**3-сурет.** Ғарыш сәулелері ядроларының әсерінен туындаған иондаушы токты алмастыру макромоделі

6 статикалық жад ұяшығындағы жалғыз ақаулықты модельдеу тізбегінде жабық транзисторлардың p-n өтулерінің қоры бір бөлшек тигенде осал болады.

4-сурет статикалық жад элементін (ұяшық) көрсетеді.



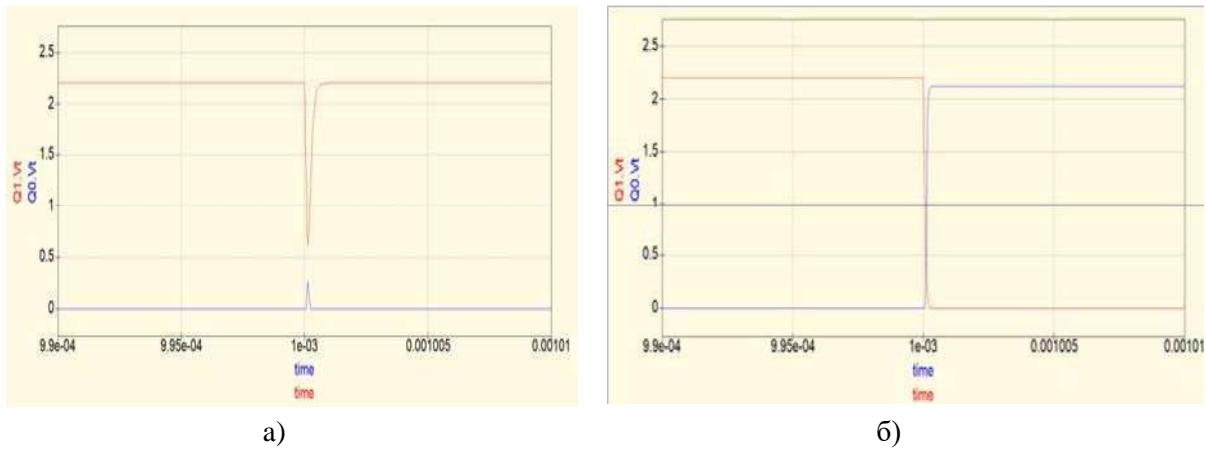
**4-сурет.** КМОП құрылымдарға негізделген жад құрылғысының жад элементі

Жад ұяшығының негізгі элементтері – 3 - суретте көрсетілген логикалық инвертор болып табылатын КМОП транзисторларының жұптары (T1, T2 және T3, T4 транзисторлары). Мұндай инверторда логикалық сигналдарды беру кезінде транзисторлардың бірі әрдайым ашық, ал екіншісі жабық болады. S1 және S2 қосқыштары модельдеудің бастапқы шарттарын анықтау үшін қолданылады [10].

Бір элементтің істен шығуын тізбекті модельдеу келесідей жүргізілді. Мысалы, бастапқыда T4 және T1 транзисторлары жад ұяшығында ашылып, ал транзисторлар T3 және T2 жабылды [11]. Ионның өтуінен туындаған  $I_{dp}$  өткізгіштік тогы 2-суретке сәйкес істен шыққан транзисторға параллель қосылған ток көзімен модельденеді. Содан кейін бөлшектің енуінен туындаған токтың ұлғаюы жад ұяшығында екі бәсекелес процесті тудырады: артық зарядты оң және кері байланыста сіңіреді.

Сондай-ақ, ашық транзисторлардың ағынды иондау токтары жад ұяшығының логикалық күйін растайтындығын байқауға болады [12]. Тек T3 және T2 жабық транзисторлардың ағынды иондау токтары жад ұяшығының ауысуына ықпал етеді. Бұл жағдайда T2 жабық n-канал транзисторының ағу тогы T4 және T3 транзисторларының кірістеріндегі кернеуді төмендетеді, T3 жабық p-канал транзисторының иондану тогы T1 және T2 транзисторларының кірістеріндегі кернеуді төмендетеді [13].

Виртуалды модельдеу кезінде жад элементі амплитудасы 36 мА дейінгі токқа жетеді. 5а - суретте модельдеу нәтижелері ұяшықтың тұрақты күйде екенін көрсетеді, бірақ кішігірім ауытқулар болады. Бұл ауытқулар шекті мәннен аспайтындықтан, жад элементі ақпараттың бір бөлігін сақтауды қамтамасыз етеді деп болжауға болады [14]. Ионизация тогының амплитудасы 36 мА-дан асқан кезде, жад элементі оның күйін өзгертеді, осылайша ақпараттың бір бөлігін сақтаудан бір рет бас тартады. Алынған уақытша тәуелділік 5б - суретте көрсетілген.



**5-сурет.** Жад ұяшығының шығуына уақытша тәуелділік (Q0, Q1) және ионизация тогының әсері  
 а) жад элементіне 36 мкА дейін, б) жад элементіне 36 мкА астам

5а - және 4б - суретте көрсетілген модельдеу нәтижелерінен, бір FC бөлшегі ғана жалғыз ақаулықтарға әкелмейтінін көруге болады. Ол үшін жад ұяшығының сезімтал бөлігіне түсіп, сыни мәннен асатын зарядты қосу керек.

Схемалық модельдеу әдісімен алынған жад элементінің әртүрлі кернеулеріндегі критикалық зарядты бағалау нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

**1-кесте. Әртүрлі қуат кернеулеріндегі критикалық заряд пен өткізгіштік тогының мәні**

	Кернеу беру $V_{dd} = 2.5 \text{ V}$	Кернеу беру $V_{dd} = 3.3 \text{ V}$	Кернеу беру $V_{dd} = 5 \text{ V}$
Схеманы модельдеу бағдарламасында есептелген $I_{dp}$ , $\mu\text{A}$ өткізгіштік тогының мәні	30	80	160
$I_{dp}$ $\mu\text{A}$ тиісті өткізгіштік тогы бар $Q_{crit}$ , pC критикалық зарядының мәні	36	96	193

Ұсынылған нәтижелерден жад элементінің қуат кернеуінің жоғарылауы жад ұяшығының инверсиясына әкелетін критикалық зарядтың көбеюіне ықпал ететіндігін көруге болады.

$Q_{crit}$  критикалық зарядының  $V_{dd}$  қуат кернеуіне және жад модулі ұяшығының логикалық күйінің инверсиясына әкелетін  $I_{dp}$  өткізгіштік тогына тәуелділігі 1- кестеде келтірілген.

**Қорытынды.** Осылайша, бұл жұмыста бір бөлшектің өтуі кезінде жад элементінің транзисторларының берілген шарттары мен параметрлері үшін жад модулі ұяшығының істен шығуын схемалық модельдеу жүргізілді. Өткізу тогы және жад элементінің кернеу мәні, онда ұяшық күйі ауысады, яғни жалғыз істен шығулары анықталды. Жад модулі ұяшығының логикалық күйін түрлендіруге әкелетін зарядтың критикалық мәні анықталды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] T. Musabayev, Zh. Zhantayev, V. Grichshenko. Complex influence of space environment on materials and electronic devices in the conditions of microgravity//Advances in Space Research, Volume 58, Issue 6, 2016, Pages 1138-1145, ISSN 0273-1177.
- [2] Kuznetsov N.V., Panasuk M.I. Cosmic radiation and prediction of errors and fault tolerance of integrated circuits in the on-board equipment of spacecrafts. Problems of Atomic Science and Technology. Physics of radiation effects on electronic equipment. 1-2. pp. 3-8, 2015.
- [3] Кузнецов Н. В. Радиационная обстановка на орбитах космических аппаратов // Кітап: Космическая модель. ред. М. И. Панасюк, Л. С. Новиков, Ғылым, 2017. Т.1. Б. 25-30. ISBN: 978-5-98227-418
- [4] Жантаев Ж.Ш., Грищенко В. Ф., Мукушев А. Схемотехническое моделирование защиты электронной аппаратуры от электростатического разряда. ҚР ҰҒА жаңалықтары. №4- физика-математика сериясы, 2016, б. 15-19. ISSN 1991-346X ,
- [5] Wang F.,Agrawal V. (2008) Single event upset: An embedded tutorial, 21st International Conference on VLSI Design (VLSID 2008), pp. 429-434.
- [6] Keller, A. M., Whiting, T. A., Sawyer, K. B., Wirthlin, M. J. Dynamic SEU sensitivity of designs on two 28-nm SRAM-based FPGA architectures // IEEE Transactions on Nuclear Science 65 (1). -2018, -P.280-287.
- [7] Van-Harten, Jordans R., Pourshagliagli H. Necessity of fault tolerance techniques in Xilinx kintex 7 FPGA devices for space missions : a case study, In : Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), IEEE.-2017. -P. 299-306.
- [8] Грищенко В.Ф., Төлендіұлы С., Нурланқызы А. Схемотехническое имитационное моделирование воздействия разрядов на элементы интегральных схем // Вестник КазННТУ №6 (136). с. 478-483. 2019.
- [9] А. Строганов, С. Цыбин, П. Городков, (2019). Методы повышения стойкости ПЛИС со статическим ОЗУ к воздействию ионизирующего излучения. ELECTRONICS: SCIENCE, TECHNOLOGY, BUSINESS. 186. 98-101. 10.22184/1992-4178.2019.186.5.98.101.
- [10] V. Grichshenko & A. Mukushev. (2020). Circuit simulation of single failures of memory modules of on-board electronics. Physico-mathematical series. 3. 118-126. 10.32014/2020.2518-1726.44.
- [11] Vladimirov A. M., Bezhayev A. Yu., Zykov V. M., Isaychenko V. I., Lukashchuk A. A., Lukonin S. E. Automated test bench for simulation of radiation electrification of spacecraft structural dielectrics // XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 168 – 2017. doi:10.1088/1757-899X/168/1/012037.
- [12] Van-Harten, Jordans R., Pourshaghagh H. Necessity of fault tolerance techniques in Xilinx kintex 7 FPGA devices for space missions: a case study // Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), IEEE. - 2017. - P. 299–306.
- [13] ПЛИС и параллельные архитектуры для применения в аэрокосмической области. Программные ошибки и отказоустойчивое проектирование. Под ред. Ф. Кастеншмидт, П. Реха. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 326 с. 2018
- [14] Гаврилов С.В.,Гуров С.И., Жукова Т.Д., Рыжова Д.И. Применение теории кодирования для повышения надежности комбинационных систем // Информационные технологии. – 2016. – №12. – С. 931-937.
- [15] Грищенко В.Ф., Төлендіұлы С., Нурланқызы А. Расчет интенсивности отказов модулей памяти бортовых электронных аппаратур низкоорбитальных космических аппаратов // Вестник ПГУ №3. с. 149-160. 2019.

REFERENCES

- [1] T. Musabayev, Zh. Zhantayev, V. Grichshenko. Complex influence of space environment on materials and electronic devices in the conditions of microgravity//Advances in Space Research, Volume 58, Issue 6, 2016, Pages 1138-1145, ISSN 0273-1177.
- [2] N. V. Kuznetsov, M. I. Panasuk. Cosmic radiation and prediction of errors and fault tolerance of integrated circuits in the on-board equipment of spacecrafts. Problems of Atomic Science and Technology. Physics of radiation effects on electronic equipment. 1-2. pp. 3-8, 2015.
- [3] Kuznetsov N. V. Radiation situation in the orbits of spacecraft / / Book: Cosmic model. ed. M. I. Panasyuk, L. S. Novikov, Science, 2017. Vol. 1. B. 25-30. ISBN: 978-5-98227-418
- [4] Zhantaev Zh. Sh., Grishchenko V. F., Mukushev A. Circuit modeling of protection of electronic equipment from electrostatic discharge. NS news of the republic of Kazakhstan. No. 4-Physics-Mathematics series, 2016, b. 15-19. ISSN 1991-346X ,
- [5] Wang F.,Agrawal V. (2008) Single event upset: An embedded tutorial, 21st International Conference on VLSI Design (VLSID 2008), pp. 429-434.
- [6] Keller, A. M., Whiting, T. A., Sawyer, K. B., Wirthlin, M. J. Dynamic SEU sensitivity of designs on two 28-nm SRAM-based FPGA architectures // IEEE Transactions on Nuclear Science 65 (1). -2018, -P.280-287.
- [7] Van-Harten, Jordans R., Pourshagliagi H. Necessity of fault tolerance techniques in Xilinx kintex 7 FPGA devices for space missions : a case study, In: Euromicro Conference on Digital System Design( DSD), IEEE.-2017. -p.299-306.
- [8] Grishchenko V. F., Tolendiuly S., Nurlankyzy A. Circuit simulation modeling of the impact of discharges on the elements of integrated circuits // Bulletin of KazNITU No. 6 (136). p. 478-483. 2019.
- [9] A. Stroganov, S. Tsybin, P. Gorodkov, (2019). Methods for increasing the resistance of FPGAs with static RAM to ionizing radiation. ELECTRONICS: SCIENCE, TECHNOLOGY, BUSINESS. 186. 98-101. 10.22184/1992-4178.2019.186.5.98.101.
- [10] V. Grichshenko., A. Mukushev. (2020). Circuit simulation of single failures of memory modules of on-board electronics. Physico-mathematical series. 3. 118-126. 10.32014/2020.2518-1726.44.
- [11] Vladimirov A. M., Bezhayev A. Yu., Zыkov V. M., Isaychenko V. I., Lukashchuk A. A., Lukonin S. E. Automated test bench for simulation of radiation electrification of spacecraft structural dielectrics // XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 168 – 2017. doi:10.1088/1757-899X/168/1/012037.
- [12] Van-Harten, Jordans R., Pourshaghghi H. Necessity of fault tolerance techniques in Xilinx kintex 7 FPGA devices for space missions: a case study // Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), IEEE. - 2017. - P. 299–306.
- [13] FPGAs and parallel architectures for aerospace applications. Software errors and fault-tolerant design. Edited by F. Kastenschmidt, P. Reha. Moscow: TECHNOSPHERE, p.326// 2018
- [14] Gavrilov S. V., Gurov S. I., Zhukova T. D., Ryzhova D. I. Application of coding theory for improving the reliability of combinational systems. - 2016. - No. 12. - pp. 931-937.
- [15] Grishchenko V. F., Tolendiuly S., Nurlankyzy A. Calculation of the failure rate of memory modules of onboard electronic devices of low-orbit spacecraft // Bulletin of PSU No. 3. pp. 149-160. 2019.

<sup>1</sup>В.Ф. Грищенко, <sup>2</sup>С. Толендиулы, <sup>2</sup>Г. Талгаткызы\*, <sup>2</sup>А. Нурланкызы

<sup>1</sup>ДТОО "Институт ионосферы", Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт промышленной автоматизации и цифровизации, Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*e-mail: gozi\_\_94@mail.ru

**СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕДИНИЧНЫХ ОТКАЗОВ  
ЗАПОМИНАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКОГО  
АППАРАТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИИ**

**Аннотация.** Известно, что при эксплуатации различных космических аппаратов (КА) в результате воздействия космических лучей (КЛ) происходит отказ бортовой электроники, что приводит к аварийным ситуациям, а в ряде случаев - к потере спутников. В качестве примера можно привести спутники "КазСат-1" и "Фобос-Грунт". В разных странах (Франция, Россия, США, Китай) в случаях, когда необходимо прогнозировать или принимать решения о поведении сложных структур в

космосе при длительных космических полетах, выявлять процессы, приводящие к чрезвычайным ситуациям на орбите, когда требуется заранее "воспроизведение" несколько вариантов возникновения различных событий и их последствий, применяются методы моделирования поведения систем в реальных условиях. Поэтому в этой работе рассмотрен метод схемотехнического моделирования, представляющий собой высокоэффективный и относительно недорогой метод, позволяющий оценить комплексное воздействие факторов космического пространства (ФКП) на функциональное состояние и отказы бортовой электроники. Основной задачей работы является схематическое моделирование одиночных сбоях ячеек модулей памяти для заданных условий и параметров транзисторов элемента памяти при прохождении одной частицы. Определены ток ионизации и критические заряды, что приводит к нарушению и инверсии логического состояния ячейки модуля памяти.

**Ключевые слова:** схемотехническое моделирование, критический заряд, ток ионизации, бортовое оборудование.

<sup>1</sup>V. F. Grishchenko, <sup>2</sup>S. Tolendiuly, <sup>2</sup>G. Talgatkyzy\*, <sup>2</sup>A. Nurlankyzy

<sup>1</sup> SLLP "Ionosphere Institute", Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Industrial Automation and Digitalization, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: gozi\_\_94@mail.ru

### **SCHEMATIC MODELING OF UNIT FAILURES OF MEMORY ELEMENTS OF ONBOARD ELECTRONICS OF SPACECRAFT UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION**

**Abstract.** The main purpose of the work is the circuit simulation of failures of on-board electronic equipment of spacecraft (SC) for various purposes under specified conditions and the parameters of the transistors of the memory element during the passage of a single cosmic ray particle (CR). Acutality of the problem. It is known that during the operation of spacecraft for various purposes, as a result of the impact of cosmic rays (CR), on-board electronic systems fail, which leads to abnormal situations, and in some cases to the loss of satellites, for example, KazSat -1 and Phobos-Grunt. Therefore, this paper uses the method of circuit modeling, which is a highly efficient and relatively low-cost method that allows us to evaluate the circuit parameters of the transistors of the memory element during the passage of a single cosmic ray particle. In this paper, we present the results of circuit failure modeling (SEU and SEL) under radiation exposure to storage devices (memory), which was carried out on the CMOS structure, which is the dominant one in the manufacture of ICS.

**Keywords:** circuit modeling, critical charge, ionization current, on-board equipment.



**М.М. Байгулбаева\*, Е.К. Онгарбаев, А.Б. Жамболова, К. Жумахан**  
Институт проблем горения, Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Алматы, Казахстан  
\*e-mail: mur\_aly.kz@mail.ru

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД

**Аннотация.** В работе изучено влияние механохимической активации на элементный состав шунгитовых пород месторождения Коксу. Использование наноструктурированного порошка шунгита в сорбентах может привести к улучшению их сорбционных свойств. В результате механохимической активации в образцах шунгитовых пород карбонатного и сланцевого происхождения уменьшается массовая доля углерода, массовая доля кремния увеличивается. В составе пород также увеличивается содержание кислорода, алюминия и железа, что способствует улучшению сорбционных свойств шунгита. Снижение скорости вращения шаров приводит к незначительному изменению содержания элементов, наблюдается уменьшение содержания углерода, кислорода и натрия, а содержание кремния, алюминия, железа и калия увеличивается. Увеличение соотношения массы образца и массы шаров с 1:1 до 1:3 при скорости измельчения 400 об/мин не привело к значительным изменениям содержания элементов.

**Ключевые слова:** шунгит, элементный состав, механохимическая активация, углерод, кремний, измельчение, сорбция, дисперсность, кислород, алюминий, железо.

**Введение.** Тенденции развития нанотехнологий направлены на разработку продуктов с улучшенными качественными и функциональными характеристиками, повышение эффективности использования уже существующих материалов.

Шунгитовые породы - это природный композит, основными компонентами которого являются высокоупорядоченное углеродистое вещество и кремнезём. Они являются сложной смесью углерода, оксидов кремния и металлов, таких как оксид алюминия и оксида кальция, что позволяет предположить в нем хорошие адсорбционные свойства [1, 2]. Благодаря своим физико-химическим свойствам шунгитовые породы имеют практическую ценность при очистке воды и почв от нефтяных загрязнений [3, 4].

Известно, что определяющим свойством сорбентов является их дисперсность, выражаемая в показателях размера частиц и их удельной поверхности. Чем дисперснее образец, тем будет выше уровень сорбционных свойств сорбента с ним. Увеличение дисперсности порошка возможно с применением интенсивных и энергоёмких технологий дробления [5, 6]. В настоящее время находит широкое применение механохимическая активация как метод получения новых высокодисперсных материалов [7, 8]. Применение данного метода по отношению к шунгитовым породам изучено недостаточно, что, вероятно, связано с их высокой механической прочностью [9-11].

В работе изучена возможность увеличения дисперсности шунгитовых образцов путем механохимической активации. Использование наноструктурированного порошка шунгита в сорбентах может привести к улучшению их сорбционных свойств.

Целью работы является изучение влияния механохимической активации на элементный состав шунгитовых пород месторождения Коксу.

**Экспериментальная часть.** Механохимической активации были подвержены образцы шунгитовых пород месторождения Коксу марки «Таурит». Были выбраны 2 образца: карбонатный ТК фракции 1 мм и сланцевый ТС фракции 1 мм.

Механохимическая активация образцов шунгитовых пород проводилась на планетарной шаровой мельнице Pulverisette 6. Скорость вращения 250-500 об/мин, время активации 20 мин,

масса образцов 70-350 г, масса шариков 70-170 г. Элементный состав образцов определен методом энергодисперсионной спектроскопии на приборе EDAX ametek.

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 1 представлены состав и основные физико-химические показатели образцов шунгита марки «Таурит».

Образцы шунгита марки ТК и ТС по внешнему виду представляют собой зерна и пыль неправильной геометрической формы от темно-серого до черного цвета. Как видно из табличных данных, они отличаются по массовой доле углерода и оксида кремния. В карбонатных образцах содержание углерода 12 мас.%, что в 2 раза больше, чем в сланцевых породах (5,6 мас.%). Массовая доля оксида кремния в сланцевых породах составляет 76,1 %, в то время как в карбонатных породах его меньше - 48,1%. Содержание водорастворимых веществ в образцах не более 1,0 %. Массовая доля влаги в карбонатных образцах 1,0 %, а в сланцевых – 3,5 %. Значение рН водной суспензии находится в пределах 8,2-8,8. Указанные показатели соответствуют требованиям СТ 60-1907-23-ТОО-001-2014.

Количественный анализ элементного состава показал, что образцы шунгита Коксуского месторождения представлены в основном следующими элементами: углерод, кислород и кремний, также присутствуют в небольших долях – алюминий, железо, калий, магний, кальций, натрий (таблица 2).

Как показывают результаты элементного анализа, содержание углерода в карбонатных породах больше (53,03 мас. %), чем их содержание в сланцевых породах (43,20 мас. %). Содержание кремния в сланцевых породах больше (11,67 мас. %), чем в карбонатных образцах. Эти данные подтверждают ранее представленные значения по содержанию чистого углерода и оксида кремния в образцах шунгитовых пород.

Таблица 1. Качественные показатели образцов шунгита марки «Таурит»

Показатель	Нормативное значение по СТ 60-1907-23-ТОО-001-2014 карб. / сланцевый	Карбонатный ТК	Сланцевый ТС
Массовая доля углерода, %	7-15 / 4-8	12,0	5,6
Массовая доля SiO <sub>2</sub> , %	30-55 / 72-85	48,1	76,1
Содержание водорастворимых веществ, %	не более 1,5	0,72	0,91
Массовая доля влаги, %	-	1,0	3,5
рН водной суспензии	7-10	8,8	8,2
Крупность, мм	-	0-1	0-1

Отмечается относительно высокое содержание кальция в образцах марки ТК карбонатного происхождения. Образцы сланцевого происхождения ТС характеризуются сравнительно высоким содержанием алюминия, калия и железа. Содержание натрия и магния в исходных образцах сильно не отличается.

Таблица 2. Элементный состав образцов шунгитовых пород до и после механохимической активации

Марка	Содержание, мас. %									
	C	O	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
ТК	53,03	27,05	8,47	0,05	0,31	1,69	0,65	6,38	-	2,38
ТС	43,20	31,88	11,67	0,24	0,59	5,77	2,13	0,58	0,92	3,02
ТК после активации	27,90	37,17	19,65	0,28	0,62	5,64	1,91	0,63	0,56	5,64
ТС после активации	27,05	37,23	20,44	0,29	0,57	6,27	1,95	0,54	0,48	5,00

Анализ элементного состава шунгитовых образцов после измельчения показал, что в результате механохимической активации в полученном продукте снижается массовая доля углерода до 27 мас. %, возрастает массовая доля кремния до 19-20 мас. %. В составе измельченного механохимической активацией продукта увеличивается содержание кислорода до 37 мас.%, алюминия до 5,6-6,2 мас. % и железа до 5-5,6 мас. %, эти элементы способны улучшить сорбционные свойства шунгита. Таким образом, механоактивация приводит к обогащению шунгита кремниевой компонентой.

Механохимическая активация образцов шунгитовых пород проводилась при различных режимах. В таблице 3 приведено содержание элементов в образцах после измельчения в зависимости от режима обработки.

Как видно из табличных данных, снижение скорости вращения приводит к незначительному изменению содержания элементов, наблюдается уменьшение содержания углерода, кислорода и натрия, а содержание кремния, алюминия, железа и калия увеличивается.

Увеличение соотношения массы образца и массы шаров с 1:1 до 1:3 при скорости измельчения 400 об/мин не привело к значительным изменениям содержания элементов. Для всех элементов изменение их количества находится в пределах от 0,5 до 1,5 %.

**Таблица 3. Элементный состав образцов шунгитовых пород после механохимической активации при различных режимах (скорость вращения шаров, соотношение масс образца и шаров)**

Марка, режим	Содержание, мас. %									
	C	O	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
ТС, 500 об/мин, 1:2	27,05	37,23	20,44	0,29	0,57	6,27	1,95	0,54	0,48	5,00
ТС, 350 об/мин, 1:2	23,40	36,52	22,61	0,27	0,49	6,61	2,17	0,58	0,72	5,60
ТС, 250 об/мин, 1:2	24,77	36,94	21,62	0,22	0,47	6,46	2,20	0,70	0,49	5,35
ТК, 400 об/мин, 1:1	38,25	29,73	12,85	0,24	0,49	3,04	1,34	9,74	0,23	3,89
ТК, 400 об/мин, 1:3	39,82	30,29	11,66	0,16	0,36	2,60	1,08	9,05	0,37	3,61

Таким образом, в результате механохимической активации наблюдается изменение элементного состава шунгитовых пород, образцы которых будут испытаны в качестве сорбентов для очистки нефтезагрязненных почв.

**Заключение.** Анализ элементного состава образцов шунгита Коксуского месторождения показывает, что основная массовая доля представлена углеродом, кислородом и кремнием, а остальной состав состоит из алюминия, железа, магния, кальция, натрия и калия. Карбонатные образцы отличаются высоким содержанием углерода, сланцевые образцы – оксида кремния. В результате механохимической активации в образцах снижается массовая доля углерода, возрастает массовая доля кремния. В их составе увеличивается содержание кислорода, алюминия и железа, способные улучшить сорбционные свойства шунгита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по грантовому проекту AP08856559 «Разработка сорбентов на основе шунгитовых пород для очистки нефтезагрязненных почв».

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Мусина У.Ш. Изучение физико-химических свойств коксуских шунгитистых пород // Вестник КазНТУ. - 2010. - № 6 (82). - С. 3-7.
- [2] Мусина У.Ш. Коксуские шунгитистые породы в процессах обеспечения экологического равновесия // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2014. - № 23. – С. 79-83.
- [3] Еликбаев Б.К., Мусина У.Ш., Джамалова Г.А. Биоремедиация нефтезагрязненных почв на основе природного и техногенного углеродсодержащего биоактиватора – Коксуского шунгита // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2017. – № 4. – С. 141-152.
- [4] Петрова О.А., Карибаева М.К., Шарафиева Г.Т., Сакошев А.К. Использование природных сорбционных материалов для очистки воды // Экологический вестник России. – 2014. - № 3. – С. 48-51.
- [5] Моисеевская Г.В., Шпаков М.Ю., Раздьяконова Т.Н. Об эффективности механоактивации шунгитового наполнителя резин марки Таурит ТС-Д // Каучук и резина. – 2012. – № 6. – С. 14-16.
- [6] Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирное Е.Н. Активация материалов при их измельчении. – М.: Недра, 2004. – 208 с.
- [7] Полунина И.А., Гончарова И.С., Высоцкий В.В. и др. Модифицирование шунгитового материала для применения в сорбции и мембранной технологии // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 234-240.
- [8] Eismont Y., Auchynnikaу Y., Avdeychik S., Ikramov A., Grigorieva T. Mechanochemical processes in the formation of engineering materials based on polymers // Material Science. Non-equilibrium phase transformations. – 2015. - № 1. – P. 36-41.
- [9] Полунина И.А., Высоцкий В.В., Сенчихин И.Н. и др. Влияние модифицирования на физико-химические характеристики шунгита // Коллоидный журнал. – 2017. – Т. 79, № 2. – С. 192-197.
- [10] Мосин О., Игнатов И. Минерал шунгит. Структура и свойства // Наноматериалы. – 2013. - № 3 (41). – С. 32-38.
- [11] Шабанова Т.А., Садыков Б.С., Сабаяев Ж.Ж., Мофа Н.Н. Углеродсодержащий минерал Таурит. Его механохимическая обработка и структурные изменения // Материалы VIII Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов / Нанотехнология». – Алматы, 2014. – С. 290-294.

**REFERENCES**

- [1] Musina U.Sh. Izuchenie fiziko\_himicheskikh svoystv koksuskih shungitistih porod // Vestnik KazNTU. \_ 2010. \_ № 6 \_82, \_ S. 3\_7.
- [2] Musina U.Sh. Koksuskie shungitistie porodi v processah obespecheniya ekologicheskogo ravnovesiya // Izvestiya SPbGTI\_TU, \_ – 2014. \_ № 23. – S. 79\_83.
- [3] Elikbaev B.K.\_ Musina U.Sh.\_ Djamalova G.A. Bioremediaciya neftezagryaznennih pochv na osnove prirodnogo i tehnogennogo uglerodsoderjaschego bioaktivatora – Koksuskogo shungita // Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya. – 2017. – № 4. – S. 141\_152.
- [4] Petrova O.A.\_ Karibaeva M.K.\_ Sharafieva G.T.\_ Sakoshev A.K. Ispolzovanie prirodniх sorbcionniх materialov dlya ochistki vodi // Ekologicheskii vestnik Rossii. – 2014. \_ № 3. – S. 48\_51.
- [5] Moiseevskaya G.V.\_ Shpakov M.Yu.\_ Razdyakonova T.N. Ob effektivnosti mehanoaktivacii shungitovogo napolnitelya rezin marki Taurit TS\_D // Kauchuk i rezina. – 2012. – № 6. – S. 14\_16.
- [6] Molchanov V.I.\_ Selezneva O.G.\_ Jirnoe E.N. Aktivaciya materialov pri ih izmelchenii. – M.\_ Nedra\_ 2004. – 208 s.
- [7] Polunina I.A.\_ Goncharova I.S.\_ Visockii V.V. i dr. Modificirovanie shungitovogo materiala dlya primeneniya v sorbcii i membrannoй tehnologii // Sorbcionnie i hromatograficheskie processi. – 2016. – T. 16\_ № 2. – S. 234\_240.
- [8] Eismont Y.\_ Auchynnikaу Y.\_ Avdeychik S.\_ Ikramov A.\_ Grigorieva T. Mechanochemical processes in the formation of engineering materials based on polymers // Material Science. Non\_equilibrium phase transformations. – 2015. \_ № 1. – R. 36\_41.
- [9] Polunina I.A.\_ Visockii V.V.\_ Senchihin I.N. i dr. Vliyanie modificirovaniya na fiziko\_himicheskie harakteristiki shungita // Kolloidnii jurnal. – 2017. – T. 79\_ № 2. – S. 192\_197.
- [10] Mosin O.\_ Ignatov I. Mineral shungit. Struktura i svoistva // Nanomateriali. – 2013. \_ № 3 \_41, \_ – S. 32\_38.
- [11] Shabanova T.A.\_ Sadikov B.S.\_ Sabaev J.J.\_ Mofa N.N. Uglerodsoderjaschii mineral Taurit. Ego mehanoхимическая obrabotka i strukturnie izmeneniya // Materiali VIII Mejdunarodnogo simpoziuma «Fizika i himiya uglerodniх materialov / Nanoinjeneriya». – Almati\_ 2014. – S. 290\_294.

**М.М. Байгулбаева\*, Е.К. Онгарбаев, А.Б. Жамболова, Қ. Жұмахан**

Жану проблемалары институты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: mur\_aly.kz@mail.ru

### **ШУНГИТ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТІК ҚҰРАМЫНА МЕХАНОХИМИЯЛЫҚ АКТИВТЕНДІРУДІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Жұмыста Көксу кен орнының шунгит жыныстарының элементтік құрамына механохимиялық активтендірудің әсері зерттелді. Сорбенттерде нанокұрылымды шунгит ұнтағын пайдалану олардың сорбциялық қасиеттерінің жақсаруына әкелуі мүмкін. Механохимиялық активтендіру нәтижесінде карбонат және тақтатас текті шунгит жыныстарының үлгілерінде көміртектің массалық үлесі азайып, кремнийдің массалық үлесі көбейеді. Жыныстардың құрамында оттегі, алюминий мен темірдің мөлшері де көбейеді, бұл шунгиттің сорбциялық қасиеттерінің жақсаруына жағдай жасайды. Шарлардың айналу жылдамдығының азаюы элементтер мөлшерінің шамалы өзгеруіне әкеледі, көміртегі, оттегі және натрий мөлшерінің азаюы байқалады, ал кремний, алюминий, темір және калий мөлшері жоғарылайды. Ұнтақтау жылдамдығы 400 айн/мин болған кезде үлгінің массасы мен шарлардың массасының арақатынасының 1:1-ден 1:3-ке дейін жоғарылауы элементтердің мөлшерінің айтарлықтай өзгеруіне әкелмеді.

**Негізгі сөздер:** шунгит, элементтік құрам, механохимиялық активтендіру, көміртек, кремний, ұнтақтау, сорбция, дисперстілік, оттегі, алюминий, темір.

**M.M. Baigulbaeva\*, Y.K. Ongarbayev, A.B. Zhambolova, K. Zhumakhan**  
Institute of Combustion Problems, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: mur\_aly.kz@mail.ru

### **STUDY OF THE INFLUENCE OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SHUNGITE ROCKS**

**Abstract.** The paper studies the effect of mechanochemical activation on the elemental composition of shungite rocks of the Koksuu deposit. The use of nanostructured shungite powder in sorbents can lead to an improvement in their sorption properties. As a result of mechanochemical activation in samples of shungite rocks of carbonate and shale origin, the mass fraction of carbon decreases, and the mass fraction of silicon increases. The composition of the rocks also increases the content of oxygen, aluminum and iron, which improves the sorption properties of shungite. A decrease in the speed of rotation of the balls leads to a slight change in the content of elements, a decrease in the content of carbon, oxygen and sodium is observed, and the content of silicon, aluminum, iron and potassium increases. An increase in the ratio of the sample mass to the ball mass from 1:1 to 1:3 at a grinding speed of 400 rpm did not lead to significant changes in the content of elements.

**Keywords:** shungite, elemental composition, mechanochemical activation, carbon, silicon, grinding, sorption, dispersion, oxygen, aluminum, iron.

**<sup>1</sup>Е.М.Балтаев\*, <sup>1</sup>Р.А.Козбагаров, <sup>1</sup>Н.С.Камзанов, <sup>1</sup>С.К.Кожатаев, <sup>2</sup>А.В. Кочетков**

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>"Профессиональный инженер" АҚБ, Мәскеу, Ресей

\*e-mail: baltaev9707@mail.ru

## АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНДЫЛАРДЫ БҰЗУ ҚҰРАЛДАРЫ

**Андатпа.** Құрылыс жағдайында жерасты инженерлік коммуникацияларын төсеу, ауыстыру немесе жөндеу жұмыстарын жүргізу міндеттері сөзсіз. Қазіргі уақытта бұл жұмыстардың басым көпшілігі ашық түрде жүргізілуде. Көбіне осы жұмыстарда, әсіресе қалалық құрылыс жағдайында асфальт-бетон жамылғысының бір бөлігін алып тастау қажет етеді. Материалдың беріктігіне, жабынның қалыңдығына, құрылыс ұйымдарының қажетті жұмыс көлеміне және ресурстарына байланысты асфальтбетонды жоюдың әртүрлі машиналары мен технологиялары қолданылады. Жұмыста қазіргі уақытта асфальтбетонды жабындылардағы технологиялық тігістерді кесу үшін қолданылатын машиналардың басым көпшілігі жоғары энергия сыйымдылығымен сипатталатын, арнайы жабдықтар мен кескіш құралдарды қолдануды қажет ететін фрезерлеу немесе абразивті кесудің жұмыс процесін жүзеге асыру жолдары қарастырылған. Осы және басқа да факторлар жұмыс құнына айтарлықтай әсер етеді.

**Негізгі сөздер:** асфальтбетон, фреза, кескіш элемент, жұмысшы орган, тігіс кескіштер, жол машиналары, дискілі пышақ.

Қалалық жағдайларда жерасты коммуникацияларын құрастыру жоспарлы және апатты жөндеу жұмыстарында траншеялар мен шұңқырларды қазу жұмыстарының көмегімен жүреді. Жұмыстың едәуір көлемі асфальтбетон жабындысын қазумен байланысты. Асфальтбетон жабындысын алып тастау қажет болған жағдайда технологиялық тігістің ала кесу қажет болады. Бұл операция фрезерлеу немесе абразивті кесу арқылы жүзеге асырылады. Бұл процесс көп энергияны, күшті және арнайы машиналарды қолдануды талап етеді.

Тігістерді кесу технологиясын дамытудың перспективтік бағыттарының бірі - бұл түбегейлі өзгеше, энергияны аз қажет ететін және тиімдірек жұмыс процесін жүзеге асыратын дискінің еркін айналатын пышақтарының жаңа жабдықтарын қолдану болып табылады. Асфальтбетон жабындысын жасауға арналған дөңгелек пышақтардың алдын-ала сынақтары жабдықтың жоғары өндіріштігін, өнімділігі мен сенімділігін көрсетті. Дөңгелек пышақты шөмішті экскаватормен бірге қолданған кезде жұмыс уақыты қысқарады, қосымша машиналарды пайдалану қажеттілігі жоғалады, эргономика және қауіпсіздік көрсеткіштері артады.

Құрылыс жағдайында жерасты коммуникацияларын салу, ауыстыру немесе жөндеу міндеттері сөзсіз айқын. Қазіргі уақытта бұл жұмыстардың басым көпшілігі ашық түрде жүргізілуде. Асфальтбетон жабындысының бір бөлігін алып тастау, көбінесе, қалалық жағдайларда болатын құрылыста қажет. Асфальтбетонды алу үшін әртүрлі машиналар мен технологиялар қолданылады. Ол материалдың беріктігіне, жабындының қалыңдығына, қажетті жұмыс көлеміне және құрылыс ұйымдарының ресурстарына байланысты. Осы тапсырмаларды орындау үшін қолданылатын әдістер жұмыс принципіне сәйкес жіктеледі. Олар іске асырылатын негізгі машина, өнімділік, қолдану саласы, технологиялық сұлбалар және басқа да ерекшеліктер.

Қолданылатын жабдыққа байланысты асфальтбетонды алудың әртүрлі технологиялық сұлбалары іске асырылады. Мысалы гидравликалық-балғалы, сыналы-балғалы және дизельді-балғаларды қолданумен механикалықсоққы беретін әдістер көпэнергияны тұтынумен сипатталады. Олар цементбетон негізімен немесе мұздатылған жол төсемін бұзған кезде орын алады. Бірақ жақын маңда ғимараттар, сондай-ақ бұрын салынған коммуникациялар болған жағдайда бұл машиналарды қолдану шектеледі немесе мүлдем тыйым салынады.

Жолдарды таяз тереңдікте жөндеу процесіндегі төсеніштердің үлкен беттерін фрезерлеу

кезінде асфальтбетонды алу үшін ыстық немесе суық фрезаларды қолданған жөн. Жабындының бір бөлігін толығымен алып тастау үшін бұл әдісұтымды емес, себебіжабынды қыздыруға, материалды ұсақтауға және соның салдарынан күндегі жұмыстың жоғары шығындануына байланысты энергияны көп қажет етеді.

Асфальтбетон жабындыларын бұзу және алып тастау үшін құрылыс экскаваторларын пайдалану қиын. Бұл машиналар қысу беріктігі  $\sigma_{сж}=0,4\div 1,2$  МПа [1,2] болатын 1-4 санаттағы топырақпен жұмыс жасауға арналған. Асфальтбетонның стандартты үлгілерінің сығылуға беріктігі, температураға, бөлшектердің үлестірілуіне және компоненттердің беріктігіне байланысты 6-дан 24 МПа-ға дейін жетеді [3,4]. Ал экскаватордың жұмыс органының тістерінде пайда болатын кернеулер көрсеткіштері материалға басылған кезде одан да жоғары болады.

Тігістерді алдын-ала кесіп алып асфальтбетонды алатын технологиялық сұлбаны қолданған кезде жоғары энергия тиімділігі мен өнімділік қамтамасыз етіледі [5,6]. Осы мақсатта жерасты коммуникацияларын құру ережелерінде траншеялы экскаватор мен екінші, үшінші немесе төртінші өлшемдік топтағы шөмішті экскаватордан тұратын машиналар жиынтығын пайдалану қарастырылған [7].



**1-сурет.** Дмитров экскаватор зауытының ЭТЦ-201 шынжырлы траншеялы экскаваторы

Осы мәселелерді шешу үшін қазіргі уақытта Қазақстанда траншеялы экскаваторлар кеңінен қолданылады (1-сурет). Мысалы Дмитровский экскаватор зауытынан ЭТЦ-201, ЭТЦ-1609 модельдері, «Дорэлектромаш» зауытынан ЭЦУ-150 моделі, «Михневский механикалық жөндеу зауыты» ААҚ-нан БГМ-1, БГМ-2/2У модельдері шығарылады. Бұл машиналарды асфальтбетонды өңдеуге пайдалану үшін оларды қатты болаттан жасалған құралдармен, тозуға төзімді арнайы шынжырлармен жабдықтаған дұрыс.

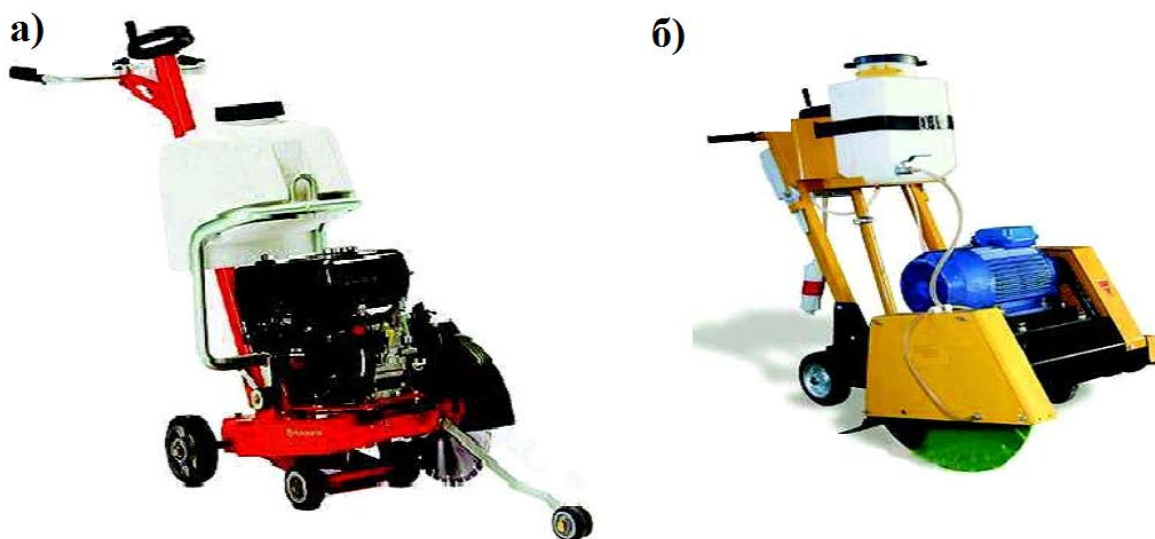
Тігістерді кесуге арналған, арнайы ауыстырылатын фрезерлік жұмыс органдармен жабдықталған траншеялы экскаваторлар шығарылады. Мұндай жабдықтарды Дмитров экскаватор зауыты (АНД-25) және «Дорэлектромаш» зауыты (ЭЦУ-150 асфальт кескіш) шығарады (2-сурет). Дмитров зауытының үлгісі тігістерді тереңдігі 250 мм-ге дейін және ені 455-800 мм-ге дейін кеседі. «Дорэлектромаш» зауытының жабдықтары тігістер арасындағы қашықтықты 400-ден 900 мм-ге дейін және 300 мм-ге дейін тереңдікке кесуге арналған. Дискілі фрезерлеу қондырғыларын қолдану арқылы өнімділік жоғарылайды. Алайда, бұл процесс жеткілікті жоғары энергия сыйымдылығын талап етеді. Бұл жабдықтың басты кемшілігі - бөлшектеу және монтаждау жұмыстарына көп уақыт жоғалту болып табылады. Нәтижесінде олар кең қолданылмайды. Сонымен қатар, асфальтбетонды шынжырлы жұмыс органының кескіштерімен немесе фрезалармен кесу үлкен энергия шығындарымен жүреді.

Бұл ұсақталған материал көлемінің ұлғаюына байланысты артады. «Дорэлектромаш» зауытының фрезерлік жабдықтары ені бойынша әрқайсысы 30 мм тігісті кеседі. Дмитров экскаватор зауытының фрезерлік жабдықтары ені кем дегенде 60 мм тігісті кеседі. Сонымен қатар, траншеялық экскаваторлардыңшынжыры, дискілік фрезалары жұмыс кезінде асфальтбетонның құрылымын құраушы компоненттерінің бұзылуындағы соққы жүктемелерін тез сезінеді және бұзылады. Бір кескіш үшін асфальтбетонды кесу кезіндегі динамикалық коэффициенті төрт-жеті бірлікке дейін жетеді. Осы кемшіліктерге қарамастан, қазіргі уақытта арзан баламаның болмауына байланысты шынжырлы және фрезерлік жабдықтар кеңінен қолданылады.



**2-сурет.** ЭТЦ-1609 шынжырлы экскаваторы үшін АНД-25 ауыстырмалы фрезерлі жұмыс органы

Материалды жоғары жылдамдықта абразивті кесу әдісімен іске асыратын белгілі және кеңінен қолданылатын қолды тігіс кескіштері 3-суретте көрсетілген. Жабдық асфальтбетон жабындыларын кесуге арналған және электр жетегімен немесе ішкі жану қозғалтқышымен жабдықталған. Үйкелісті азайту және құралды салқындату үшін кесу аймағына су жіберіледі. Диаметрі кесу тереңдігі мен қозғалтқыштың қуатына тікелей әсер ететін кескіш элемент ретінде алмас дискі қолданылады.



а – іштен жану қозғалтқышты жетекпен Husqvarna FS-350 моделі; б - электрлі қозғалтқышты жетекпен Сплитстоун CS -189 моделі

**3-сурет.** Қолды тігіс кескіштер



Алмаз дискісін кесу жылдамдығы 40-тан 70 м/с құрайды, бұл кесілген тігістің жоғары сапасын қамтамасыз етеді. Кесілген тігістің ені 10 миллиметрден аспайды, ал кесілген тігістің тереңдігі дискінің диаметріне байланысты және кесу тігістерінің әр түрлі модельдері үшін 120-300 миллиметрге, ал абразивтік дискілердің диаметрлері 350-ден 800 миллиметрге дейін сәйкес келеді. Тігістің тереңдігі артқан сайын жетек күші де артады. Тігіс кескіштерінің құрылымының қарапайымдылығын ескере отырып, олардың сериялық өндірісі Ресейде және шет елдерде көптеген өндірушілермен белгіленді. Қозғалтқыш қуаты 3,5-тен 14 кВт-қа дейінгі тігіс кескіштері кең таралған.

Технологиялық артықшылықтарға қарамастан, абразивті кесудің жұмыс процесі басты кемшілікті шешпейді - ол кесу процесінде энергияны көп тұтынуы. Материалды ұсақ ұнтақтау көп энергияны және тиісінше, жоғары жетектік қуатты қажет етеді. Тігіс кескіштердің басқа кемшіліктері қатарында төмен өнімділікті, теріс температура жағдайында жұмыс істеудегі шектеулерді, жабдықтың қауіпсіз жұмысымен байланысты жоғары талаптарды, алмас дискінің негізгі шығыс элементінің қымбаттығын, кесудің аз тереңдігін бөліп көрсетуге болады. Асфальтбетонды жабындыларда кесуге арналған жұмыс жабдықтары ретінде еркін жұмыс істейтін пышақтардың жетексіз диск тәжірибесін пайдалану қызықты. 4-суретте асфальтбетон жабындыларының жиектерін кесуге арналған роликке орнатылған қосымша жабдықтардың бірлескен құралы көрсетілген.

Материалды кесу процесі пластикалық деформациясы кезінде асфальтбетон жабындының жойылмауымен немесе минералды дәндердің ішінара бұзылуымен өтеді. Жабдықтың негізгі міндеті - жаңадан қатайтылған асфальтбетонның шеттерін кесу, бірақ ескі жабындыны алып тастауға болады.

Сонымен патентте қатар дискті пышақтарды роликтермен біріктіруге арналған жабдықты жобалау ұсынылды, бұл жабдыкекі параллель тігісті бір уақытта кесуге мүмкіндік береді. Көрсетілген жабдық құрылымының қарапайымдылығына қарамастан айтарлықтай тік күштерді қажет етеді. Бұл дискілі пышақтарды ауыр жол машиналарымен біріктіру қажеттілігін түсіндіреді. Сондықтан дискілі пышақтарды жол катоктарында қолдану орынды, бірақ технологиялық тұрғысынан ұсынылмайды.



**4-сурет.** Асфальтбетон жабындылардағы тігісті кесу үшін жол катогына орналастырылған қосымша жабдық

Дискілі пышақты экскаватордың ауыстырылатын немесе қосымша жұмысшы денесі ретінде пайдалануға мүмкіндік беретін шешімдер жұмыста ұсынылған [8]. Бұл жұмыстың авторы әріптестерімен бірлесе отырып, гидравликалық экскаватордың технологиялық жабдықтарын кесу үшін дискісіз бұрылатын пышақтарды пайдалануға мүмкіндік беретін жұмыс жабдықтарының әртүрлі конструкцияларын ұсынды [9]. Шешімдер технологиялық

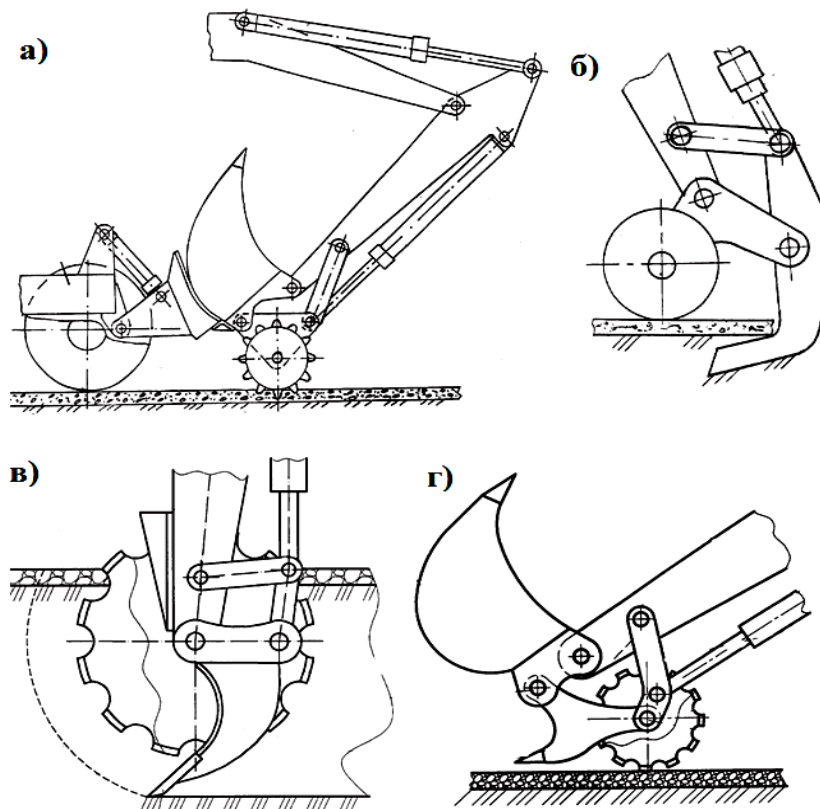
тігістерді кесу мүмкіндігін қамтамасыз етуге, гидравликалық экскаваторлардың унификациясын арттыруға және экскаваторды басқа жұмыс органымен қайта жабдықтау уақытын қысқартуға бағытталған негізгі технологиялық артықшылықтарды іске асыруға бағытталған (5-сурет).

Бір қызығы, экскаваторға арналған дискілі пышақтың ұтымды түрін іздеу осы уақытқа дейін тоқтамаған. Сонымен, 2014 жылы ҚХР-да асфальтбетондағы тігістерді кесуге арналған дөңгелек пышақтың конструкциясына өнертабысқа патент берілді, оның айрықша ерекшелігі - экскаватор үшін тез ажыратылатын құрылғының болуы [9].

Суретте көрсетілген шешімде артықшылық кескішті машинаның ауырлық центріне мүмкіндігінше жақын орнату арқылы жүзеге асырылады. Сонымен бірге үлкен тік күштер дамып, материалдың тиімді кесілуіне ықпал етеді. Экскаватордың бұралатын жетегінің тартқышына диск немесе екі диск жиынтығы орнатылған, сондықтан оны қолданған кезде негізгі жұмыс жабдықтарын бөлшектеу қажет емес, осылайша экскаватордың өнімділігі мен әмбебаптылығы артады.

Асфальтбетон қабатын алып тастауға арналған дискілі жұмыс жабдықтарықопсытқыш жабдықтарымен тиімді жұмыс атқарады (5, б-сурет). Мұндай шешім5,г-суретте көрсетілген, мұнда асфальтбетон жабындыларын алуға арналған жұмыс жабдықтарын шөмішті бөлшектемей-ақ орнатады.

Дискілі пышақтың жұмыс жабдықтары (5, в-сурет) жылжымалы еркін айналатын бүйір қабырғалары бар артқы қабырға қондырғысының осіне орнатылған шөміш болып табылады. Осы типтегі жұмысшы орган асфальтбетон бетіндегі параллельді тігістерді тиімді кесуге ғана емес, сонымен қатар жабысуды едәуір азайту арқылы топырақ қазуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.



а - экскаватор шөмішінің айналымы кулисасында дискілі пышақты қолдану,

б, в, г – қопсытқышпен бірге дискілі пышақты қолдану, асфальтбетон жабындыларында тігісті кесу мүмкіндігінде шөміштің шеткі қабырғалар есебінде дискілі пышақты қолдану

**5– сурет.** Тігістерді кесуде дискілі еркін айналатын пышақты қолдану жабдығының конструкциялары

Қазіргі кезде асфальтбетон жабындыларындағы тігістерді кесуге арналған басым көпшілік машиналарда фрезерлік немесе абразивтік кесу жұмыс процестерін ұйымдастырады. Ол өз кезегінде жоғары энергия, арнайы құрылғылар және кесуші құралдарды қолдануды талап етеді. Дискілі пышақ конструкциясы қарапайым, бағасы арзан және пайдалану шығындарының аз болуына байланысты перспективтік құрылғы болып табылады. Жеткіліксіз жұмыс тәжірибесі және жабдықтың негізгі параметрлерін таңдау бойынша ұсыныстардың болмауы дискілі пышақтарды кеңінен қолдануға кедергі келтіреді.

Зерттеу жұмысы асфальтбетонның күрделі және көпкомпонентті материал екендігін, оның деформация кезіндегі беріктігі температураға, құрамға және тығыздау дәрежесіне байланысты екендігін көрсетті және асфальтбетонды бұзу процесі топырақты бұзу процесімен ортақ заңдылықтарға ие екендігін, бұл кесу кедергісін бағалау үшін ұқсас әдістерді қолдануға мүмкіндік беретінін де көрсетті;

Қазіргі уақытта асфальтбетон жабындыларындағы тігістерді технологиялық кесу үшін қолданылатын машиналардың басым көпшілігі фрезерлеу немесе абразивті кесу жұмыс процесін жүзеге асырады, бұл энергияны көп тұтынумен сипатталады, арнайы жабдық пен кескіш құралдарды қолдануды талап етеді. Осы және басқа да факторлар жұмыс құнына айтарлықтай әсер етеді.

Асфальтбетон жабындыларын бұзуда соққылы және дірілді әсер ету әдістері мүлдем қолданылмайды немесе шектеулі жағдайларда қолданылады.

Біздің елімізде және шетелде асфальтбетон жабындыларындағы тігістерді кесуге арналған кесу элементі ретінде еркін айналмалы дискілері бар жұмыс органдарын құру тәжірибесі аз, сондықтан олар кең қолданысты тапқан жоқ. Жақсы жағдайда Сіз интуитивті конструкциясының бірыңғай нысандар болып табылатын жабдықтың үлгілерін таба аласыз. Осыған қарамастан, дискілі пышақпен әр түрлі жол-құрылыс материалдарының жұмысын дамытуға арналған қондырғылардың зерттелуі мен тәжірибесіне шолу жоғары тиімділікті көрсетті. Қарапайым және сонымен бірге тиімді жабдықты кеңінен қолдануға жол бермейтін негізгі себептер: дискілі пышақтарды пайдалану тәжірибесінің жеткіліксіздігі, құрылыс техникасы нарығында ұсыныстардың болмауы, сонымен бірге асфальтбетон жабындыларын дамытуға арналған дискілі пышақтардың параметрлерін есептеу бойынша ұсыныстар мен әдістердің жоқтығы.

#### **ӘДЕБИЕТТЕР**

- [1] Зеленин А.Н. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов. - М.: «Машиностроение», 1995, - 422 с.
- [2] Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкции, теория и расчет. - М.: «Машиностроение», 1992, - 432 с.
- [3] Бляхер А.А. Машины для снятия старого асфальтобетонного покрытия. – Механизация строительства, - 1987, - №10, - С. 24-267.
- [4] Гезенцвей Л.Б. и др. Дорожный асфальтобетон. - М., Транспорт, 1985, 350 с.
- [5] Ментюков В.П. Земляные работы на строительстве магистральных трубопроводов. - М.: Издательство «Недра», 1981, - 240 с.
- [6] The Asphalt Handbook: MS-4 /Asphalt Institute.-1989.
- [7] Superpave.Final Report of the TRB Superpave Committee. TRB, 2005, pp. 1-56.
- [8] Asphalt cold mix manual// Manual series №14//Asphalt institute.-Lexington, KY, 1997.
- [9] Лейкин М.Г., Гумеников Н.Е. Дисковые фрезы с твердосплавными пластинами для нарезания швов в бетонных покрытиях дорог. -М.: Строительные и дорожные машины, - 1984, - №8, - С. -4-17.

#### **REFERENCES**

- [1] Zelenin A.N. Mashiny dlya zemlyanykh работ. Uchebnoe posobie dlya vuzov. - М.: «Mashinostroenie», 1995, - 422 s.
- [2] Dombrovskii N.G. Mnogokovshovye ekskavatory. Konstruktsii, teoriya i raschet. - М.: «Mashinostroenie», 1992, - 432 s.

- [3] Blyakher A.A. Mashiny dlya snyatiya starogo asfal'tobetonnoogo pokrytiya. – Mekhanizatsiya stroitel'stva, - 1987, - №10, - S. 24-267.
- [4] Gezentsvei L.B. i dr. Dorozhnyi asfal'tobeton. - M., Transport, 1985, 350 s.
- [5] Mentyukov V.P. Zemlyanye raboty na stroitel'stve magistral'nykh truboprovodov. - M.: Izdatel'stvo «Nedra», 1981, - 240 s.
- [6] The Asphalt Handbook: MS-4 /Asphalt Institute.-1989.
- [7] Superpave.Final Report of the TRB Superpave Committee. TRB, 2005, pp. 1-56.
- [8] Asphalt cold mix manual// Manual series №14//Asphalt institute.-Lexington, KY, 1997.
- [9] Leikin M.G., Gumenikov N.E. Diskovye frezy s tverdosplavnymi plastinami dlya nare-zaniya shvov v betonnykh pokrytiyakh dorog. -M.: Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, - 1984, - №8, - S. -4-17.

**<sup>1</sup>Е.М. Балтаев\*, <sup>1</sup>Р.А. Козбагаров, <sup>1</sup>Н.С. Камзанов, <sup>1</sup>С.К. Кожатаев, <sup>2</sup>А.В. Кочетков**

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>МОО "Профессиональный инженер", Москва, Россия

\*e-mail: baltaev9707@mail.ru

### СРЕДСТВА РАЗРУШЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

**Аннотация.** В условиях строительства неизбежны задачи прокладки, замены или ремонта подземных инженерных коммуникаций. В настоящее время подавляющее большинство этих работ ведется открытым способом. Часто, особенно в условиях городского строительства, требуется удаление части асфальтобетонного покрытия. В зависимости от прочности материала, толщины покрытия, требуемого объема работ и ресурсов строительных организаций, используются различные машины и технологии удаления асфальтобетона. Подавляющее большинство машин, используемых в настоящее время для нарезки технологических швов в асфальтобетонных покрытиях, реализуют рабочий процесс фрезерования или абразивного резания, который характеризуется высокой энергоемкостью, требует использования специального оборудования и режущего инструмента. Эти и другие факторы оказывают существенное влияние на стоимость работ.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, фреза, режущий элемент, рабочий орган, резчики швов, дорожные машины, дисковый нож.

**<sup>1</sup>E.M. Baltaev \*, <sup>1</sup>R.A. Kozbagarov, <sup>1</sup>N.S. Kamzanov, <sup>1</sup>S.K. Kozhataev, <sup>2</sup>A.V. Kochetkov**

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>IOO Professional Engineer, Moscow, Russia

\*e-mail: baltaev9707@mail.ru

### MEANS OF DESTRUCTION OF ASPHALT CONCRETE COVERINGS

**Abstract.** In the conditions of construction, the tasks of laying, replacing or repairing underground utilities are unavoidable. Currently, the vast majority of these works are carried out in an open manner. Often, especially in urban construction, it is necessary to remove part of the asphalt pavement. Depending on the strength of the material, the thickness of the coating, the required amount of work and the resources of construction organizations, various machines and technologies for removing asphalt concrete are used. The vast majority of machines currently used for cutting process joints in asphalt concrete surfaces implement the working process of milling or abrasive cutting, which is characterized by high energy consumption, requires the use of special equipment and cutting tools. These and other factors have a significant impact on the cost of work.

**Keywords:** asphalt concrete, milling cutter, cutting element, working body, seam cutters, road machines, disc knife.

**<sup>1</sup>Б.Б. Оразбаев\*, <sup>1</sup>А.К. Жумадиллаева, <sup>1</sup>М.Д. Кабибуллин,  
<sup>2</sup>Ж.Н. Тулеуов, <sup>3</sup>В.Е. Махатова**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский университет экономики, финансов и международной торговли, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова, Атырау, Казахстан

\*e-mail: batyr\_o@mail.ru

## **РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РИФОРМИНГА В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ**

**Аннотация.** Сформулирована и получена математическая постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде и на основе модификации принципов абсолютной (относительной) уступки и Парето оптимальности разработан эвристический метод поставленной задачи. Предложенный нечеткий подход к решению задачи управления в нечеткой среде основан на привлечение лица, принимающего решения, т.е. его знания и опыта в процессе принятия решений по управлению процессом в нечеткой среде. При этом опыт, знание, интуиция и предпочтение лица, принимающего решения, как правило, выражается в виде нечеткой информации. Математическая постановка задачи управления процессом риформинга конкретизирована для случая одного критерия (выход бензина) и вектора нечетких ограничений, когда можно не учитывать выход других второстепенных продуктов (углеводородных газов). Конкретизированная задача управления процессом риформинга решена с применением предложенного эвристического метода. Полученные результаты сравнены с известными результатами, полученными на основе детерминированного подхода и реальными данными. Показана преимущества и обоснована эффективность предложенного нечеткого подхода к решению задачи управления в нечеткой среде, который при решении задачи учитывает и максимально использует исходную нечеткую информацию. Новизна предлагаемого подхода к постановке и решению задачи управления в нечеткой среде заключается в повышении адекватности принимаемого решения на основе использования опыта, знания и интуиции лица, принимающего решения.

**Ключевые слова:** задача управления, процесс риформинга, нечеткая среда, нечеткое ограничение, катализат-бензин, эвристический метод, лицо, принимающее решение.

**Введение.** На практике химико-технологические системы (ХТС), например, технологические комплексы нефтепереработки, относятся к сложным системам, которые характеризуются множеством одновременно воздействующих на процесс параметрами и нечеткостью некоторой части исходной информации. В этой связи решения задачи управления такими ХТС в нечеткой среде и повышения эффективности их работы на основе автоматизированных систем управления с настоящее время являются весьма актуальными научно-технологическими задачами [1–3]. Для диверсификации и дальнейшего развития экономики Казахстана необходимо увеличивать долю перерабатывающих производств, в первую очередь, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Как известно, одному из важнейших процессов нефтепереработки и нефтехимии относится процесс каталитический риформинг. Процесс каталитического риформинга предназначен для производства высококачественных моторных топлив – высокооктанового автомобильного бензина, бытового газа и сырья для нефтехимического синтеза [4]. Известны ряд работ посвященные вопросам разработки и совершенствованию подходов к моделированию и управлению процессом каталитического риформинга [3, 5–8]. В известных системах управления процессом каталитического риформинга реализованы: оптимальное распределение температур на входе реакторов риформинга [9]; оптимизация технологических режимов работы блока риформинга [10], управление качеством катализата в блоке стабилизации установки каталитического риформинга [3]; ситуационное управление

процессом риформинга [11]. В этих и других работах недостаточно исследованы и решены вопросы моделирования и оптимизации процесса риформинга в нечеткой среде. Следует отметить, что в работе [12] получена постановка задачи управления процессом каталитического риформинга и разработана система управления процессом каталитического риформинга с учетом нечеткости. При этом в данной работе используется известный принцип Беллмана-Заде для учета нечеткости цели и ограничений. Но возникающие на практике различные производственные ситуации требуют разработки других подходов и принципов более эффективно решающие и проблемы нечеткости. В этой связи в качестве цели данной работы определена постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде в зависимости от сложившейся производственной ситуаций и имеющаяся информации и разработка методов их решения с привлечением человека - операторов-технологов. При этом операторы-технологи являются лицом, принимающим решения (ЛПР) по управлению процессом на основе своего опыта, знаний, интуиций и предпочтения в зависимости от производственной ситуации.

Объектом исследования является установка каталитического риформинга типа ЛГ-35-11/300-95 Атырауского нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), предназначенная для производства высококачественных бензинов с октановым числом до 95 пунктов по исследовательскому методу. Кроме того, на данной установке вырабатываются ароматические углеводороды, используемые как сырье для нефтехимического синтеза и водородсодержащие газы (ВСГ) [13].

**Постановка задачи и методы исследования.** Основными критериями при управлении процессом риформинга являются максимизация объема производимого бензин –  $y_1$  и водородсодержащего газа (ВСГ) –  $y_2$  улучшения качественных показателей бензина с учетом наложенных ограничений. На практике эти критерии (количество и качество бензина) в области эффективных решений являются противоречивыми. Так как качественные показатели бензина: октановое число ( $\tilde{y}_2$ ); фракционный состав бензина, т.е. 10% отгонка ( $\tilde{y}_3$ ) и 50% отгонка ( $\tilde{y}_4$ ) прямо не измеряются, а определяются с участием человека (ЛПР), выражаются нечетко, например, с помощью термина «не менее» ( $\tilde{\geq}$ ). В этой связи задачу управления процессом риформинга необходимо сформулировать с учетом нечеткости и необходимо разработать эвристический метод ее решения, основанный на учет опыт и знания ЛПР, его предпочтения при выборе решений.

В общем виде формализуем и приведем постановку задачи управления технологическим процессом риформинга на основе моделей блока риформинга в условиях многокритериальности и нечеткости.

Пусть  $F(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}))$  вектор критериев, оценивающий качество работы, выход бензина и ВСГ;  $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,3}$  – нечеткие ограничения наложенные на качественные показатели бензина: на октановое число «более  $\tilde{\geq} 92$ »; фракционный состав по ГОСТу 2177-82 – 10% отгонка «более  $\tilde{\geq} 92$ »; «не выше  $\tilde{\leq} 75$ »; и 50% «не выше  $\tilde{\leq} 115$ »; отгонка [14]. Знак  $\tilde{\cdot}$  означает нечеткость ограничений.

Каждый из локальных критериев зависит от вектора управления  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  ( $x_1$  – расход сырья;  $x_2, x_3$  и  $x_4$  – соответственно, объемная скорость, температура и давление в реакторе риформинга Р-4,4а;  $x_5$  – соотношение  $H_2$ /сырье). Следует отметить, что некоторые из критериев и ограничений могут быть нечеткими. Режимные, управляющие параметры также имеют свои граничные значения, задаваемые технологическим регламентом установки:

$x_j \in \Omega \supset X$ ,  $X = [x_j^{\min}, x_j^{\max}]$ ,  $j = \overline{1,5}$ , где  $x_j^{\min}, x_j^{\max}$  – нижний и верхний пределы изменения параметра  $x_j$ ,  $j = \overline{1,5}$ . Эти ограничения, интервалы изменения могут быть нечеткими ( $\tilde{>}, \tilde{<}, \tilde{=}$ ).

Требуется определить и выбрать такой режим работы блока риформинга, который обеспечивает оптимальное значение вектора критериев при выполнении заданных ограничений и нечеткости некоторых исходных данных, а также учитывающее предпочтения ЛПР.

Формализованную задачу управления в условиях многокритериальности и нечеткости можно записать в виде следующей задачи принятия решений:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} f_i(\mathbf{x}), i = 1, 2, \quad (1)$$

$$X = \{ \mathbf{x} \in \Omega, \varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,5} \} \quad (2)$$

Решением данной задачи является значение вектора управления  $\mathbf{X}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^5, x_5^*)$ , обеспечивающее такие значения локальных критериев, которые удовлетворяют ЛПР и выполняются условия нечетких ограничений.

Используя идею принципов *абсолютной (относительной) уступки* (А(О)У) и *Парето оптимальности* (ПО) в условиях нечеткости, можно конкретизировать математическую постановку задачи (1) – (2):

$$\max_{\mathbf{x} \in X} \mu_0(\mathbf{x}), \mu_0(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^2 \gamma_i \mu_0^i(\mathbf{x}), \text{ или } \mu_0(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^2 (\mu_0^i(\mathbf{x}))^{\gamma_i} \quad (3)$$

$$X = \{ \mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{q=1}^3 \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^3 \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1,3} \} \quad (4)$$

где  $\wedge$  – означает логический «и», требующий, чтобы все связываемые им утверждения были истинны,  $\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \gamma_2)$  и  $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$  – соответственно, весовые векторы, отражающие взаимную важность критериев и ограничений.  $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$  – функции принадлежности (ФП), описывающие степени выполнения нечетких ограничений. Таким образом для постановки и решения задачи принятия решений по управлению процессом риформинга в нечеткой среде используются методы теорий принятия решений [15], нечетких множеств и экспертных оценок [2, 4, 12, 15 – 17].

**Результаты исследования: задача управления технологическим процессом риформинга и эвристический метода ее решения с учетом нечеткости ограничений.** Для конкретизации и получения математической постановки задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде примем следующие допущения и обозначения.

Пусть  $f_1(\mathbf{x}) = \mu_0^1(\mathbf{x})$  – нормализованный главный критерий, т.е. объем производимого бензина (катализата). Так как на выход ВСГ особое требование не предъявляется, с целью упрощения задачи, его не рассматриваем. Допустим, что для каждого нечеткого ограничения, описывающего качественные показатели бензина  $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,3}$  построена ФП его выполнения  $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$ . Известен либо ряд приоритетов для ограничений  $I_R = \{1,2,3\}$ , либо весовой вектор, отражающий взаимную важность этих ограничений  $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ . Как уже

отмечалось, критерий и ограничения зависят от параметров  $x_j, j = \overline{1,5}$ . Эти зависимости описывают математические модели реактора риформинга [4].

Модифицируя принципов А(О)У и ПО в условиях одного критерия и нечеткости, можно записать следующую постановку задачи управления процессом риформинга в виде задачи принятия решений ПР с нечеткими ограничениями:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} \mu_0^1(\mathbf{x}) \quad (5)$$

$$X = \{ \mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \arg \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{q=1}^3 \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^3 \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1,3} \} \quad (6)$$

Для решения поставленной задачи (5)–(6) разработан эвристический метод А(О)У+ПО, основанный на привлечение ЛПР, т.е. его знания и опыт при выборе решения. Приведем результаты решения задачи (5)–(6) с применением предложенного метода А(О)У+ПО.

#### Метод А(О)У+ПО

1. Так как в нашем случае рассматривается один критерий, его вес равен 1 и необходимость определения весовых коэффициентов локальных критериев отпадает.

2. В поставленной задаче критерий  $\mu_0^1(\mathbf{x})$  четко, поэтому для него не определяется  $T(X,U)$  – терм-множество и функции принадлежности не строятся.

3. Определяется терм-множество, описывающие нечеткие ограничений. В результате экспертной оценки, ЛПР, экспертами для описания ограничения выбраны: терм «более» (для октанового числа) и «не выше» (для фракционного состава) и их производные, которые получаются с помощью различных модификаторов.

4. Строятся функции принадлежности выполнения ограничений  $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$ . На основе результатов исследований построены следующие функции принадлежности выполнения ограничений:

$$\begin{aligned} \mu_1(\mathbf{x}) &= \exp(82.0 | y_2 - 95 |^{0.78}); & \mu_2(\mathbf{x}) &= \exp(72.0 | y_3 - 70 |^{0.85}); \\ \mu_3(\mathbf{x}) &= \exp(110.0 | y_4 - 115 |^{0.50}) \end{aligned}$$

где  $y_2, y_3, y_4$  – числовые значения нечетких показателей качества катализата, полученные при использовании множества уровня  $\alpha=1$ ; 82.0, 72.0, 110.0 – параметры, которые определяются при идентифицируются и определяют уровень нечеткости при  $\alpha=0.5$ ; 95, 70, 115 – параметры, определяющие нечеткую переменную, которая наиболее соответствует выбранному терму, для которой функция принадлежности принимает максимальное значение; 0.78, 0.85, 0.50 – коэффициенты для изменения области определения термов и формы графика функции принадлежности нечетких параметров.

5. ЛПР вводится значение весового вектора ограничений  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ , учитывающее важность локальных ограничений. В нашей задаче ЛПР ввели следующие значения  $\beta = 0.6, \beta = 0.2, \beta = 0.2$ , т.е.  $\beta = (0.6, 0.2, 0.2)$ .

6. Решается задача максимизации критерия, т.е. выхода катализата  $\max \mu_0(x)$  с учетом наложенных нечетких ограничений. Определяются текущие решения:  $\mathbf{x}(\beta); \mu_0^1(\mathbf{x}(\beta))$  и  $\mu_1(\mathbf{x}(\beta)), \mu_2(\mathbf{x}(\beta)), \mu_3(\mathbf{x}(\beta))$ .

7. Решение предъвляется ЛПР. Если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им корректируются значения вектора  $\beta$  и осуществляется возврат к пункту 2. Иначе, перейти к пункту 8.



8. Поиск решения прекращается, выводятся результаты окончательного выбора ЛПР: значения вектора управления  $\mathbf{x}^*(\beta)$ ; значение критерия  $\mu_0^1(\mathbf{x}^*(\beta))$  и степень выполнения ограничений  $\mu_1(\mathbf{x}^*(\beta))$ ,  $\mu_2(\mathbf{x}^*(\beta))$ ,  $\mu_3(\mathbf{x}^*(\beta))$ . Эти результаты приведены в виде таблицы (см. таблицу 1).

Таблица 1. Сравнение результатов оптимизации по предложенному алгоритму, по детерминированному методу [3] и реальных данных

Значения критерия и ограничений	Детерминированный метод (лит. данные)	Предложенный метод (A(O)У+ПО)	Реальные данные (Атырауский НПЗ)
Выход бензина – критерий $y_1 = f_1(\mathbf{x})$ , м <sup>3</sup> /час	77.0	79.0	78.5
Октановое число продукции, ( $\tilde{y}_2 = \varphi_1(\mathbf{x})$ )	86	87	(86) <sup>л</sup>
Фракционный состав катализата; 10% отгонка, °С ( $\tilde{y}_3 = \varphi_2(\mathbf{x})$ ); 50% отгонка, °С ( $\tilde{y}_4 = \varphi_3(\mathbf{x})$ ).	70 115	70 114	(70) <sup>л</sup> (114) <sup>л</sup>
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_2 = \mu_1(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	1.0	-
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_3 = \mu_2(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	1.0	-
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_4 = \mu_3(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	0.98	-
Оптимальные значения входных и режимных параметров $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$ : $x_1^*$ - загрузка сырья; м <sup>3</sup> /час	80	80	80
$x_2^*$ - объемная скорость в реакторах; час <sup>-1</sup>	1.7	1.3	1.5
$x_3^*$ - температура в ректорах Р-4,4а; °С	500	493	495
$x_4^*$ - давление в реакторах Р-4,4а; кг/см <sup>2</sup>	26	25	25
$x_5^*$ - отношение водород/углеводороды.	415	400	400

Примечание: ( )<sup>л</sup> означает, что соответствующие качественные показатели определяются лабораторным путем и требуют достаточного времени; (-) означает, что соответствующие показатели не определяются данным методом. Время поиска решения в сравниваемых методах почти одинаково: около одной минуты с учетом времени ввода или корректировки требуемых данных.

**Обсуждение результатов.** Сформулированная математическая постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде (5)–(6) конкретизирована на случай одного критерия (выход бензина) и 3-х нечетких ограничений. Нечеткие ограничения  $\varphi_q(\mathbf{x}) \gtrsim b_q, q = \overline{1,3}$  позволяет учитывать качества бензина (октановое число и фракционный состав) в процессе максимизации объема производимого бензина. В случае нечеткости критериев или весовых коэффициентов для них необходимо определить терм-множество и строить функции принадлежности, которые позволяют учитывать их нечеткости. В предложенной постановке задачи управления (5)–(6) в виде задачи принятия решений, критерий представлен в нормализованном виде. Это позволяет обеспечить удобства применения методов нечетких множеств, так как критерий, как и функции принадлежности принимает значение в интервале [0, 1]. Значение критерия определяется на основе математических моделей реактора риформинга, построенные в [4] с учетом нечеткости исходной информации.

В результате анализа и обсуждения результатов, приведенных в таблице 1 можно отметить:

- предложенный эвристический метод более эффективен по сравнению детерминированным методом;
- при решении задачи управления на основе предложенного метода, повышается адекватность решения производственной задачи, так как, учитывается дополнительная качественная информация (опыт, знания ЛПР, экспертов) более полно описывающая реальную ситуацию без идеализации.
- предложенный и использованный эвристический метод позволяет определить и учитывать степени выполнения нечетких ограничений.

Предложенный эвристический метод на основе модификации принципов *абсолютной (относительной) уступки* и *Парето оптимальности* более эффективно применяется в случае возможности определения уступки и принципа Парето оптимальности (количество объектов в интервале  $7 \pm 2$ ). В других ситуациях рекомендуется задачу ставить и решать на основе других принципов оптимальности, более подходящие для сложившейся на производстве ситуации.

**Заключение.** Задача управления технологическим процессом реформинга в условиях нечеткости некоторой части исходной информации сформулирована в виде задачи принятия решений в нечеткой среде. Для решения сформулированной задачи управления в условиях многокритериальности и нечеткости разработан на основе модификации принципов абсолютной (относительной) и Парето оптимальности эвристический метод. Разработанный эвристический метод основан на привлечение ЛПР, т.е. его знания, опыт и интуиции в процессе принятия окончательного решения по управлению процессом реформинга.

Новизна предлагаемого нечеткого подхода к решению задачи управления в нечеткой среде заключается в постановке и решении задачи в нечеткой среде, не заменяя исходную задачу с четкими эквивалентами. В результате полного использования исходной нечеткой информации адекватность решения задачи в нечеткой среде значительно повышается.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855680 - Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического реформинга).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Матвейкин В.Г., Дмитриевский Б.С., Дмитриева О.В., Разиева В.Р., Сивова М.В. Управление инновационным развитием наукоемкой производственной системы // Вопросы современной науки и практики. 2016. № 3 (61). –С. 146–152.
- [2] Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. –М.: Энергоатомиздат, 1991. 307 с.
- [3] Gutten M.I. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 // Petroleum Processing and Petrochemistry. 2001. № 11. –Р. 54–57.
- [4] Оразбаев Б.Б., Ураков А.М., Мырзашева А.Н., Шаждекеева Н.К. Разработка системы математических моделей реакторов реформинга установки ЛГ-35-11/309-95 Атырауского НПЗ в условиях неопределенности // Вестник КазНУ. ISSN 1680-9211. №2(126), 2018. –С. 178-184.
- [5] Панченков Г.М. Каталитические и радиационно-химические процессы нефтепереработки и нефтехимии. – М.: Химия, 1982. –152 с.
- [6] Рубекин Н.Ф. Системы автоматического оптимального управления каталитическими процессами платформинга и гидроочистки. –М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1992. –66 с.
- [7] Жоров Ю.М. Расчеты и исследования каталитических процессов нефтепереработки. –М.: Химия, -2-изд. 2017. –327 с.

- [8] *Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Костенко А.В., Юрьев Е.М., Бесков В.С.* Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья // Катализ в промышленности. 2008. № 6. –С.41-46.
- [9] *Coleman B., Babu J.* Techniques of Model Based Control. –Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002. –576 p.
- [10] *Bequette W.* Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2003. –564 p.
- [11] *Mircea C., Agachi S., Marimoiu V.* Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking // Chemical Engineering and Processing. 2003. V. 42. –P. 67–75.
- [12] *Matveykin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M.* Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. 6. 59–67.
- [13] Технологический регламент установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95. –Атырау: 2018. –135 с.
- [14] *Adzamic Z., Besic S.* The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery // Fuels and lubricants. -Vol. 42, № 1, 2013, -P. 83-87.
- [15] *Юдин Д.Б.* Вычислительные методы теории принятия решений. –М.: Наука, 2015. –320 с.
- [16] *Рыжов А.П.* Теория нечетких множеств и ее приложений. –М.: МГУ. 2017. –115 с.
- [17] *Гуцыкова С.* Метод экспертных оценок. Теория и практика. –М.: Когито-Центр. 2017. –509 с.

#### REFERENCES

- [1] *Matveikin V.G., Dmitrievskii B.S., Dmitrieva O.V., Raziya V.R., Sivova M.V.* Upravlenie innovatsionnym razvitiem naukoemkoi proizvodstvennoi sistemy // Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. 2016. № 3 (61). –S. 146–152.
- [2] *Aliiev R.A., Tserkovnyi A.E., Mamedova G.A.* Upravlenie proizvodstvom pri nechetkoi iskhodnoi informatsii. –М.: Energoatomizdat, 1991. 307 s.
- [3] *Gumen M.I.* Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 // Petroleum Processing and Petrochemistry. 2001. № 11. –P. 54–57.
- [4] *Orazbaev B.B., Urakov A.M., Myrzashева A.N., Shazhdekeeva N.K.* Razrabotka sistemy matematicheskikh modelei reaktorov riforminga ustanovki LG-35-11/309-95 Atyrauskogo NPZ v usloviyakh neopredelennosti // Vestnik KazNITU. ISSN 1680-9211. №2(126), 2018. –S. 178-184.
- [5] *Panchenkov G.M.* Kataliticheskie i radiatsionno-khimicheskie protsessy neftepererabotki i neftekhimii. – М.: Khimiya, 1982. –152 s.
- [6] *Rubekin N.F.* Sistemy avtomaticheskogo optimal'nogo upravleniya kataliticheskimi protsessami platforminga i gidroochistki. –М.: TsNIITENEFTEKhim, 1992. –66 s.
- [7] *Zhorov Yu.M.* Raschety i issledovaniya kataliticheskikh protsessov neftepererabotki. –М.: Khimiya, -2-izd. 2017. –327 s.
- [8] *Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N., Kostenko A.V., Yur'ev E.M., Beskov V.S.* Matematicheskoe modelirovanie kataliticheskikh protsessov pererabotki uglevodorodnogo syr'ya // Kataliz v promyshlennosti. 2008. № 6. –S.41-46.
- [9] *Coleman B., Babu J.* Techniques of Model Based Control. –Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002. –576 p.
- [10] *Bequette W.* Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2003. –564 p.
- [11] *Mircea C., Agachi S., Marimoiu V.* Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking // Chemical Engineering and Processing. 2003. V. 42. –P. 67–75.
- [12] *Matveykin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M.* Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. 6. 59–67.
- [13] Tekhnologicheskii reglament ustanovki kataliticheskogo riforminga LG-35-11/300-95. –Атырау: 2018. –135 с.
- [14] *Adzamic Z., Besic S.* The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery // Fuels and lubricants. -Vol. 42, № 1, 2013, -P. 83-87.
- [15] *Yudin D.B.* Vychislitel'nye metody teorii prinyatiya reshenii. –М.: Nauka, 2015. –320 с.
- [16] *Ryzhov A.P.* Teoriya nechetkikh mnozhestv i ee prilozhenii. –М.: МГУ. 2017. –115 с.
- [17] *Gutsykova S.* Metod ekspertnykh otsenok. Teoriya i praktika. –М.: Kogito-Tsentr. 2017. –509 с.

<sup>1</sup>Б.Б. Оразбаев\*, <sup>1</sup>А.К. Жумадилаева, <sup>1</sup>М.Д. Кабибуллин,

<sup>2</sup>Ж.Н. Тулеуов, <sup>3</sup>В.Е. Махатова

<sup>1</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup>Х.Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Атырау, Қазақстан

\*e-mail: batyr\_o@mail.ru

## АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА РИФОРМИНГ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ БОЙЫНША ЕСЕБІН ШЕШУДІҢ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІН ЖАСАҚТАУ

**Андатпа.** Айқын емес ортада риформинг процесін басқару есебінің математикалық қойлымы алынған және абсолюттік (салыстырмалы) кеміту және Парето оптималдығы принциптерін модификациялау негізінде қойылған есепті шешудің эвристикалық тәсілі құрылған. Айқын емес ортада басқару есебін шешуге ұсынылған айқынсыз тәсілдеме шешім қабылдаушы тұлғаны қатыстыруға, айқын емес ортада процесі басқару бойынша шешім қабылдау процесінде оның білімі мен тәжірибесі қолдануға негізделген. Бұл кезде шешім қабылдаушы тұлғаның тәжірибесі, білімі, түйсігі және қалауы, әдетте, айқын емес ақпарат түрінде жинақталып, қолданады. Басқа қосымша өнімдердің (көмірсутек газдарының) шығуын ескермеуге болатын кезде бір критерий (бензин шығымы) және айқын емес шектеулер векторы үшін риформинг процесін басқаруға арналған есептің математикалық тұжырымы нақтыланған. Риформинг процесін басқарудың нақтыланған есебі ұсынылған эвристикалық тәсілді қолдану арқылы шешілген. Алынған нәтижелер белгілі детерминдік тәсіл мен шынайы мәліметтер негізінде алынған нәтижелермен салыстырылған. Айқын емес ортада басқару есебін шешуге ұсынылған, есепте шешу кезінде бастапқы айқын емес ақпаратты ескеретін және максималды пайдаланатын, ұсынылған айқынсыз тәсілдеме артықшылықтары көрсетілген және оның тиімділігі негізделген. Айқын емес ортада басқару есебін қою мен шешуге ұсынылған айқынсыз тәсілдеменің жаңашылдығы – шешім қабылдаушының тәжірибесін, білімі мен интуициясын қолдану негізінде айқынсыздықта қабылданған шешімнің адекваттығын арттыру болып табылады.

**Негізгі сөздер:** басқару есебі, риформинг процесі, айқын емес орта, айқын емес шектеу, катализат-бензин, эвристикалық тәсіл, шешім қабылдаушы тұлға.

<sup>1</sup>B. Orazbayev\*, <sup>1</sup>A. Zhumadillayeva, <sup>1</sup>M. Kabibullin, <sup>1</sup>Zh. Tuleuov, <sup>1</sup>V. Makhatova

<sup>1</sup>L.N.Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

\*e-mail: batyr\_o@mail.ru

## DEVELOPMENT OF A HEURISTIC METHOD FOR SOLVING THE PROBLEM OF CONTROL OF REFORMING TECHNOLOGY PROCESS IN A FUZZY ENVIRONMENT

**Abstract.** A mathematical formulation of the problem of controlling the reforming process in a fuzzy environment has been formulated and obtained, and a heuristic method for the task has been developed based on the modification of the principles of absolute (relative) assignment and Pareto optimality. The proposed fuzzy approach to solving the control problem in a fuzzy environment is based on the involvement of a decision maker, i.e. his knowledge and experience in the decision-making process for process control in a fuzzy environment. In this case, the experience, knowledge, intuition and preference of the decision-maker, as a rule, is expressed in the form of fuzzy information. The mathematical formulation of the reforming process control problem is concretized for the case of one criterion (gasoline yield) and a vector of fuzzy constraints, when the yield of other minor products (hydrocarbon gases) can be ignored. The specific task of controlling the reforming process is solved using the proposed heuristic method. The results obtained are compared with the known results obtained on the basis of a deterministic approach and real data. The advantages are shown and the effectiveness of the proposed fuzzy approach to solving the control problem in a fuzzy environment is substantiated, which, when solving the problem, takes into account and makes the most of the initial fuzzy information. The novelty of the proposed approach to the formulation and solution of the control problem in a fuzzy environment lies in increasing the adequacy of the decision made based on the use of the experience, knowledge and intuition of the decision maker.

**Keywords:** control task, reforming process, fuzzy environment, fuzzy limitation, catalysis-gasoline, heuristic method, decision maker.

**О.Е. Жамбаева\*, Ж. Сайлауқызы**

Карагандинский Технический Университет, Караганда, Казахстан

\*e-mail: fokus\_1313@mail.ru

## **ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** Для повышения надежности цифровых передач в каждой цифровой системе связи используются коды исправления ошибок. Для удовлетворения новых ограничений скорости передачи данных или надежности в настоящее время разрабатываются новые схемы кодирования. Поэтому цифровые системы связи находятся в постоянном развитии. В системе цифровой связи использование кода исправления ошибок является обязательным. Код с исправлением ошибок позволяет получить хорошую устойчивость к ухудшению качества канала связи.

В статье представлен анализ работы цифровой системы связи, описана ее цель, структура, и блоки, на которых строится передача информации. Для описывания методики исправления ошибок в канале связи рассматривается использование канальных кодеров. Кодеры вводят некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована канальным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи.

В работе приведено описание алгоритма работы сверточного кода коррекции ошибок в цифровом канале связи. Рассматривается алгоритм работы кодера со скоростью 1/2.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование, цифровой канал связи, сверточное кодирование, каналы связи.

**Введение.** Канал связи является физической средой, которая используется для передачи сигналов. Сигналы несут кодированную информацию от передатчика к приемнику. На целостность информационного сигнала влияет тип канальной среды. В зависимости от типа, диапазон помех и искажений может включать в себя: тепловой шум, техногенный шум и атмосферный шум.

Модулированный сигнал попадает в приемник, и вполне вероятно, что он будет включать в себя некоторый шум, вносимый каналом. Сигнал с шумом демодулируется канальным демодулятором для получения последовательности кодированных данных в цифровом формате [5]. Канальный декодер обрабатывает полученную кодированную последовательность, и приступает к декодированию битов сообщения с помощью избыточных данных, которые были вставлены канальным кодером в передатчик. Завершающим этапом является восстановление исходного информационного сообщения декодером.

В цифровой системе связи сообщения находятся в аналоговой форме. Перед генерацией источником, сообщения преобразуются в цифровой формат, и затем передаются по каналу связи. На приемном конце оцифрованные данные вновь преобразовываются в аналоговую форму, которая является аппроксимацией исходного сообщения.

Цифровая система связи состоит из шести основных блоков (рис.1). Функциональные блоки передатчика отвечают за обработку входного сообщения, кодирование, модуляцию и передачу по каналу связи. Функциональные блоки приемника выполняют обратный процесс извлечения исходного сообщения.

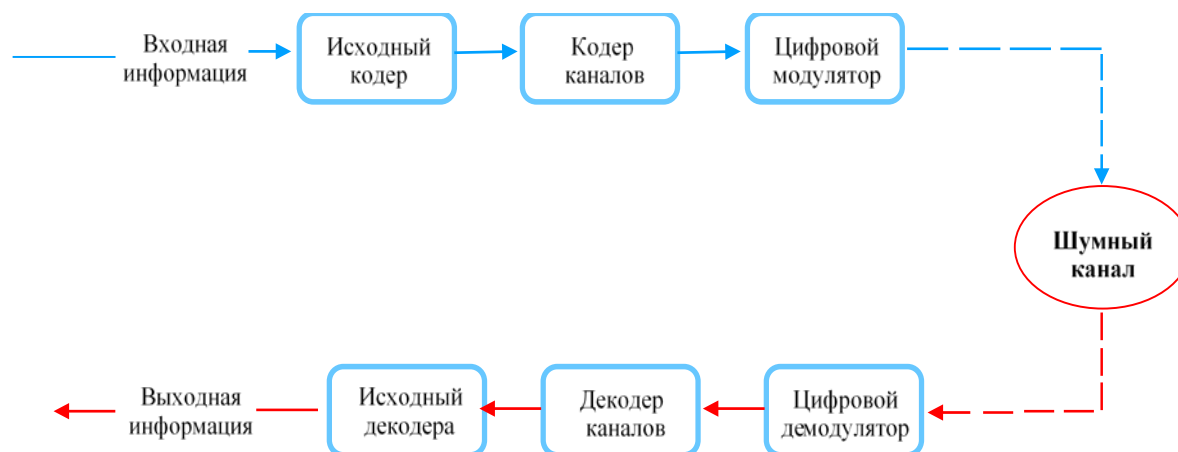


Рисунок 1. Структурная схема цифровой связи

Целью цифровой системы связи является эффективная передача сообщения по каналу связи путем включения различных методов сжатия данных (например, DCT, JPEG, MPEG), кодирования и модуляции, чтобы воспроизвести сообщение в приемнике с наименьшими ошибками. Входная информация, которая обычно находится в аналоговой форме, оцифровывается в двоичную последовательность, также известную как информационная последовательность. Исходный кодер отвечает за сжатие входной информационной последовательности, чтобы представить ее с меньшей избыточностью. Сжатые данные передаются в каналный кодер. Канальный кодер вводит некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована каналным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи. Следовательно, избыточность, добавленная в информационное сообщение, помогает повысить надежность принимаемых данных, а также повышает точность принимаемого сигнала. Таким образом, каналный, помехоустойчивый кодер помогает приемнику декодировать нужную информационную последовательность. Некоторые из популярных канальных кодеров - это коды проверки четности низкой плотности (LDPC), турбо-коды, сверточные коды и коды Рида-Соломона. Закодированные в канале данные передаются в каналный модулятор, который служит интерфейсом к каналу связи.

Канальные связи и помехоустойчивые кодеры хорошо рассмотрены в работах ученых Ж. Сайлауқызы, А.А Садыков, М.М. Коккоз, Н.У. Жунусов [2], M.N. Andrianov, A. V Bumagin, A. V Gondar, K. S Kalashnikov, Prudnikov A. A., V. B Steshenko [3], M. Marazin, R. Gautier, B. Gilles [4], А.С. Костюков, А.В. Башкиров, Л.Н. Никитин, И.С. Бобылкин, О.Ю. Макаров и др.

**Методы.** В качестве канального кодера для исправления возникших ошибок рассматриваются сверточные коды. Ошибки возникают, когда биты повреждаются во время передачи по компьютерной сети из-за помех и сетевых проблем.

Коды коррекции ошибок (ECC) — это последовательность чисел, генерируемых специальными алгоритмами для обнаружения и устранения ошибок в данных, переданных по зашумленным каналам. Коды исправления ошибок устанавливают точное количество поврежденных битов и расположение поврежденных битов в пределах ограничений алгоритма.

Сверточные коды были впервые введены в 1955 году Элиасом. После этого было много промежуточных исследований разных математиков. В 1973 году Витерби разработал алгоритм декодирования схемы максимального правдоподобия, получивший название схемы Витерби, которая привела к современным сверточным кодам [1].

В сверточных кодах сообщение состоит из потоков данных произвольной длины, а последовательность выходных битов генерируется путем применения метода скользящей логической функции к потоку данных.

Сверточный код генерируется последовательной передачей информации через линейный конечный регистр сдвига. Регистр сдвига состоит из ( $d$  битовых) каскадов и генераторов, состоящих из булевых функций.

Сверточный код можно представить как  $(d, k, K)$ , где

-  $k$  – количество входных битов, сдвинутых в кодер за раз. В общем случае  $k = 1$ ;

-  $d$  - количество выходных битов кодера, соответствующие информационным  $k$  битам;

- Кодовая скорость определяется отношением количества входных битов на количество выходных битов, то есть  $R_c = k/d$ ;

- Память кодера, сдвиговый регистр размера  $K$ , является длиной ограничения;

- Состояние кодера задается значением  $(K - 1)$  бита.

В общем случае, если длина регистра сдвига равна  $m$ , в каждом такте используются  $k$  входных символов, и  $d \geq 2$  выходов кодера, то очевидно, что каждый входной символ будет влиять на  $C_n = \frac{md}{k}$  выходных кодовых символов, где  $m$  – это количество информационных символов. Это значение называется полной длиной ограничения кода.

Общий вид сверточного кодера показан на рисунке 2. Стоит отметить, что если  $k > 1$ , то используется не один, а  $k$  регистров сдвига [4]. Более того, входные символы в этом случае поступают параллельно на все входы. Например, если есть входная последовательность  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \dots$ , то при  $k = 2$  за первый такт на входы кодера поступят символы  $b_0$  и  $b_1$ , за второй -  $b_2$  и  $b_3$  и т.д.

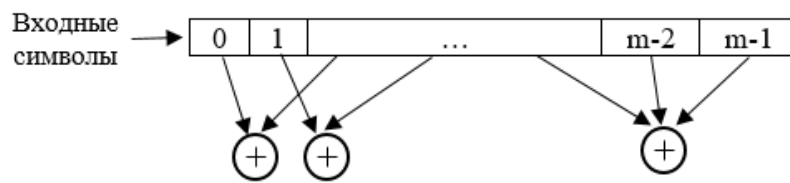


Рисунок 2. Схема двоичного сверточного кодера

Рассмотрим сверточный кодер с  $k = 1$ ,  $d = 2$  и  $K = 3$ . Кодовая скорость,  $R_c = k/d = 1/2$  (Рис.3).

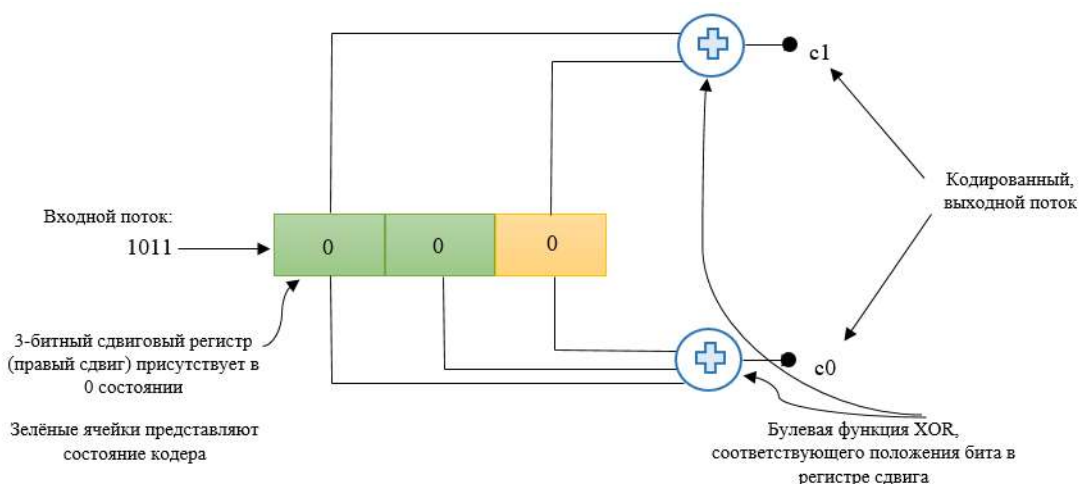


Рисунок 3. Схема кодирования с 4 входными битами

Входная строка передается в кодер справа налево. Когда первый бит, 1, передается в кодер, содержимое кодера будет равна 11 (Рис.4).

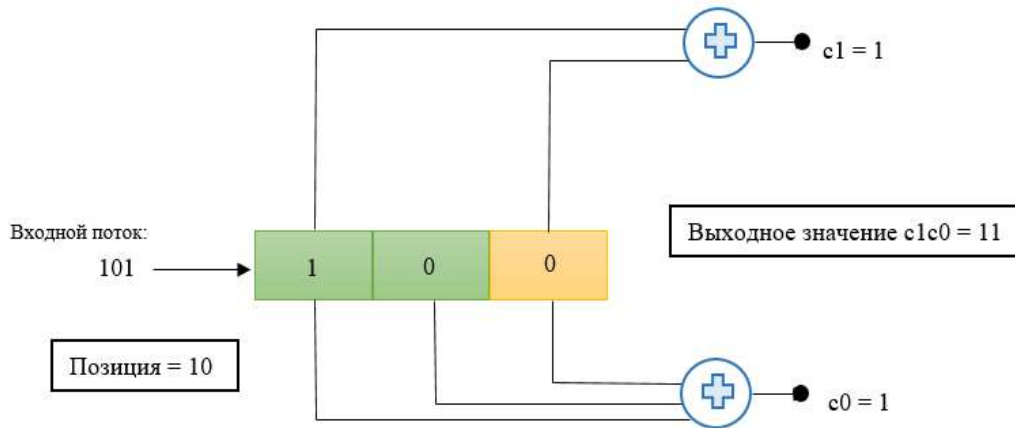


Рисунок 4. Кодирование первого бита

Когда следующий бит 1, будет передан в кодер, содержимое кодера будет равна 10 (Рис.5).

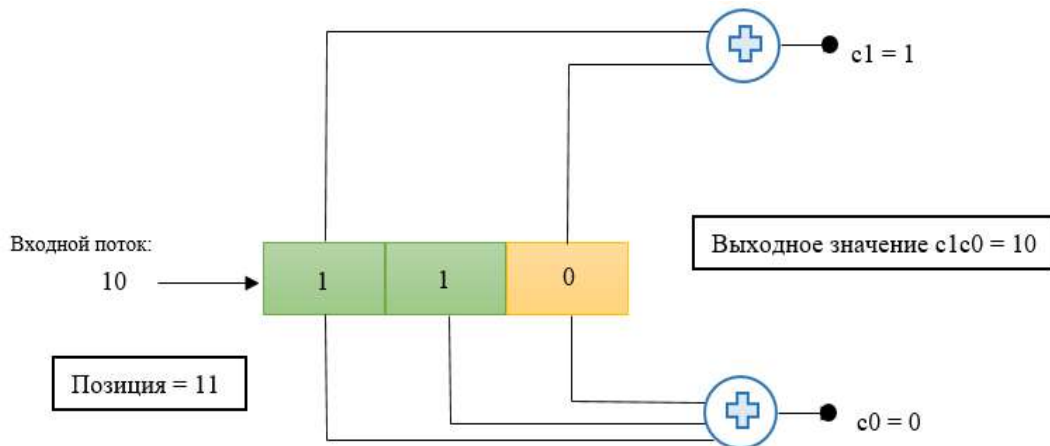


Рисунок 5. Кодирование второго бита

Когда следующий бит, 0, будет передан в кодер, содержимое кодера будет равна 10 (Рис.6).

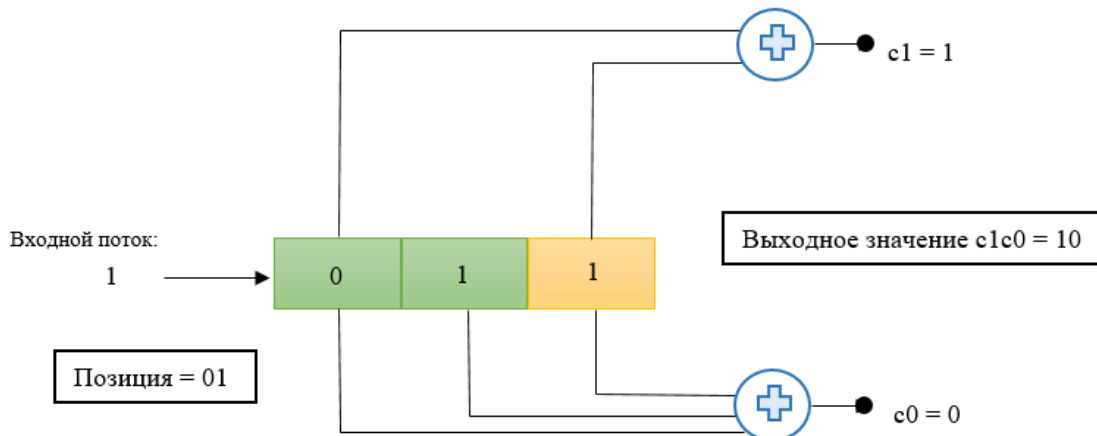


Рисунок 6. Кодирование третьего бита



Когда последний бит, 1, передается в кодер, содержимое кодера будет равна 00 (Рис.7).

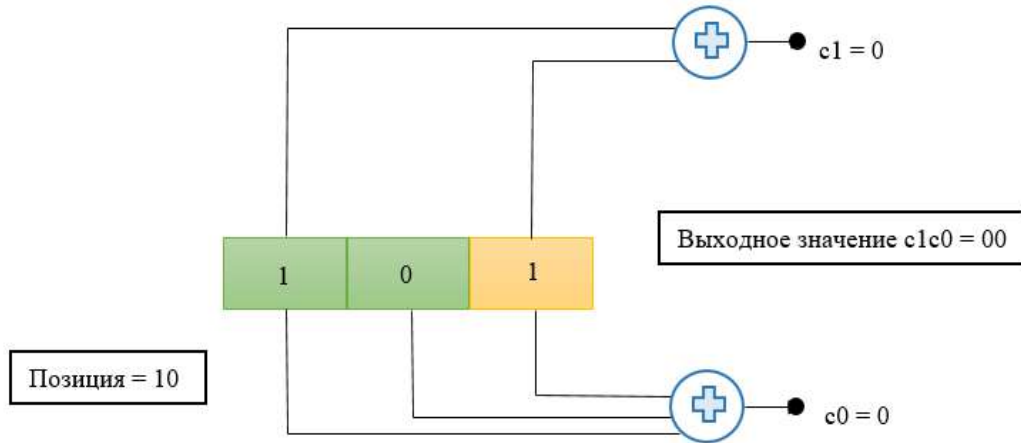


Рисунок 7. Кодирование четвертого бита

**Результат.** Из приведенного выше примера мы видим, что любой конкретный двоичный сверточный кодер связан с набором двоичных входов, двоичных выходов и набором состояний. Переходы и выходные данные могут быть эффективно представлены диаграммой переходов состояний и таблицей состояний.

Для двоичного сверточного кодера, приведенного в примере:

- Набор входов = {0, 1}
- Набор выходов = {00, 10, 11}
- Множество состояний = {00, 01, 10, 11}

Мы видим, что в начальном состоянии 00, когда вход 1 был задан, следующее состояние стало 10, а соответствующий выход - 11. В этом состоянии 10, когда был задан вход 1, следующее состояние было 11, а выходы кодера - 10. Таким же образом мы получаем и другие переходы. Свернув все результаты, мы получаем таблицу переходов состояний, которые отображены на таблице 1. Также была составлена диаграмма переходов состояний, которая отображена на рисунке 8.

Таблица-1. Переходы состояний в двоичном сверточном кодере

Нынешнее состояние	Следующее состояние		Выходы	
	Вход = 0	Вход = 1	Вход = 0	Вход = 1
00	-	10	-	11
01	-	10	-	00
10	-	11	-	10
11	01	-	10	-

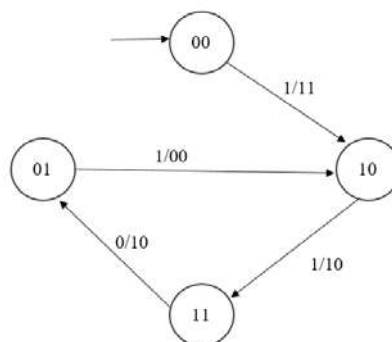


Рисунок 8. Диаграмма переходов состояний бита

**Обсуждение.** В ходе проведенного исследования была представлена цифровая система связи. Описана ее цель, структура и блоки, которые отвечают за обработку входного сообщения, кодирование, модуляцию и передачу по каналу связи. Была рассмотрена модель работы канальных кодеров, вводящих некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована канальным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи.

В статье представлены и описаны алгоритмы работы сверточного кода коррекции ошибок для обнаружения и устранения ошибок в данных, переданных по зашумленным каналам. Согласно алгоритму сверточного кодирования был представлен пример кодирования данных со скоростью  $1/2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Сайлауқызы Ж., Садыков А.А. Витерби декодтау алгоритмінің жады арналарында кедергіге төзімділігін зерттеу // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. – 2017. - № 4. – С. 68-76.

[2] Сайлауқызы Ж., Садыков А.А., Коккоз М.М., Жунусов Н.У. Кедергіге төзімді кодтау негізінде сандық байланыстардағы сигналдар тұтастығын зерттеу // Издательство КарТУ «Труды Университета». – 2016. - № 4. – С. 86-89.

[3] Andrianov M. N., Bumagin A. V., Gondar A. V., Kalashnikov K. S., Prudnikov A. A., Steshenko V. B. Radio measurements. A method of increasing the noise-immune and spectral efficiency of data transmission over digital communication channels under conditions generalized rayleigh fadings // Measurement Techniques. – 2010. - Vol. 53. – № 8. – P. 61-65.

[4] Marazin M., Gautier R., Gilles B. Blind recovery of k/n rate convolutional encoders in a noisy environment // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2011. – P. 168.

[5] Костров Б.В., Соломоенцева Н.И. Моделирование канала связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 2. - С. 95-100.

[6] Кирьянов Д.В., Кирьянов Б.Ф. К проблеме защиты информации в каналах связи // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. Технические науки. – 2017. - № 6. – С. 74-80.

[7] Костюков А.С., Башкиров А.В., Никитин Л.Н., Бобылкин И.С., Макаров О.Ю. Помехоустойчивое кодирование в современных форматах связи // Вестник Воронежского государственного технического университета. Радиотехника и связь. – 2019. – Т.15. - № 2. – С. 132-138.

[8] Макейчик Е.Г., Королёв А.И., Конопелько В.К. Коррекция зависимых ошибок на основе равномерных сверточных кодов // Доклады Белорусского Государственного Университета информатики и радиоэлектроники. – 2017. - № 4. – С. 43-49.

[9] Турдиев О.А., Яковлев В.В., Клименко С.В. Обзор кодов для помехоустойчивого кодирования // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2019. - № 2. – С. 21-24.

[10] Осокин А.Н., Мальчуков А.Н. Теория информации. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 205 с.

#### REFERENCES

[1] Sailaukyzy Zh., Sadykov A.A. Viterbi dekodtau algoritminin zhady arnalarynda kedergige tozimdiligini zertteu [Study of interference resistance of the Viterbi decoding algorithm in memory channels] // Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. [Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University]. – 2017. - № 4. – P. 68-76.

[2] Sailaukyzy Zh., Sadykov A.A., Kokkoz M.M., Zhunusov N.U. Kedergige tozimdi kodtau negizinde sandyk bailanystardagy signaldar tutastygyn zertteu [Investigation of signal integrity in digital communications based on interference-resistant coding] // Izdatel'stvo KarTU «Trudy Universiteta» [Publishing House of Karaganda Technical University «Proceedings of the University»]. – 2016. - № 4. – P. 86-89.

[3] Andrianov M. N., Bumagin A. V., Gondar A. V., Kalashnikov K. S., Prudnikov A. A., Steshenko V. B. Radio measurements. A method of increasing the noise-immune and spectral efficiency of data transmission over digital communication channels under conditions generalized rayleigh fadings // Measurement Techniques. – 2010. - Vol. 53. – № 8. – P. 61-65.

[4] Marazin M., Gautier R., Gilles B. Blind recovery of k/n rate convolutional encoders in a noisy environment // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2011. – P. 168.

[5] Kostrov B.V., Solomoentseva N.I. Modelirovanie kanala svyazi [Modeling the communication channel] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. [Proceedings of the Tula State University. Technical sciences]. – 2017. – № 2. – P. 95-100.

[6] Kir'yanov D.V., Kir'yanov B.F. K probleme zashchity informatsii v kanalakh svyazi [On the information protection on communication channels] // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo. Tekhnicheskie nauki. [Bulletin of the Yaroslav the Wise Novgorod State University. Technical sciences]. – 2017. - № 6. – P. 74-80.

[7] Kostyukov A.S., Bashkirov A.V., Nikitin L.N., Bobylkin I.S., Makarov O.Yu. Pomekhoustoichivoe kodirovanie v sovremennykh formatakh svyazi [Anti-interference coding in modern communication formats] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Radiotekhnika i svyaz' [Bulletin of the Voronezh State Technical University. Radio engineering and communications]. – 2019. – V.15. - № 2. – P. 132-138.

[8] Makeichik E.G., Korolev A.I., Konopel'ko V.K. Korrektsiya zavisimyykh oshibok na osnove ravnomernyykh svertochnyykh kodov [Correction of dependent errors based on uniform convolutional codes] // Doklady Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta informatiki i radioelektroniki [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radio electronics]. – 2017. - № 4. – P. 43-49.

[9] Turdiev O.A., Yakovlev V.V., Klimenko S.V. Obzor kodov dlya pomekhoustoichivogo kodirovaniya [Overview of codes for error-correcting coding] // Intellektual'nye tekhnologii na transporte [Intelligent technologies in transport]. – 2019. - № 2. – P. 21-24.

[10] Osokin A.N., Mal'chukov A.N. Teoriya informatsii [Information theory]. – M. : Izdatel'stvo Yurait [Yurayt Publishing House], 2016. – 205 p.

**О.Е. Жамбаева\*, Ж. Сайлауқызы**

Қарағанды Техникалық Университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail: fokus\_1313@mail.ru

## **ЖИНАҚТАУ КОДТАУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, САНДЫҚ БАЙЛАНЫС АРНАЛАРЫ АРҚЫЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ ШУЫЛҒА ҚАРСЫ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ**

**Андатпа.** Сандық берілістердің сенімділігін арттыру үшін әр сандық байланыс жүйесінде қателерді түзету кодтары қолданылады. Деректер жылдамдығының немесе сенімділіктің жаңа шектеулерін қанағаттандыру үшін қазіргі уақытта жаңа кодтау схемалары әзірленуде. Сондықтан цифрлық байланыс жүйелері тұрақты дамуда. Сандық байланыс жүйесінде қателерді түзету кодын пайдалану міндетті болып табылады. Қателерді түзету коды байланыс арнасының сапасының нашарлауына жақсы қарсылық алуға мүмкіндік береді.

Мақалада сандық байланыс жүйесінің жұмысына талдау жасалады, оның мақсаты, құрылымы және ақпарат берілуіне негізделген блоктар сипатталған. Байланыс арнасындағы қателерді түзету әдісін сипаттау үшін арна кодерлерін қолдану қарастырылады. Кодерлер екілік ақпарат тізбегіне белгілі бір резервті енгізеді, оны қабылдағыштағы арна декодері сигнал беру кезінде пайда болатын шу мен кедергілердің әсерін жеңу үшін қолдана алады.

Жұмыста сандық байланыс арнасындағы қателерді түзетудің жинақтау кодының алгоритмінің сипаттамасы берілген. Кодер жұмысының алгоритмі 1/2 жылдамдықпен қарастырылады.

**Негізгі сөздер:** шуылға қарсы кодтау, сандық байланыс арнасы, жинақтау кодтары, байланыс арналары.

O.E. Zhambayeva\*, Zh. Sailaukyzy

Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

\*e-mail: fokus\_1313@mail.ru

## NOISE IMMUNITY OF DATA TRANSMISSION OVER DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS USING CONVOLUTIONAL CODING

**Abstract.** To improve the reliability of digital transmissions, error correction codes are used in each digital communication system. New encoding schemes are currently being developed to meet new data rate or reliability constraints. Therefore, digital communication systems are in constant development. In a digital communication system the use of an error correction code is mandatory. The error-correcting code allows you to get good resistance to channel quality degradation.

The article presents an analysis of the digital communication system. The article describes the purpose, structure, and blocks on which information transmission is based. Channel encoders are considered to describe a technique for correcting errors in a communication channel. The encoders introduce some redundancy into the binary information sequence, which can be used by the channel decoder in the receiver to overcome the effects of noise and interference that occur when the signal is transmitted over the communication channel.

The paper describes the algorithm of the convolutional error correction code in a digital communication channel, and analyzes the main performance indicators of convolutional data encoding. The article illustrates the operation of the convolutional encoding algorithm with a data transfer rate of 1/2.

**Keywords:** noise-proof coding, digital communication channel, convolutional coding, communication channels.

**Р.Е. Лукпанов\*, С.Б. Енкебайев, Д.В. Цыгулев**

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

\*e-mail: rauan\_82@mail.ru

## **ОЦЕНКА НЕСУЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ СВАЙ ПО ГРУНТУ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ СТАТИЧЕСКИМИ И ДИНАМИЧЕСКИМИ ИСПЫТАНИЯМИ**

**Аннотация.** В статье представлены результаты сравнения частных значений несущих способностей свай, полученных статическими и динамическими испытаниями. Испытания выполнены для забивных свай, сечением 30х30 см. Комплекс исследований представлен более 150 испытаниями грунтов сваями, выполненными согласно требованиям, регламентированным ГОСТ 5686. На основании полученных результатов проведен анализ сходимости сравниваемых методов испытаний, а также статистический анализ данных. Результаты анализа показали, что все полученные частные и усредненные значения несущей способности приемлемы и имеют тесную связь между собой. Исследования имеют практическое значение для дальнейшего строительства нефтегазового комплекса. Выявленные закономерности позволят производить корректировку результатов динамического экспресс метода относительно статического метода, считающегося эталонным. Большое количество полученных частных значений несущих способностей обеспечивает статистическую надежность полученных результатов.

**Ключевые слова:** сваи, фундамент, статические испытания, динамические испытания.

**Введение.** Сегодня, применение свайных фундаментов относят к стандартным конструктивным решениям зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения [1]. К основным стандартным испытаниям свай по определению несущей способности относят статические и динамические испытания [2]. Статические испытания являются наиболее надежными по сравнению с динамическими, поскольку условия проведения испытаний имеет максимальное приближение к реальным условиям нагружения грунтов сваями при возведении зданий и сооружений [3]. Поэтому результаты статических испытаний относят к эталонным, относительно которых производят сравнения несущих способностей, полученных другими методами. Динамические испытания относят к экспресс методам определения несущей способности свай [4]. Относительно статических испытаний динамические испытания дают погрешность результатов несущих способностей, связанную, прежде всего с условиями нагружения свай. Доверительное отношение к статическим испытаниям также подтверждается коэффициентами надежности, регламентированными стандартом [5]. Так, для статических испытаний коэффициент надежности составляет 1,2, а для динамических – 1,4. Однако несомненным преимуществом динамических испытаний является относительная скорость их производства, также как стоимость и трудоемкость [6]. Последнее определяет регламентированное количество статических и динамических испытаний: 0,5% от общего количества свай, но не менее 2 статических испытаний для объекта; 1,0% от общего количества свай, но не менее 6 динамических испытаний для объекта [7]. Минимальное количество динамических испытаний связано с обязательным проведением статистического анализа, которое может выполняться для анализа не менее 6 частных значений оценочных параметров.

Сегодня, для оценки надежности свайных фундаментов большое предпочтение отдается экспресс методам [8]. Оценка надежности в целом сводится к испытаниям качества материала и определением фактической несущей способности по грунту. Оценку качества материала производят как косвенным методом так и прямой оценкой. К косвенным можно отнести оценку соответствия продукта проектным требованиям на основании сертификации завода изготовителя свай (для забивных свай), или бетонной смеси (для буронабивных) [9].

Испытания проведены на площадке строительства нефтегазового комплекса, представленного производственными зданиями каркасного типа из металлических элементов

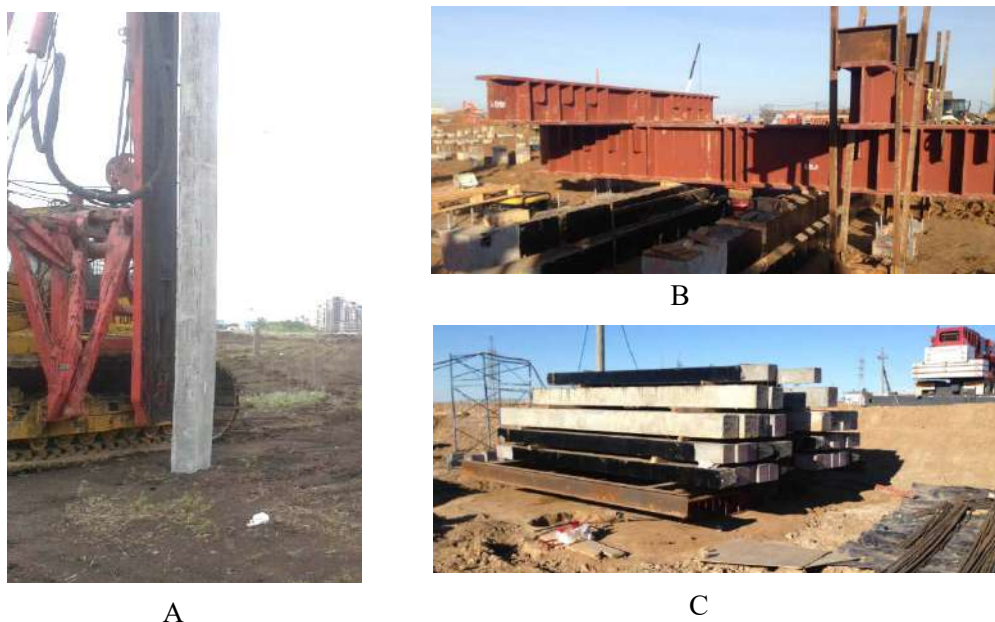
(рисунок 1). Статические испытания проведены для 33 забивных свай С9-30, длиной 9м, квадратного сечения 0.3x0.3 м. Динамические испытания проведены для 128 свай С9-30, в том числе для свай ранее подверженных статическим испытаниям.

Целью проведения испытаний была оценка несущей способности свай по грунту, а целью исследования – сравнение динамических результатов испытаний со статическими для оценки применимости динамического метода испытаний в инженерно-геологических условиях площадки строительства.



Рисунок 1. Нефтегазовый комплекс Карабатан

**Методы исследования.** Статические и динамические испытания выполнены согласно требованиям ГОСТ 5686 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». Динамические испытания проведены с использованием сваебойной установки МСДШ на базе СП 49 РН 14, с массой ударной части 3,5 тонн (рисунок 2А). Статические испытания выполнены при помощи анкерно-упорного стенда (рисунок 2В) и пригрузочной платформы (рисунок 2С), в зависимости от условий свайного поля. В холодный период времени испытательная платформа накрывалась защитным тентом (рисунок 2В), а тестовая свая обогревалась в период не менее 24 часов до приложения нагрузки. Необходимость в обогреве грунта связана с исключением эффекта обжата сваи грунтом, которое происходит при кристаллизации грунтовых вод.



А

В

С

Рисунок 2. Проведение испытаний

*Динамические испытания.* Перед началом испытаний на поверхность сваи нанесены риски, кратностью 100 мм, а на последний метр погружения, кратностью 10 мм. В процессе забивки сваи производился подсчет количества ударов молота, одновременно фиксировалась высота его падения. Для наблюдения за перемещением сваи во время добивки, на ее поверхность клеилась мерная лента, кратностью 1 мм. Добивка сваи производилась двумя залогом (одиночными ударами) по 3 и 5 ударов тем же сваебойным оборудованием (использованным при ее забивке) с применением наголовника и деревянной прокладки во избежание разрушения оголовка сваи. Во избежание потери энергии при использовании новой деревянной прокладки предварительно производилось несколько одиночных ударов на уже испытанной свае, либо на свае, не подвергающейся испытаниям.

Расчетное значение несущей способности сваи по грунту ( $F_d$ ) по результатам полевых испытаний динамической нагрузкой определяется согласно формуле:

$$F_d = \gamma_c \frac{\frac{\mu A M}{2} \sqrt{1 + \frac{4(G(H-h)) \cdot m_1 + \varepsilon^2 (m_2 + m_1)}{A S a} - 1}}{\gamma_s}, \quad (1)$$

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый при действии вдавливающей нагрузки 1;

$\gamma_s$  – коэффициент надежности по грунту, принимаемый 1,4;

$\eta$  – коэффициент материала сваи, для железобетонных свай принимается 150 тс/м<sup>2</sup>;00 кН/м<sup>2</sup>);

A – площадь периметра сваи, равное 0,09 м<sup>2</sup>;

G – масса ударной части молота, равная 3,5 т;

H – фактическая высота падения ударной части молота, м;

h – высота отскока ударной части молота, м;

sa – фактический остаточный отказ, равный значению погружения сваи от одного удара молота, м;

m<sub>1</sub> – общая масса молота, т;

m<sub>2</sub> – масса сваи и наголовника, т.

$\varepsilon$  – коэффициент восстановления удара, при забивке железобетонных свай молотами ударного действия с применением наголовника с деревянным вкладышем, принимается 0,2;

В ходе динамических испытаний (для получения более точных результатов, а также исключения влияния человеческого фактора на результат) использовался электронный тахеометр, точностью измерений 1.5 мм, для фиксации вертикального перемещения свай.

*Статические испытания.* Несущая способность сваи по результатам статических испытаний определяется исходя из условия предельно-допустимого перемещения сваи. Предельно-допустимое перемещение зависит от типа сооружения и способа проведения испытаний относительно времени выдержки ступеней нагружения. Так, для наиболее распространенных испытаний до стабилизации грунта предельно допустимой осадкой, относительно которой определяется несущая способность составляет: для зданий с железобетонным каркасом – 20мм; для зданий с металлическим каркасом 30мм. Для других типов сооружений, регламентируются другие критерии допустимой осадки. Максимальная нагрузка для статического должна составлять 150% от проектной предельно допустимой на сваю. Все конструкции установок, применяемые для испытаний, рассчитаны на нагрузку, превышающую максимальную тестовую на 20% как минимум. Устройство домкрата с плавающей головкой для обеспечивает соосную и центральную передачу нагрузки на сваю. Для исключения возможности передачи нагрузки на испытываемую сваю до установки измерительных приборов грузовая платформа смонтирована на специальных опорах. Перед проведением испытаний произведена горизонтальная планировка площадки для обеспечения устойчивости оборудования при испытании. Метод полевых испытаний сваями заключается в равномерном нагружении ступенями не более 1/10-1/5 от заданной в программе наибольшей

нагрузки на сваю (общее количество ступеней 10). На каждой ступени нагружения сваи снимают отсчеты по всем приборам для контроля нагрузки и измерения перемещений свай. Каждую ступень нагружения выдерживают до условной стабилизации грунта. Критерий стабилизации является суммарное перемещение сваи не более 0,1 мм за последний час наблюдения. Максимальное время выдержки ступени без стабилизации составляет 24 часа. Особых требований к выдержке пиковой ступени нет. Предельное перемещение сваи, при достижении которого производят остановку испытаний, составляет 40 мм. После достижения пиковой нагрузки или остановки испытаний производят разгрузку. Разгрузку сваи производят ступенями, равными удвоенным значениям ступеней нагружения, с выдержкой каждой ступени 15 мин, а последней 60 мин.

*Условия сравнительного анализа.* Сравнение производится в соотношении результатов статических испытаний к динамическим, поскольку статические испытания грунтов сваями относятся к эталонным, максимально приближенным к реальному поведению грунтового основания (сопротивлению грунта) при строительстве. На первом этапе производятся сравнения частных расчетных значений несущих способностей свай, полученных динамическим и статическим нагружениями (посредством коэффициентов  $k_s$  и  $k_d$ ). Сравнение расчетных значений позволит дать оценку истинных значений несущих способностей свай, без учета коэффициентов, влияющих на конечный результат испытаний (статистического коэффициента надежности и коэффициента надежности метода испытания). На втором этапе производится сравнение нормативных значений несущих способностей свай (окончательно принятых значений), (посредством коэффициентов  $k'_s$  и  $k'_d$ ). Сравнение позволит дать оценку условным и ограничительным требованиям норматива. Перед сравнением производится статистическая обработка результатов испытаний, с целью исключения возможной ошибки испытаний. При сравнении результатов испытаний необходимо принять во внимание условные и ограничительные требования, регламентированные нормативом: предельно допустимые значения осадки сваи; требование к количеству испытываемых свай, минимальному количеству частных значений для статистической обработки и пр.

**Результаты исследований.** В таблице 1 представлены результаты средних расчетных (фактических) значений несущих способностей по объектам строительства с представлением статистических данных динамических испытаний, а также диапазоном коэффициентов сравнений  $k_s$  и  $k_d$ . В таблице 2 представлены результаты средних нормативных (принятых) значений несущих способностей по объектам строительства с представлением статистических данных динамических испытаний, а также диапазоном коэффициентов сравнений  $k'_s$  и  $k'_d$ . На каждом из объектов выполнено минимум по 6-12 динамических и 2-4 статических испытания. Для динамических испытаний в таблице также приводятся статистические показатели частных значений несущих способностей.

Таблица 1. Сравнение расчетных значений несущих способностей

DLT	SD	VC	SLT	$k_s$	$k_d$
1 212	218	18.0	1010	0.70-1.12	0.90-1.42
1 561	242	15.5	1200	0.64-1.01	0.99-1.55
2 019	193	9.5	1428	0.68-0.83	1.20-1.59
680	168	24.6	678	0.76-1.38	0.73-1.32
926	99	10.6	1046	1.06-1.42	0.70-0.95
2 058	145	7.1	1934	0.87-1.02	0.98-1.15
1 392	367	26.3	953	0.53-0.83	1.20-1.90

DLT – средние значения динамических испытаний, кН

SD – среднеквадратичное отклонение

VC – коэффициент вариации

SLT – частные значения статических испытаний, кН

$k_s$  – DLT/SLT

$k_d$  – SLT/DLT



Таблица 2. Сравнение нормативных значений несущих способностей

DLT	SLT	$k_s$	$k_d$
865	842	0.82-1.30	0.77-1.22
1115	1000	0.82-1.18	0.85-1.33
1442	1190	0.73-0.97	1.03-1.37
486	565	0.88-1.60	0.62-1.13
661	872	1.23-1.66	0.60-0.81
1470	1612	1.02-1.19	0.84-0.91
994	794	0.61-0.97	1.03-1.63

$k_s$  – DLT/SLT

$k_d$  – SLT/SLT

Коэффициент  $k_s$  варьируется в диапазоне от 0.53 до 1.42. Коэффициент  $k_d$  варьируется в диапазоне от 0.61 до 1.66. Коэффициент  $k_s$  варьируется в диапазоне от 0.77 до 1.22. Коэффициент  $k_d$  варьируется в диапазоне от 0.9 до 1.43. Согласно статистическим данным частные значения динамических испытаний имеют большую сходимость: максимальное квадратичное отклонение составляет 367 при среднем значении 1392 кН; коэффициент вариации составляет 26,3%.

Среднее значение коэффициента сравнения  $\bar{k}_s = 0,88$ , меньше 1, то есть динамические испытания показали большие частные нормативные значения несущей способности, чем статические. Тем не менее, результаты испытаний имеют высокую степень сходимости (тесную связь), поскольку усредненная погрешность нормативных значений несущих способностей динамических испытаний в данных гидрогеологических условиях, в численном эквиваленте составляет 12 %.

Среднее значение коэффициента сравнения  $\bar{k}_d = 1,03$ , приближено к 1, то есть результаты имеют высокую степень сходимости динамических испытаний со статическими (тесную связь), близкую к 100 %. Усредненная погрешность расчетных значений несущих способностей динамических испытаний в данных гидрогеологических условиях, в численном эквиваленте составляет 3 %.

Выравнивание расчетных значений объясняется разным коэффициентом надежности принимаемым равным 1.2 для статических испытаний и 1.4 для динамических испытаний согласно [10].

Коэффициент надежности статистического анализа  $\bar{k}_s$  и  $\bar{k}_d$  составляет 1,05, что свидетельствует о низкой дисперсии (разбеге) данных, а также тесной связи статических и динамических испытаний.

Среднее значение коэффициента сравнения  $\bar{k}_s = 0,96$ , приближено к 1, то есть принятые нормативные значения несущей способности имеют высокую степень сходимости (тесную связь), близкую к 100 %. Усредненная погрешность нормативных значений несущих способностей динамических испытаний в данных гидрогеологических условиях, в численном эквиваленте составляет 4 %. Таким образом, ограничительное требование, регламентированное нормативом – требование к минимальному количеству частных значений для статистической обработки и принятия наименьшего значения несущей способности из частных значений, в данных гидрогеологических условиях площадки, не оказало существенного влияния. Однако, с учетом коэффициента надежности, данное требование имеет занижающий эффект.

Среднее значение коэффициента сравнения,  $\bar{k}_d = 1,13$ , в сравнении со значением коэффициента  $\bar{k}_s$  имеет относительно меньшую связь. Тем не менее, результаты испытаний имеют высокую степень сходимости (тесную связь), поскольку усредненная погрешность

расчетных значений несущих способностей принятых в отчетах динамических испытаний в данных гидрогеологических условиях, в численном эквиваленте составляет 13 %. Последнее может быть объяснено занижением результатов испытаний коэффициентом надежности принимаемым равным 1.2 для статических испытаний и 1.4 для динамических испытаний согласно [10].

Коэффициент надежности статистического анализа  $\overline{k}_s$  и  $\overline{k}_d$  составляет 1,12, что свидетельствует об относительно низкой дисперсии (разбеге) данных, а также тесной связи статических и динамических испытаний.

Результаты статистической обработки в данных гидрогеологических условиях (при доверительной вероятности  $\alpha=95\%$ ):

- усредненная погрешность нормативных значений несущих способностей динамических испытаний оставляет 12 %.
- усредненная погрешность расчетных значений несущих способностей динамических испытаний составляет 3 %.
- усредненная погрешность нормативных значений несущих способностей принятых в отчетах динамических испытаний составляет 4 %.
- усредненная погрешность расчетных значений несущих способностей принятых в отчетах динамических испытаний составляет 13 %.

На рисунке 2 показаны потенциально возможные значения несущих способностей грунтов в зависимости от конструктивного решения надземной части здания или сооружения. Таким образом, имеем два разных значения несущей способности одной и той же сваи, полученной одним испытанием на статическую нагрузку. Однако результаты динамических испытаний имеют единое решение по несущей способности (854 кН), вне зависимости от надземной части здания или сооружения. Данная условность в большой степени влияет на сравнение результатов динамических и статических испытаний.

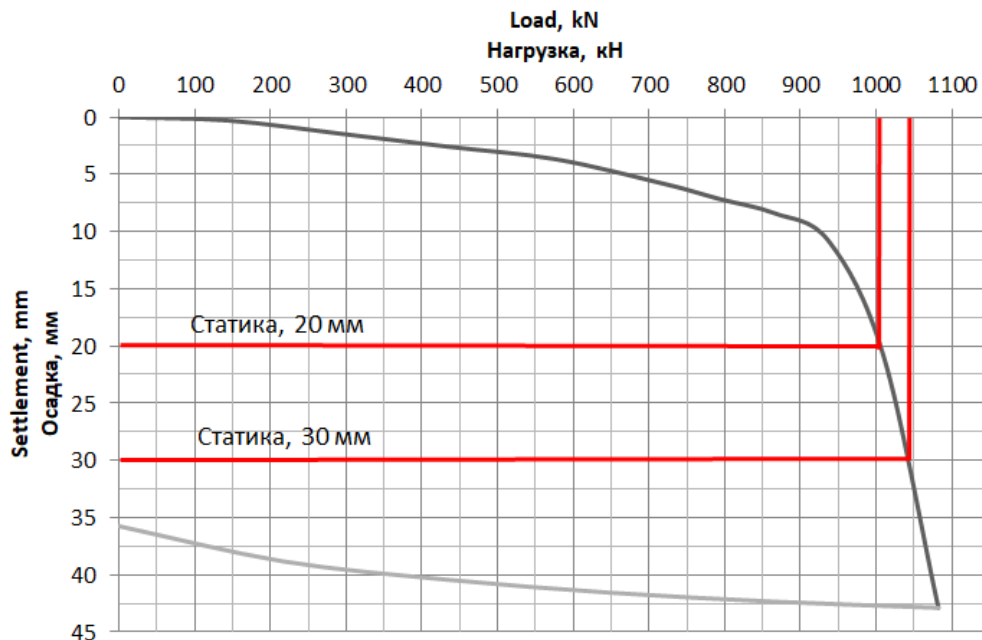


Рисунок 2. Фактический график нагрузки-осадки статических испытаний

В данном конкретном случае: при железобетонном каркасе, погрешность динамических испытаний составляет 15%; при металлокаркасе, погрешность динамических испытаний составляет 19%.

На рисунке 3 показаны сравнения результатов статических испытаний, полученных согласно требованиям утраченного силу норматива (действующего до 2015 года) и требованиям нового норматива (действующего с 2015 года). На графике показаны результаты несущих способностей свай, полученных согласно старых и новых требований.

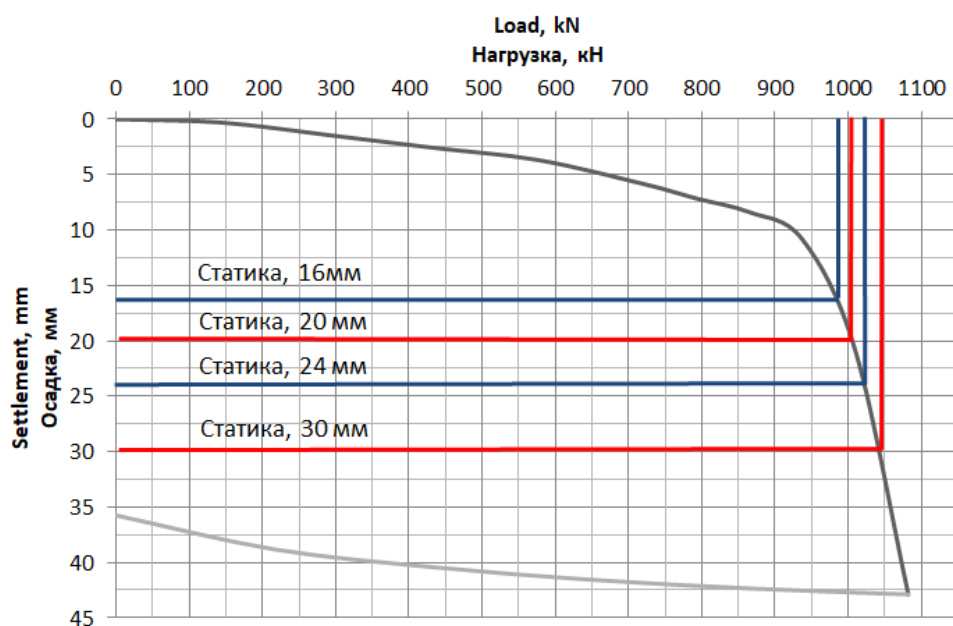


Рисунок 3. График нагрузки-осадки статических испытаний

Актуальность данного сравнения обосновано тем, что внесенные изменения оказывают влияние на сравнение результатов динамических и статических испытаний, подтверждая условность данных требований.

В данном конкретном случае:

- при железобетонном каркасе, погрешность динамических испытаний, согласно норматива до 2015 составляет 13%;
- при железобетонном каркасе, погрешность динамических испытаний, согласно норматива после 2015 составляет 15%;
- при металлокаркасе, погрешность динамических испытаний, согласно норматива до 2015 составляет 17%;
- при металлокаркасе, погрешность динамических испытаний, согласно норматива после 2015 составляет 19%.

**Заключение.** Результаты сравнения выражены соотношением средних значений несущих способностей статических испытаний к динамическим. При этом, результаты статических испытаний были приняты как эталонные, поскольку метод признается наиболее приближенным к реальному нагружению сваи в процессе строительства, а результаты максимально достоверными.

Результаты оценки случайной ошибки, показали, что все полученные частные значения несущей способности приемлемы для дальнейшего анализа и определения усредненных значений коэффициентов сравнений. Все результаты испытаний имеют тесную связь между собой.

Результатом увеличения погрешности результатов динамических испытаний, относительно частных значений и принятых в отчетах (от 3 до 13 %), является: ограничительное требование, регламентированное нормативом – требование к минимальному количеству частных значений для статистической обработки и принятия наименьшего значения несущей способности из частных значений; занижение результатов испытаний коэффициентом надежности, принимаемым равным 1.2 для статических испытаний и 1.4 для динамических испытаний.

При сравнении результатов статических и динамических испытаний грунтов сваями необходимо принимать во внимание условность критериев оценки несущей способности по результатам статических испытаний (см. раздел Анализ требований норматива). Условность отражается в том, что результаты статических испытаний могут иметь несколько отличающихся несущих способностей грунтов в зависимости от конструктивного решения надземной части здания или сооружения, тогда как результаты динамических испытаний имеют единое решение по несущей способности, вне зависимости от надземной части здания или сооружения. Данная условность влияет на сравнение результатов динамических и статических испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhusupbekov, A. Z., Enkebaev, S. B., Lukpanov, R. E., & Tulebekova, A. S. (2012). Analysis of the settlement of pile foundations under soil conditions of astana. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 49(3), 99-104. doi:10.1007/s11204-012-9174-8

[2] Lukpanov, R. E. (2015). Comparison of results of series pile load test in accordance with ASTM and kazakhstan standards. Paper presented at the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, 1323-1326. doi:10.3208/jgssp.KAZ-05

[3] Lukpanov, R. E. (2015). Comparison of GOST and ASTM as to soil testing by vertically loaded piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 52(1), 33-37. doi:10.1007/s11204-015-9303-2

[4] Lukpanov, R. E., Tsigulyov, D. V., Yenkebayev, S. B., & Askarov, D. T. (2016). Influence of blow energy of the hammer on the bearing capacity of piles during dynamic testing. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 71-74.

[5] Zhussupbekov, A. Z., Tulebekova, A. S., Lukpanov, R., & Zhumadilov, I. T. (2016). Comparison analysis of features in eurocode and kazakhstan norms requirements. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 251-255.

[6] Zhussupbekov, A. Z., Syrlybaev, M. K., Lukpanov, R. E., & Omarov, A. R. (2015). The applications of dynamic and static piling tests of astana. Paper presented at the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, 2726-2729. doi:10.3208/jgssp.TC305-12

[7] ГОСТ 5686 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями».

[8] Awwad, T., Yenkebayev, S. B., Tsigulyov, D. V., & Lukpanov, R. E. (2019). Analysis of driven pile bearing capacity results by static and dynamic load tests doi:10.1007/978-3-030-01902-0\_8

[9] Orazova, D. K., Zhussupbekov, A. Z., Lukpanov, R. E., & Yenkebayev, S. B. (2016). Evaluation of wind power unit reliability according to the results of field studies on the example of ereymentau wind power station. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 65-69D

[10] СНиП РК 5.01-03-2002 «Свайные фундаменты».

#### REFERENCES

[1] Zhusupbekov, A. Z., Enkebaev, S. B., Lukpanov, R. E., & Tulebekova, A. S. (2012). Analysis of the settlement of pile foundations under soil conditions of astana. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 49(3), 99-104. doi:10.1007/s11204-012-9174-8

[2] Lukpanov, R. E. (2015). Comparison of results of series pile load test in accordance with ASTM and kazakhstan standards. Paper presented at the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, 1323-1326. doi:10.3208/jgssp.KAZ-05

[3] Lukpanov, R. E. (2015). Comparison of GOST and ASTM as to soil testing by vertically loaded piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 52(1), 33-37. doi:10.1007/s11204-015-9303-2

[4] Lukpanov, R. E., Tsigulyov, D. V., Yenkebayev, S. B., & Askarov, D. T. (2016). Influence of blow energy of the hammer on the bearing capacity of piles during dynamic testing. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 71-74.

[5] Zhussupbekov, A. Z., Tulebekova, A. S., Lukpanov, R., & Zhumadilov, I. T. (2016). Comparison analysis of features in eurocode and kazakhstan norms requirements. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 251-255.

[6] Zhussupbekov, A. Z., Syrlybaev, M. K., Lukpanov, R. E., & Omarov, A. R. (2015). The applications of dynamic and static piling tests of astana. Paper presented at the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, 2726-2729. doi:10.3208/jgssp.TC305-12

[7] GOST 5686 «Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami».

[8] Awwad, T., Yenkebayev, S. B., Tsigulyov, D. V., & Lukpanov, R. E. (2019). Analysis of driven pile bearing capacity results by static and dynamic load tests doi:10.1007/978-3-030-01902-0\_8

[9] Orazova, D. K., Zhussupbekov, A. Z., Lukpanov, R. E., & Yenkebayev, S. B. (2016). Evaluation of wind power unit reliability according to the results of field studies on the example of ereymentau wind power station. Paper presented at the Challenges and Innovations in Geotechnics - Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, 8AYGEC 2016, 65-69D

[10] SNiP RK 5.01-03-2002 «Svainye fundamenty».

**Р.Е. Лукпанов\*, С.Б. Енкебайев, Д.В.Цыгулев**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

\*e-mail: rauan\_82@mail.ru

### **СТАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ СЫНАҚТАРМЕН АНЫҚТАЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫҢ ТОПЫРАҚ БОЙЫНША КӨТЕРГІШ ҚАБІЛЕТТЕРІН БАҒАЛАУ**

**Андатпа.** Мақалада статикалық және динамикалық сынақтардан алынған қадалардың тірек қабілеттерінің нақты Мақалада статикалық және динамикалық сынақтардан алынған қадалардың тірек қабілеттерінің нақты мәндерін салыстыру нәтижелері келтірілген. Сынақтар 30x30 см қимасы бар бітелген қадалар үшін жүргізілді, зерттеу кешені ГОСТ 5686 реттейтін талаптарға сәйкес орындалған қадалармен 150-ден астам топырақ сынақтарымен ұсынылған. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, салыстырылған сынақ әдістерінің конвергенциясы, сондай-ақ деректердің статистикалық талдауы жасалды. Талдау нәтижелері көрсеткендей, алынған барлық жеке және орташа жүктеме мәндері қолайлы және бір-бірімен тығыз байланысты. Зерттеулер мұнай-газ кешенін одан әрі салу үшін практикалық маңызы бар. Анықталған заңдылықтар анықтамалық деп саналатын статикалық әдіске қатысты динамикалық экспресс әдісінің нәтижелерін түзетуге мүмкіндік береді. Мойынтірек қабілеттерінің алынған нақты мәндерінің көп мөлшері алынған нәтижелердің статистикалық сенімділігін қамтамасыз етеді.

**Негізгі сөздер:** қадалар, іргетас, статикалық сынақтар, динамикалық сынақтар.

**R.E. Lukpanov\*, S.B. Yenkebayev, D.V. Tsigulyov**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

\* e-mail: rauan\_82@mail.ru

### **ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF PILES IN SOIL, DETERMINED BY STATIC AND DYNAMIC LOAD TESTS**

**Abstract.** The article presents the results of a comparison of partial values of the carrying capacity of piles obtained by static and dynamic tests. The tests were carried out for driven piles, cross-section 30x30 cm. The complex of investigations is represented by more than 150 pile soil tests carried out in accordance with the requirements regulated by GOST 5686. On the basis of the results we analyzed convergence of the compared test methods and statistical analysis of data. The results of the analysis have shown that all obtained private and average values of bearing capacity are acceptable and have a close relationship with each other. The research is of practical importance for further construction of oil and gas complex. The revealed regularities will allow to make correction of dynamic express method results in relation to static method, which is considered to be a reference one. A large number of obtained private values of bearing capacities provides statistical reliability of the obtained results.

**Keywords:** pile, foundation, static load test, dynamic load test.

<sup>1</sup>С.С. Жусупбеков, <sup>2</sup>Д.С. Жамангарин\*

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский университет путей сообщения, Алматы, Казахстан

\*e-mail: dus\_man89@mail.ru

## ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СВЕТОФОРОВ

**Аннотация.** Управление и координация светофора являются важной функцией на сегодняшних оживленных дорогах. Светофоры переключаются с фиксированного времени на те, которые основаны на множестве датчиков. В этой статье мы предлагаем интеллектуальные динамические светофоры, которые могут адаптировать свое время сигнализации. Например, изменения с зеленого на красный и наоборот в соответствии с плотностью трафика, используя информацию о направлении прибытия и времени. Анализ моделирования показывает, что предлагаемая система может снизить задержку в очереди на 22%. Такой подход позволит сократить потребление топлива и загрязнение окружающей среды на 22%, избегая очереди на светофоре.

На этой архитектуре мы определяем и оцениваем с помощью моделирования алгоритм адаптивного управления светом. Основываясь на двух основных целях, этот алгоритм динамически определяет последовательность зеленых огней, выбирая движения, составляющие каждую фазу, и ее продолжительность. Результаты моделирования показывают, что этот алгоритм, при правильной настройке, способен уменьшить среднее время ожидания на перекрестке.

Развитие современных цифровых технологий, обмена информацией и применения интеллектуальных систем управления в автотранспортной отрасли привела к существенному изменению научных, технологических и практических подходов к организации оптимального дорожного движения в густонаселенных городах.

**Ключевые слова:** интеллектуальный светофор, умные антенны, перекресток, экономия топлива.

**Введение.** Исследователи мобильной беспроводной связи внедряют технологию Смарт антенна в густонаселенных городских районах, где высок спрос на услуги высокоскоростной передачи данных. Интеллектуальные антенны предлагают увеличение в три раза для систем множественного доступа с временным разделением (TDMA), в пять раз для систем множественного доступа с кодовым разделением (CDMA) и значительно более высокие улучшения для будущих систем (например, 1 Гбит / с), поскольку базовые станции начинают поддерживать интеллектуальные антенные технологии [1].

В этой статье мы предлагаем метод, использующий технологию Смарт антенна для оптимизации сигнализации светофора с целью уменьшения задержки в очереди на движение, времени в пути и времени простоя автомобиля. Это, в свою очередь, снизит расход топлива и загрязнение окружающей среды.

Многие перекрестки имеют своего рода механизм обнаружения транспортных средств по мере приближения к перекрестку. Они задерживаются на проезжей части и распознаются транспортные средства через изменения в их магнитном поле, создаваемом металлическим корпусом проезжающих транспортных средств. Тем не менее, они не являются экономически эффективными.

Другими распространенными методами являются видеодетектирование, которое использует пикселирование [4], микроволновое обнаружение и инфракрасное обнаружение среди других [5]. У некоторых перекрестков есть детекторы как на главных, так и на второстепенных улицах (полностью активированы); и контроллер имеет установленное запрограммированное время для обслуживания всех движений в каждом цикле. На некоторых перекрестках детекторы расположены на второстепенных улицах, и повороты только на главных улицах (частично активированы). При такой установке главные улицы запрограммированы на работу в фиксированное время каждый

цикл, и контроллер обслуживает другие движения только при более высоком спросе. Эти подходы требуют установки нового оборудования на каждом перекрестке (например, датчиков) и могут обеспечить частичное решение, т. Е. На основных дорогах города, поскольку они могут быть слишком дорогими.

Беспроводные сенсорные системы были предложены в качестве альтернативной технологии, обеспечивающей свободное развертывание в дорожном строительстве [6]. Набор беспроводных датчиков устанавливается на перекрестках и измеряет поток входящего и исходящего трафика. Эта информация используется для координации светофоров. Краткосрочное ожидание дает соседним огням достаточно времени для подготовки к поступающей партии транспортных средств. Разрывы между партиями - это возможность обслуживать потоки в других направлениях [5]. Эта локальная координация естественным образом распространяется по всей системе, чтобы уменьшить заторы. Другой исследовательский подход использует систему синхронизированных светофоров, которая имеет дело с движением в городах, таких как в Алматы, где около 2300 перекрестков рассчитаны на сглаживание транспортного потока. Эта система требует синхронизации между светофорами и строгого соблюдения транспортных средств ограничений скорости. Тем не менее, это не всегда обеспечивает эффективное средство правовой защиты, поскольку водители могут не ездить с определенными скоростными ограничениями, установленными методом синхронизации.

Цель этого документа - предложить проект системы сигнализации светофора для пересечения дорог, основанный на повторном использовании уже имеющейся информации о местоположении сотовых телефонов, полученных и обнаруженных Смарт антенна. Предлагаемый проект включает в себя оценку плотности трафика, передачу этой информации на выделенный компьютер, связь сервера со светофорами для контроля / настройки времени сигнализации так, чтобы входящий интенсивный светофора в одном направлении мог быть допущен в течение большего времени, чем более легкий трафик в другое направление в режиме реального времени [7]. В качестве первого подхода мы фокусируемся на упрощенном сценарии, когда водитель автомобиля несет один сотовый телефон, и каждый сотовый телефон представляет один автомобиль. Таким образом, количество автомобилей, работающих на дорогах, представляет собой количество мобильных телефонов на дорогах. Мы решили изучить предлагаемую систему в таком предположении, чтобы лучше оценить потенциал подхода и понять возможные ограничения, прежде чем мы реализуем более сложный сценарий для нескольких сотовых телефонов в одном автомобиле.

**Умная антенная технология.** Интеллектуальная антенная система в телекоммуникационном контексте выполняет следующие функции:

Антенна с адаптивной антенной решеткой: интеллектуальная антенная система способна автоматически изменять направление диаграммы направленности излучения в пространственно-чувствительной манере в зависимости от условий сигнала. Он состоит из набора излучающих элементов, расположенных в форме массива и интеллектуальных алгоритмов обработки сигналов для идентификации DoA сигнала. Система использует эту и некоторую дополнительную информацию для вычисления векторов формирования луча для отслеживания и определения местоположения луча антенны на устройства сотового телефона. Поскольку при движении сотового телефона требуется непрерывное управление лучом, требуется высокое взаимодействие между устройства сотовой связи и базовой станцией [7].

*Направление прибытия (DoA):* система Смарт антенна оценивает DoA сигнала, используя такие методы, как классификация множественных сигналов (MUSIC), оценка параметров сигнала с помощью алгоритмов методов вращательной инвариантности (ESPRIT) [8], методы Matrix Pencil (MP) [9] или одно из их производных. Они включают в себя результаты определения пространственного спектра антенно-сенсорной матрицы и расчета DoA на основе пиков этого спектра. Эти расчеты требуют большого объема вычислений. Матричный карандаш очень эффективен в случае систем реального времени и связанных источников.

**Преобразование с понижением частоты:** Сигнал от каждой приемной антенны сначала преобразуется с понижением частоты в основную полосу, обрабатывается согласованным оценщиком фильтра-многолучевого распространения и, соответственно, назначается различным

частотами. Затем блок формирования луча на каждом пальце граблей вычисляет соответствующие (i) весовые коэффициенты формирователя луча и (ii) оценки канала, используя символы пилот-сигнала, которые были переданы через выделенный физический канал данных (DPDCH). Алгоритм рекурсивного наименьших квадратов (QRD-RLS), основанный на QR-разложении, выбран в качестве алгоритма обновления веса из-за его быстрой сходимости и хороших числовых свойств [7].

**Описание предлагаемой системы.** Предлагаемое решение основано на использовании интеллектуальных антенн для оптимизации времени сигнализации светофора с использованием ANYLOGIC для согласованных множественных пересечений (СМІ). Общая концепция изображена на рис.1.



**Рисунок 1.** Управление длительностью светофора с использованием технологии Смарт антенна для согласованных множественных пересечений (ANYLOGIC для СМІ)

Поиск оптимальной согласованной синхронизации сигналов для большого количества сигналов уличного движения является сложной задачей из-за экспоненциального увеличения числа транспортных средств и расширения дорожной инфраструктуры. В последнее время сигналы светофора в городских районах предназначены для совместной координации по планам с «фиксированным временем», которые предварительно установлены для соответствия средним условиям[8].

ANYLOGIC для СМІ, с другой стороны, предназначен для обеспечения координации сигналов в «адаптивное время» и может быть легко достигнут, поскольку TSC обладает информацией о местоположении, а также плотностью сотовых телефонов / автомобилей, приближающейся к светофора или ожидания на любом светофоре на любом перекрестке. Таким образом, на основе обратной связи от TSC TDE регулирует временные характеристики сигнала частыми небольшими приращениями для соответствия последней ситуации с светофора для минимизации очередей / перегрузок. Мы выполнили математический анализ для 4 пересечений.

**Методы исследований.** Анализ показывает, что ANYLOGIC для СМІ предлагает экономически эффективное решение и обеспечивает существенное улучшение транспортных потоков на магистральных дорогах, тем самым оптимизируя использование инфраструктуры артериальных дорог. Математический анализ длины магистральных дорог с четырьмя перекрестками показывает экономию времени в пути по сравнению с традиционными методами



на 92% в пиковые периоды. ANYLOGIC для СМІ уникален тем, что использует интеллектуальные антенны и компьютеры и полностью адаптируется к потребностям трафика [9].

Преимущества этой системы заключаются не только в уменьшенной задержке, улучшенном транспортном потоке и уменьшении заторов, но также в уменьшении количества несчастных случаев, меньшем использовании бензина, уменьшенном загрязнении воздуха и улучшенных бытовых удобствах, как показано на других рисунках в этом перегруженном документе. но также и в уменьшении несчастных случаев, меньшем использовании бензина, уменьшенном загрязнении воздуха и улучшенном удобстве проживания, как показано на других рисунках в этом документе.

Предложенная система сокращенно называется ANYLOGIC для управления длительностью светофора с использованием технологии Смарт антенна [6] и разделена на следующие три логических компонента:

- Сборщик статистики светофора TSC
- Оценщик длительности светофора TDE
- Контроллер длительности светофора TDC

#### *А. Сборщик статистики светофора TSC*

Основная функция TSC - собирать статистику светофора на данном перекрестке. Это осуществляется путем непрерывного и периодического извлечения данных из базовой станции (eNodeB в случае 4G / LTE или NodeB в случае 3G / CDMA) в режиме реального времени и вычисления глобальных координат позиционирования (GPS) для всей соты телефоны, которые существуют в зоне действия этой базовой станции. Мы рассматриваем один TSC и одну базовую станцию только для простоты; однако система может быть развернута по всему городу, и все перекрестки могут работать совместно. TSC извлекает следующую информацию из DSP (процессора цифровых сигналов) интеллектуальной антенны в базовой станции только для направления восходящей линии [7, 8]:

- Сроки заранее TADV
- Угол прибытия AOA
- Список результатов измерений E-UTRA
- Глобальный идентификатор развитой ячейки ECGI
- Опорная мощность принимаемого сигнала RSRP

В Смарт антенна принятый сигнал (содержащий вышеуказанную информацию) от пространственно распределенных антенных элементов преобразуется с понижением частоты в промежуточные частоты (IF), а затем преобразуется в цифровой формат. DSP принимает сигнал цифрового формата и обрабатывает его, используя некоторый программный алгоритм для определения комплексных весов (то есть информации об усилении и фазе).

TSC извлекает вышеуказанную информацию для оценки плотности трафика сотовых телефонов (или в данном случае автомобилей) и связанного направления движения. Поскольку мы используем процессор Смарт антенна, нет необходимости разрабатывать наш собственный процессор. Здесь предполагается, что Смарт антенна используется только на базовой станции, а не на сотовых телефонах, которые несут водители автомобилей. Сотовые телефоны осуществляют передачу с использованием всенаправленных антенн, оставляя их на базовой станции, чтобы выборочно отделять нужные сигналы от помех [10].

#### *В. Оценщик длительности светофора TDE*

TDE, являющийся неотъемлемой частью Сервера, собирает информацию из TSC и рассчитывает продолжительность светофора. Для этого TDE также содержит:

- Программное обеспечение карты улиц, включая географические координаты светофоров, которые попадают в зону охвата этой базовой станции. Эта информация может быть получена в городском / окружном офисе и обновлена при необходимости.

- Информация о состоянии красных / желтых / зеленых огней в любой момент времени всех светофоров, которые попадают в зону обслуживания этой базовой станции. Эта информация известна TDE, поскольку сама TDE определяет / вычисляет длительность светофора и корректирует

ее в режиме реального времени на основе следующих типов объема трафика: а. Все сотовые телефоны, которые существуют в зоне обслуживания этого eNodeB (представляют общую популяцию сотовых телефонов).

б. Все сотовые телефоны, которые существуют в зоне обслуживания этого eNodeB и движутся в направлении или от светофора (представляют собой движущиеся транспортные средства на дорогах).

с. Все мобильные телефоны, которые существуют в зоне обслуживания этого eNodeB, но являются стационарными из-за красных светофоров (представляют собой стационарные транспортные средства на дорогах).



**Рисунок 2.** TDE Dashboard отображающая картину светофора для скоординированных пересечений нескольких полос

TDE отделяет вышеупомянутые отмеченные подмножества "b" и "c" от общей совокупности "a" и вычисляет скорость и направление этих подмножеств с использованием информации TADY и DoA. Основываясь на вышеупомянутом вычислении, TDE подсчитывает сотовые телефоны / автомобили и разграничивает их как Север-Юг и Восток-Запад, связанные по каждому светофору. Если TDE обеспечен GUI, он будет изображать картину движения, как показано на рис. 2, где точки представляют автомобили, приближающиеся к перекресткам (несколько полос). Информация, обработанная TDE, преобразуется в терминах продолжительности времени и передается клиенту, который сидит на светофоре, чтобы отрегулировать продолжительность светофора так, чтобы интенсивному трафику в одном направлении можно было дать больше времени, чем в более легком трафике в другом направлении [11].

### *С. Контроллер длительности светофора TDC*

TDE с указанными выше знаниями может легко рассчитать длительность зеленых огней в соответствии с алгоритмом, показанным на блок-схеме, рис. 3. Чтобы помочь читателю понять алгоритм, мы начнем объяснение с 6-го блока (заштрихованный блок), который показывает, что TSC извлекает из базовой станции информацию о местоположении и плотности сотовых телефонов / автомобилей, приближающихся к определенному светофору в радиусе 0,5 мили от этого светофора. TDE затем сортирует эту информацию и вычисляет общее количество мобильных телефонов / автомобилей, привязанных либо на восток, либо на запад (т. е. Направление, в котором находится максимальное количество мобильных телефонов / автомобилей) (MEW) ', и общее количество мобильных телефонов / автомобилей, связанных либо с севера, либо с юга (т. е. направление, в котором находится максимальное количество мобильных телефонов / автомобилей) (MN) относительно этого конкретного светофора. TDE также находит, имеет ли MEW или MN большее количество сотовых телефонов / автомобилей [12].

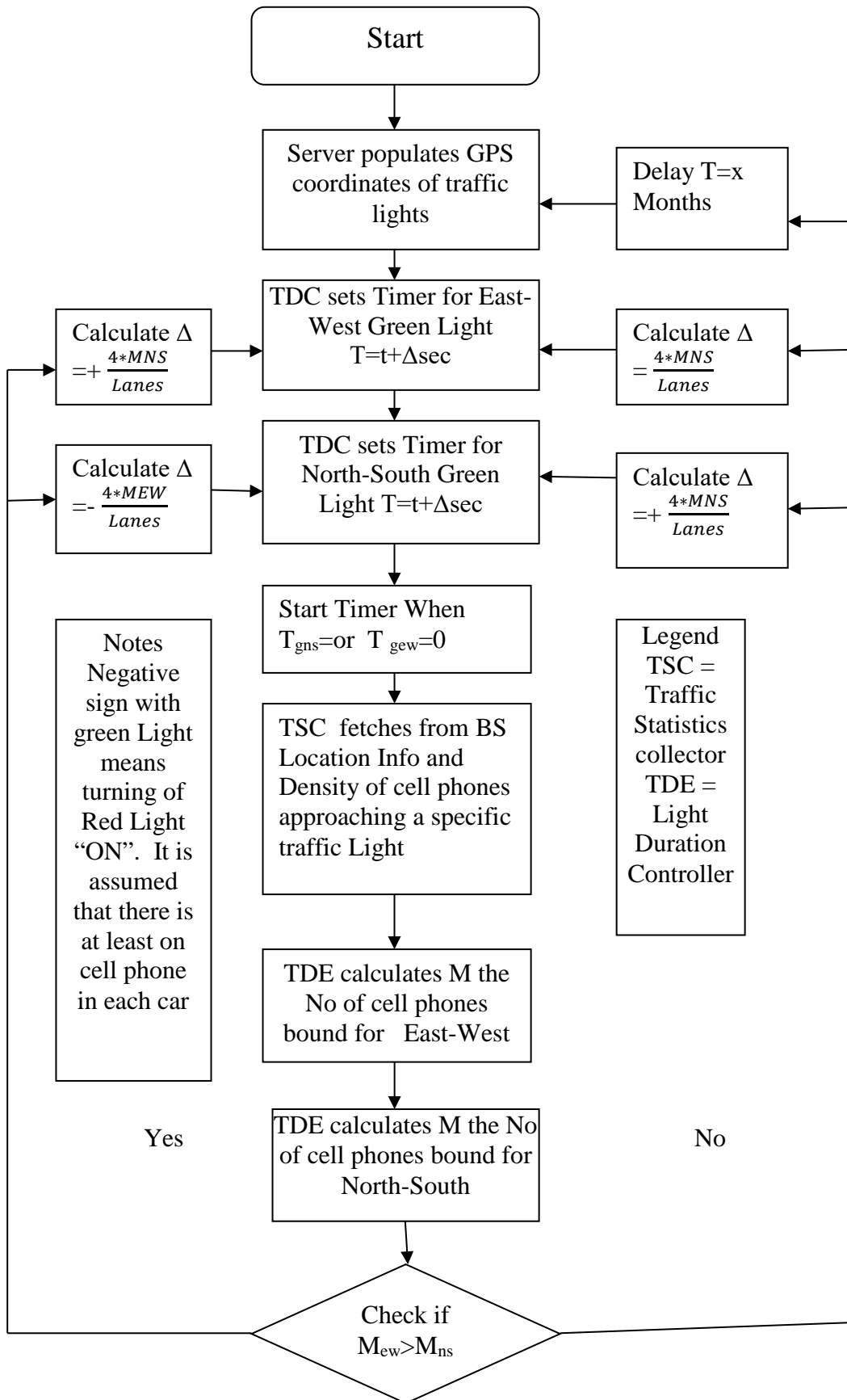


Рисунок 3. Блок-схема согласно предложенному методу ANYLOGIC

Основываясь на результатах TDE, TDC корректирует (складывает или вычитает времени) на заданную продолжительность светофора ( $t$ ). рассчитывается исходя из того, что моему автомобилю (маленькому или большому) в среднем требуется около  $x$  секунд, чтобы пересечь перекресток. Таким образом, TDC устанавливает таймер на  $(t + \alpha)$  сек и поворачивает светофор «Зеленый» в направлении большего количества сотовых телефонов/автомобилей (отрицательный знак указывает на красный свет). Предварительно установленное время « $t$ » в обычных светофорах устанавливается компетентным органом, таким как Департамент транспорта (DoT) в США. (В нашем расчете мы использовали  $t = 0$ ).

Когда T GNS (время для зеленого света для направления на север и юг) или TGEW (время для зеленого света для направления на восток и запад) приближается к нулю, TSC снова извлекает из базовой станции информацию о местоположении и плотность ячейки телефоны / автомобили, приближающиеся к светофору. TDE повторяет то же самое для распределения продолжительности светофора на основе плотности трафика в реальном времени. Новые установки светофора и / или изменения схемы движения из-за закрытия дорог и связанных с ними GPS-координат могут быть обновлены на сервере, если это будет сочтено необходимым, из городской администрации или соответствующего органа [12].

**Результаты и обсуждения.** Поскольку наше исследование является теоретическим, TSC не подключен ни к какой базовой станции (точнее, к DSP интеллектуальной антенны), но TSC эмулирует генерацию, основанную на параметрах, перечисленных в разделе III, ту же схему трафика, как если бы она была подключен к DSP.

На рис. 4 показаны очереди в направлениях восток-запад и север-юг как для обычного управления светофорами, так и для предлагаемого ANYLOGIC для управления CMI. Для традиционного управления зеленый свет включается на фиксированное количество времени и, таким образом, разрешает только фиксированное количество автомобилей в каждой итерации сигнала. Мы предположили, что зеленый свет включается для направлений Восток-Запад и Север-Юг на 60 секунд для каждой последовательности сигналов светофора и, таким образом, пропускает 15 автомобилей - т.е. 4 секунды / автомобиль [12], учитывая при этом одну полосу движения на этом этапе. момент (рис. 1). В конце каждой последовательности светофора транспортные средства, которые не смогли передать сигнал, останавливаются и вносят свой вклад в построение очереди. Однако, как показано на рис. 3, для предложенного AnyLogic для управления CMI очередь будет резко уменьшена, поскольку AnyLogic работает по алгоритму, который вычисляет плотность автомобилей и динамически увеличивает или уменьшает длительность сигнала с небольшими приращениями, чтобы соответствовать последняя дорожная ситуация. В частности, на Рис. 4 показано количество очередей автомобилей в направлениях Восток-Запад (например, EW) и Север-Юг (например, NS) для обычного метода против ANYLOGIC для CMI для EW и направление NS на пересечении 1, 2, 3 и 4, соответственно, в течение 1 часа (например, 30 итераций для EW и 30 для направления NS). На рисунке 5 показана средняя длина очереди трафика (количество автомобилей) на пересечениях 1, 2, 3 и 4. Мы выбрали среднюю очередь для направления Восток, Запад (EW) и Север-Юг (NS) из рисунка 4 для пересечения 1-4 соответственно в течение одного часа (например, 30 последовательных сигналов светофора для каждого из направлений EW и NS) [14].

На рис. 6 показан расход топлива на каждом перекрестке. Поскольку очередь уменьшается с использованием предложенного метода, как показано на рис. 5, расход топлива также будет снижен (из-за уменьшения очереди или холостого хода на отдельном перекрестке).

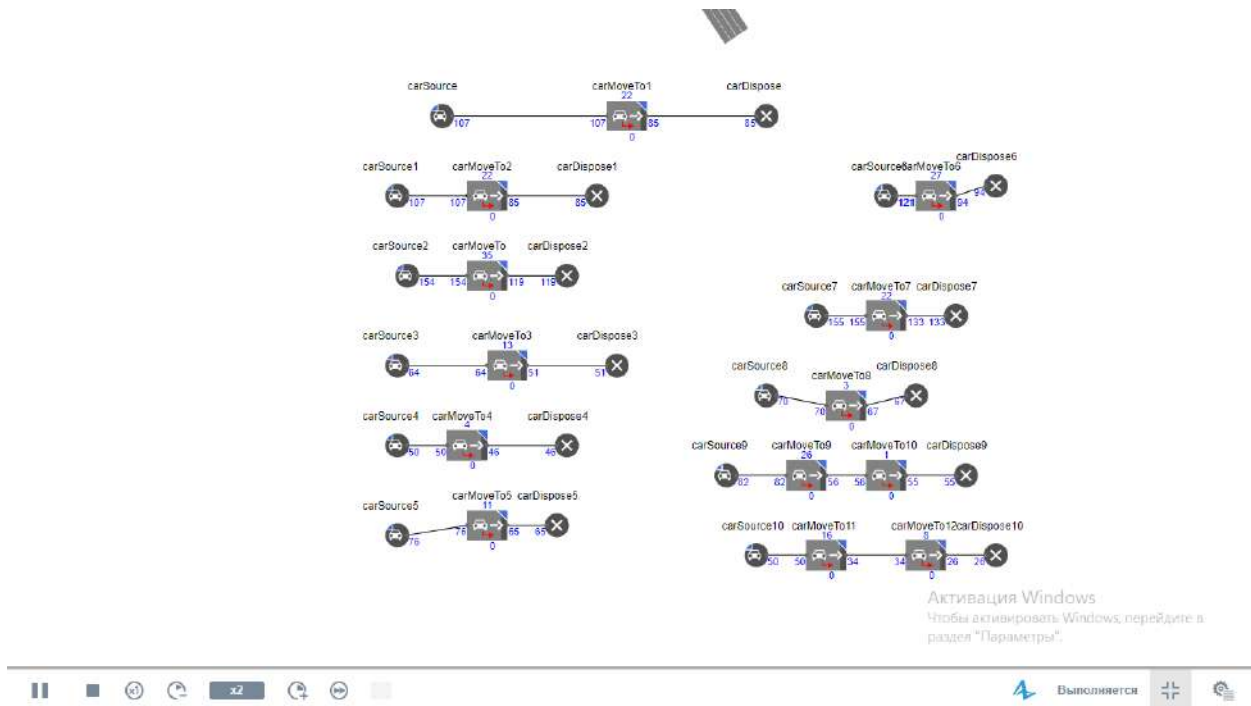


Рисунок 4. Очередь для ANYLOGIC и обычного метода

По данным Управления по качеству воздуха, средний автомобиль потребляет около 0,156 литров топлива в час на холостом ходу [5], в среднем 570 и 578 автомобилей на каждом перекрестке (1, 2, 3 и 4) в EW и NS, соответственно, вызовет эквивалентный холостой ход 1 часа. Следовательно, это будет эффективно потреблять в среднем 0.14 литра топлива в направлении EW и 0.15 литров топлива в направлении NS.

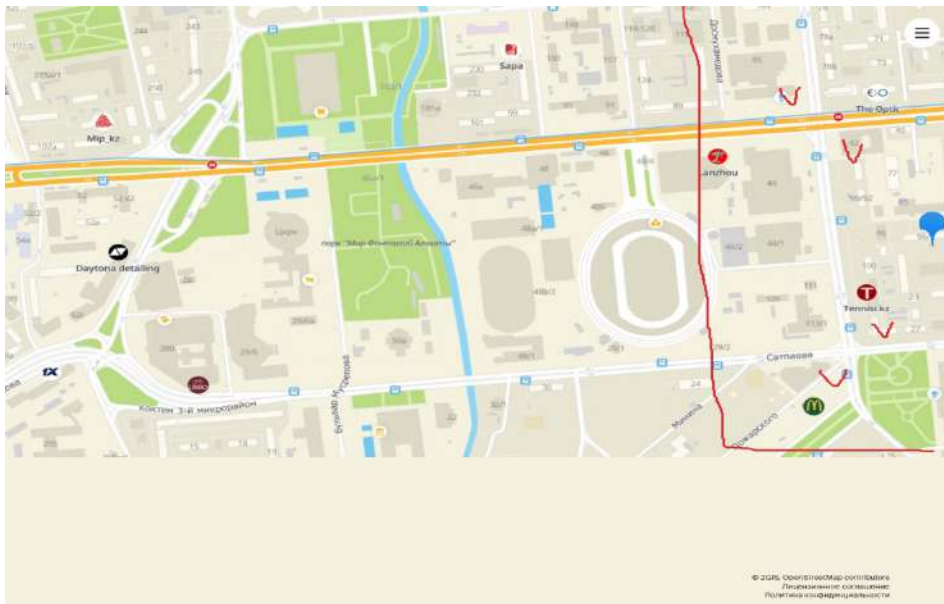


Рисунок 5. Очередь на нескольких перекрестках с использованием ANYLOGIC для СМІ и обычными методами.

В AnyLogic для СМІ расход топлива будет снижен только до 0,14 и 0,098 литра топлива для EW и NS соответственно. Это отражает снижение на 92% по сравнению с обычным способом [16].

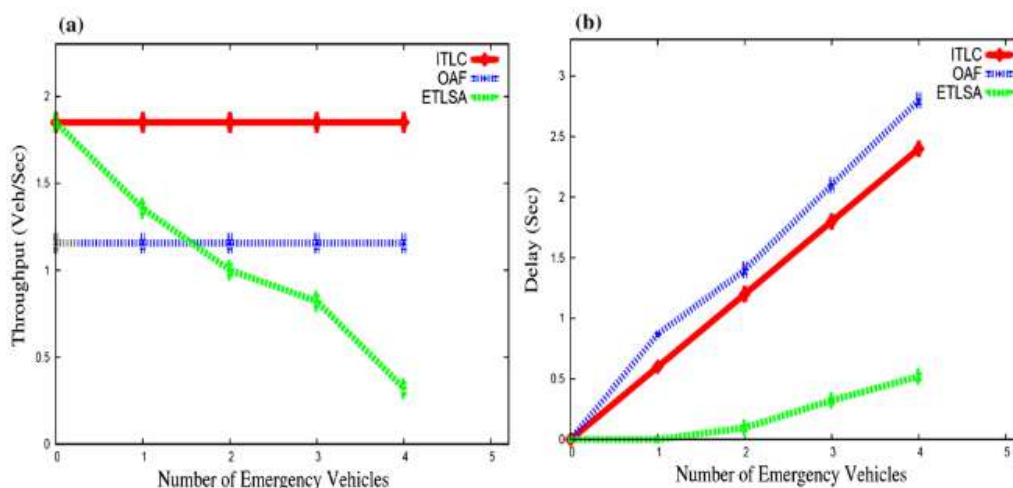


Рисунок 6. Часовое потребление топлива для нескольких перекрестков

Упомянутое сокращение холостого хода и потребления топлива также повлияет на выбросы CO<sub>2</sub>. Согласно Управлению по развитию качества воздуха, средний автомобиль выбрасывает 19,6 фунтов CO<sub>2</sub> на каждый литр сжигаемого топлива. Следовательно, при использовании обычного метода общий холостой ход автомобиля для рассматриваемого сценария даст в среднем 27,4 и 29,4 фунтов CO<sub>2</sub> в направлениях EW и NS, тогда как при использовании ANYLOGIC для CMI будет получено в среднем только 2,76 и 1,94 фунтов CO<sub>2</sub> в направлении EW и NS соответственно [18].

**Выводы.** Предлагается решение для управления светофорами на перекрестках путем использования знаний о местонахождении и направлении прибытия из системы смарт антенна, используемой в существующих системах мобильной связи. Было выполнено моделирование и анализ, которые показывают, что при наличии ANYLOGIC для CMI и допущений об условиях движения, рассмотренных в исследовании, время ожидания для автомобилей на светофорах будет сокращено на 12%. Это, в свою очередь, снизит расход топлива и выбросы CO<sub>2</sub> на 12%.

Предложенный подход является экономически эффективным в силу ряда причин, таких как (а) для обнаружения транспортных средств, мы предлагаем повторно использовать интеллектуальные антенны, которые по своей природе используются для мобильной связи, тогда как в других подходах используется множество индукционных катушек, камер, датчиков или инфракрасное излучение / микроволны на каждом перекрестке, (б) мы используем стандартные механизмы / линии беспроводной связи между сервером и светофорами, в то время как другие подходы используют каналы ближнего действия или проводные связь, которая активируется / активизируется, когда автомобили находятся в зоне действия светофора, и (с) наше предложение устраняет необходимость в текущем номере шкафа светофоров, содержащего сложные схемы управления светофорами, выделенные для каждого светофора на каждом перекрестке.

## REFERENCES

- [1] A. a. C. S. Anurag Kanungo, "Smart Traffic Lights switching and Traffic Density Calculations using Video Processing," in Proceedings of 2014 Raecs WET, 2014.
- [2] R. Hussain, S. Shanna and V. Shanna, "WSN Applications: Automated Intelligent Traffic Control System Using Sensors," International Journal of Soft Computing and Engineering(IJSCE), vol. 3, July 2013.
- [3] S. Razia, T. Hossain and M. A. Matin, "Perfonnnce Analysis of Adaptive Beamfonning Algorithim for Smart Antenna System," in iEEEIOSAIIAPR international Conference on informatics, Electronics &Vision, 2012.

- [4] R. Yaqub, A. Joyo, N. Madamopoulos "Managing Traffic-light- duration by exploiting Smart Antenna Technology (ANYLOGIC)," 2015 IWQoS, IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service, Portland, OR, June 15-16,2015.
- [5] M. Tubaishat, Q. Qi, Y. Shang, and H. Shi, "Wireless sensor-based traffic light control," in 5th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking (CCNC 2018), Las Vegas, USA, Feb. 2018.
- [6] B. Zhou, J. Cao, X. Zeng, and H. Wu, "Adaptive traffic light control in wireless sensor network-based intelligent transportation system," in 72nd IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2016-Fall), Ottawa, Canada, Sep. 2016.
- [7] F. Zou, B. Yang, and Y. Cao, "Traffic light control for a single intersection based on wireless sensor network," in 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI 2009), Beijing, China, Aug. 2009.
- [8] K. M. Yousef, J. N. Al-Karaki, and A. M. Shatnawi, "Intelligent traffic light flow control system using wireless sensors networks," Journal of Information Science and Engineering, vol. 26, no. 3, May 2010.
- [9] Abbas, M. K., Karsiti, M. (2017). High accuracy traffic light controller for increasing the given green time utilization. Computers & Electrical Engineering,
- [10] Y, Srinivasan, D., Lu, X., Sun, Z., & Zeng, W. (2018). Type-2 fuzzy multi- intersection traffic signal control with differential evolution optimization.
- [11] Calderoni, L., Maio, D., & Rovis, S. (2018). Deploying a network of smart cameras for traffic monitoring on a city kernel. Expert Systems with Applications.
- [12] Buch G., Dzhekbson, Rambo D. Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya: Per. s angl. — M.: DMK Press, 2001.
- [13] Purtov A.M. Development of a Geo information System for the Analysis of Transport Networks // SibADI Bulletin. 2013. No. 1 (29). P. 89-95.
- [14] Bershadskiy, V.F. Fundamentals of Driving Motor Vehicles and Traffic Safety: Textbook / V.F. Bershadskiy, N.I. Dudko, V.I. Dudko... — Mn.: Amalfeya, 2018. 458
- [15] <http://mer-voronezha.ru/articles/71>
- [16] [https://studwood.ru/2132913/tehnika/nechetkiy\\_algoritm\\_raboty\\_svetofora](https://studwood.ru/2132913/tehnika/nechetkiy_algoritm_raboty_svetofora)
- [17] Badaguev, B.T. Operating Vehicles (Traffic Organization and Safety) / B.T. Badaguev, M.: Alfa-Press, 2018. 240 p.
- [18] Gorev, A.E. Organization of Motor Transportation and Traffic Safety: Manual for College Students / A.E. Gorev, E.M. Oleschenko E. M.: ICAcademy, 2018. 256 p.

**<sup>1</sup>С.С. Жусупбеков, <sup>2</sup>Д.С. Жамангарин\***

<sup>1</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақ қатынас жолдары университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: dus\_man89@mail.ru

## **БАҒДАРШАМДАРДЫҢ ЖҰМЫСЫН РЕТТЕУ АРҚЫЛЫ ЖАНАРМАЙДЫ ҮНЕМДЕУ ЖӘНЕ АТМОСФЕРАҒА ЗИЯНДЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒУЫН ТӨМЕНДЕТУ**

**Андатпа.** Бағдаршамды басқару және үйлестіру бүгінгі жанданған жолдарда маңызды функция болып табылады. Типтік бағдаршамдар белгіленген уақыттан, көп датчиктерге негізделген уақытқа ауысады. Кейбір кемшіліктер осы түрлі тәсілдерді қарау кезінде анықталды. Бұл мақалада біз өзінің сигнал беру уақытына бейімделе алатын зияткерлік динамикалық бағдаршамдар ұсынамыз. Мысалы, жасылдан қызылға өзгеруі және керісінше трафик тығыздығына сәйкес келу және уақыт бағыты туралы ақпаратты пайдалану. Модельдеуді талдау ұсынылған жүйе кезекте кідіруді 22% - ға төмендететінін көрсетеді. Демек, мұндай тәсіл бағдаршамдағы кезекте тұрмай, отын тұтынуды және қоршаған ортаның ластануын 22% - ға қысқартуға мүмкіндік береді.

Бұл архитектурада біз бағдаршамның адаптивті басқару алгоритмін модельдеу арқылы анықтаймыз және бағалаймыз. Екі негізгі мақсатқа сүйене отырып, бұл алгоритм әр фазаны құрайтын қозғалыстар мен оның ұзақтығын таңдап, жасыл шамдардың тізбегін динамикалық түрде анықтайды. Модельдеу нәтижелері бұл алгоритм дұрыс конфигурацияланған кезде қиылыста орташа күту уақытын азайтуға қабілетті екенін көрсетеді.

Қазіргі заманғы цифрлық технологиялардың дамуы, ақпарат алмасу және автокөлік саласында интеллектуалды басқару жүйелерін қолдану халық тығыз орналасқан қалаларда оңтайлы жол қозғалысын ұйымдастырудың ғылыми, технологиялық және практикалық тәсілдерінің айтарлықтай өзгеруіне әкелді.

**Негізгі сөздер:** интеллектуалды бағдаршам, ақылды антенналар, қиылыс, жағармайды үнемдеу.

**<sup>1</sup>S.S. Zhusupbekov, <sup>2</sup>D.S. Zhamangarin\***

<sup>1</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh University of Transport Communications, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: dus\_man89@mail.ru

## SAVING FUEL AND REDUCING HARMFUL EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE BY REGULATING THE OPERATION OF THE LIGHTS

**Abstract.** Traffic control and coordination is an important feature on today's busy roads. Typical traffic lights switch from a fixed time to those based on a variety of sensors. Some weaknesses were identified when considering these various approaches. In this article, we offer intelligent dynamic traffic lights that can adapt their signaling time (for example, changes from green to red and vice versa) according to traffic density, using information about the arrival direction and leading time transmitted from mobile phones transmitted by car drivers, smart antennas installed on cellular base stations. Analysis of the simulation shows that the proposed system can reduce the queue delay by 22%. Therefore, this approach will reduce fuel consumption and environmental pollution by 22%, avoiding the queue at the traffic lights.

On this architecture, we define and evaluate an adaptive light control algorithm using simulation. Based on two main objectives, this algorithm dynamically determines the sequence of green lights by selecting the movements that make up each phase and its duration. The simulation results show that this algorithm, if properly configured, is able to reduce the average waiting time at the intersection.

The development of modern digital technologies, information exchange and the use of intelligent control systems in the automotive industry has led to a significant change in scientific, technological and practical approaches to the organization of optimal road traffic in densely populated cities.

**Keywords:** intelligent traffic lights, smart antennas, crossroad, fuel economy.



**<sup>1</sup>С.К. Серикбаева\*, <sup>1</sup>Д.А. Тусупов, <sup>1,2</sup>М.А. Самбетбаева**

<sup>1</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: inf\_8585@mail.ru

## ТАРАТЫЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕДЕ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

**Андатпа.** Сандық технологиялар адам өмірінің барлық салаларында бар. Әлемдік қоймаларға жазылатын деректер көлемі әр секунд сайын өсіп отырады, яғни ақпаратты сақтау шарттары бірдей қарқынмен өзгеріп, оның көлемін ұлғайту үшін жаңа мүмкіндіктер пайда болуы керек

Үлкен деректер технологиясын енгізу қоғамның түрлі салаларында ғылыми-техникалық дамудағы жаңа қадам болып табылады. Үлкен деректер технологиясы дамудың бастапқы кезеңінде болғанына қарамастан, ол ақпараттық технологиялар саласында жоғары көрсеткіштерге қол жеткізді.

Үлкен деректерді өңдеудің әмбебап әдістері жоқ, бірақ мәселені ішінара шешу үшін әртүрлі әдістерді қолдануға мүмкіндік береді. Үлкен деректерді сәтті қолдану жұмыс тиімділігін бірнеше есе арттырып отырады. Қазіргі уақытта үлкен деректерді өңдеу жаңа технологияларды қолданудың тиімділіктеріне бағытталған.

Мақалада үлкен деректермен жұмыс жасау әдістері мен тәсілдері, туындайтын күрделі мәселелері және таратылған ақпараттық жүйеде үлкен деректерді қолдану маңыздылығы, ғылыми-білім беру қызметін қолдайтын таратылған ақпараттық жүйеге қойылатын функционалды талаптары, таратылған ақпараттық жүйенің ғылыми-білім беру қызметін қолдайтын үлкен деректер архитектурасы қарастырылған.

**Негізгі сөздер:** Big data технологиясы, ақпараттық технология, таратылған ақпараттық жүйе, Hadoop, PostgreSQL, MapReduce.

**Кіріспе.** Ақпараттық технологиялар саласын зерттеуде жетістіктер көп. Соның бірі, үлкен көлемді, яғни терабайттың тұратын серверлер жүйесінен тұрады. Үлкен деректер технологиясын енгізу қоғамның түрлі салаларында ғылыми-техникалық дамудағы жаңа қадам болып табылады. Үлкен деректер технологиясы дамудың бастапқы кезеңінде болғанына қарамастан, ол ақпараттық технологиялар саласында жоғары көрсеткіштерге қол жеткізді. Big Data - бұл үлкен деректер массивтері мен оларды өңдеу әдістерінің жалпы атауы болып табылады.

Үлкен деректер дегеніміз - үш операцияны орындауға арналған технологиялар жиынтығы:

- Үлкен көлемдегі деректерді «стандартты» түрде өңдеу.
- Өте үлкен көлемде тез келетін деректермен жұмыс істей білу. Яғни, бұл жерде деректермен өте көп емес, бірақ олар үнемі көбейіп отырады.
- Параллельді және әр түрлі аспектілерде құрылымдалған және әлсіз құрылымдалған деректермен жұмыс істей білу.

Ақпараттық технологияда үлкен деректер – үлкен көлемдегі деректерді өңдеуде құрылымдалған және құрылымдалмаған деп бөлінеді. Әдетте деректер жиынтығын бірнеге түрлі машиналарға тарату болып табылады. Бұл таратытылған ақпараттық жүйелердің әкімшілік желілік бағдарламалар арқылы іске асатынын ескере отырып, олардың өзіндік мәселелері болғандықтан, жиі серверлер арасында қиындықтар туындауы мүмкін. Үлкен деректермен жұмыс жасау барасында осы мәселелерді шешуге Hadoop Distributed Filesystem (HDFS) және MapReduce технологиялары арқылы шешуге болады [1].

**Үлкен деректермен жұмыс жасау әдістері мен тәсілдері.** Кез келген салада қолданатын үлкен деректердің мәселесі кеңейтілген аппараттық және бағдарламалық шешімдерін әзірлеуге бағытталған. Жинақталған үлкен көлемді ақпараттардың өсуі және оны

өңдеу, сақтау талаптары үлкен деректер жиынтығын талдау әдістері мен алгоритмдерді зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Үлкен деректердің көлемі өсуін тек ІТ-компаниялары ғана қолдана алмайды, сонымен қатар ғылым саласында кеңінен қолданылады. Ақпараттық ғылымда қосымша факторы – бұл әдеттегі модельдерден айырмашылығы ақпараттық жүйедегі ресурстардың моделі болып табылады. Бұл бір жағынан кең ауқымды мәселелерді шешуге мүмкіндік бере алады, екінші жағынан ақпараттық ресурстарды ұйымдастыру мәселесі туындайды.

Үлкен деректерді өңдейтін қосымшаларды құру кезінде сізге келесі мәселелер туындауы мүмкін: үлкен көлемді деректер, деректердің қарқынды ағындары, деректерді өңдеуде уақыттың едәуір қысқаруы, кез келген деректер санын қабылдау, модельдердің күрделенуі, жүйелердің құрылымы өзгеруі, есептеу күрделілігінің артуы, әлсіз құрылымдалған бастапқы ақпараттық салыстырмалы өсуі, анық емес ақпараттың салыстырмалы өсуі, параллель есептеу қажеттіліктері туындауы мүмкін [2].

#### **Үлкен деректерде ақпаратты алу жүйесі және архитектурасы.**

Таратылған ақпараттық ресурстарға ашық қол жеткізуді қамтамасыз ететін, бірыңғай ақпараттық жүйе үйлесімділігін құру қажет болып табылады. Әлемде ақпараттық және есептеу желілерінің дамуы бүгінде ақпараттық ресурстармен жұмыс істеудің іргелі парадигмаларының өзгеруіне алып келеді. Бүгінгі таңда, таратылған ақпараттық ресурстарға ашық қол жетімді болу үшін, бірыңғай ақпараттық жүйенің үйлесімділігін құру өзекті мәселе болып табылады.

Ақпараттармен жұмыс жасау технологиясына байланысты, кең ауқымды ақпараттардың үйлесімділігін құруды және олардың жұмыс жасау технологиясын әзірлеу мақсатында таратылған ақпараттар көздерінің үйлесімділік тәсілдерін зерттеу және таратылған ақпараттық жүйелер мен мәліметтер қоры саласында ғылыми байланыс негізін құру қажет болады. Таратылған ақпараттық жүйелердің міндеттері – ақпаратты сақтау және оны қолданушыға ыңғайлы түрде ұсыну [3]. Әдетте, түрлі технологиялар қолдану мүмкін. Ақпараттық жүйелердің негізгі функциясына сүйене отырып, түрлі үйлестірудің аспектілерін қарастыруға болады:

1. Ақпаратты үйлестірілген сақтау (үйлестірілген қоймалар, деректерді сақтаудың желілік жүйелері, желілік файлдық жүйелер).
2. Таратылған ДҚБЖ (деректерді қосу, жаңарту, өзгерту).
3. Таратылған ақпаратқа қол жеткізуді басқару және таратылған ақпаратты басқару.
4. Таратылған көздерден ақпарат іздеу.
5. Таратылған көздерден ақпарат алу.
6. Бірыңғай пайдаланушылық интерфейстерде таратылған көздерден ақпаратты бірыңғайлау.

Таратылған ақпараттық жүйелер компьютер пайдаланушылары үшін барған сайын маңызды тенденцияны ұсынады. Таратылған өңдеу-бұл бірнеше физикалық құрылғыларда өңдеудің бірыңғай логикалық жиынтығын жүзеге асыру әдісі, сондықтан олардың әрқайсысы жалпы өңдеудің белгілі бір бөлігін орындайды. Таратылған өңдеу көбінесе таратылған деректер қорын қалыптастырумен бірге жүзеге асырылады. Таратылған деректер қоры бірнеше жерде сақталған деректер элементтері бір-бірімен байланысты болған кезде немесе бір жерде процесс (бағдарламаны орындау) басқа жерде сақталған деректерге қол жеткізуді қажет етсе болады [4].

Ғылыми-білім беру қызметін қолдау үшін таратылған ақпараттық жүйелер ақпараттық ресурстарды басқару және электрондық бұқаралық ақпарат құралдарының қазақстандық сегментінің мәтіндік мақалаларын жинауға, жіктеуге, талдауға арналған.

Жүйені құрудың мақсаты: ғылыми-білім беру қызметін қолдау үшін таратылған ақпараттық жүйелер жүйесін құру, үлкен деректер технологиясын қолдана отырып, таратылған деректерді өңдеуге арналған Apache Hadoop платформасының мүмкіндіктерін зерттеу бағдарламасын құру.

Ғылыми-білім беру қызметін қолдаудың АЖ-ға қойылатын ең жалпы функционалдық талаптар жиынтығы айқындалды.

- 1) Ақпараттық ресурстарды жинау.
- 2) Құжаттардың өзектілігі.
- 3) Құжаттардың өзектілігі, толықтығы, шығу тегінің дұрыстығы.
- 4) Қолданушының зияткерлік сұраныстарын өңдеу қызметтерін пайдалану.
- 5) Білім алу.
- 6) Ақпараттық жүйелердің орталықтандырылмаған архитектураларын қолдау.
- 7) Ақпараттық кеңістіктің құрылымы.
- 8) Ақпаратты бейімдеп ұсыну.
- 9) Тарихи ақпарат болуы.
- 10) Мұрағат.

Таратылған ортадағы жұмыс жағдайында ғылыми-білім беру қызметін қолдау АЖ-ға талаптар қойылады:

- деректерді экспорттау және импорттау үшін қабылданған метадеректер стандарттарын қолдау;
- басқа ақпараттық жүйелермен ақпарат алмасу хаттамаларын қолдау;
- қолданушы интерфейстерінде де, жүйелік деңгейде де ішкі ресурстарға сілтеме жасау мүмкіндігін қолдау.

Жүйенің міндеттері:

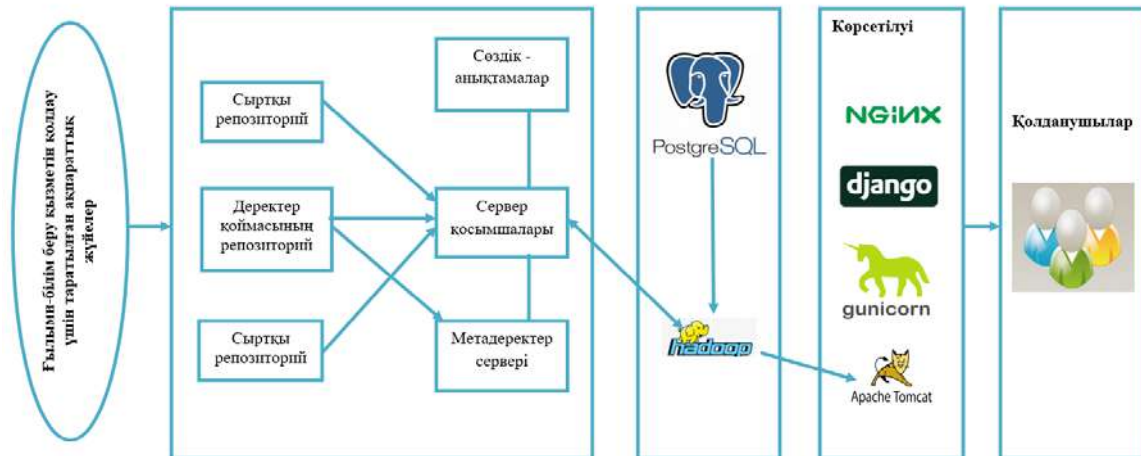
- 1) Интернет кеңістігінде деректер қорына бірыңғай мақалаларды жинау, сақтау және сұрыптау;
- 2) Тақырыптар бойынша мақалаларды бөлу: кластерлеу, жіктеу, тақырыптық комбинацияларды анықтау, саралау және сүзу (әлеуметтік салалар, салалар, салалар және т. б. бойынша);
- 3) Ақпараттық себептерді айқындау;
- 4) Каталогтардың, дерекқорлардың және библиографиялық басылымдардың сатып алынатын электрондық әдебиеттерін ұжымдық пайдалану сияқты жарияланымның ақпараттық белгілерінің дәрежесін есептеу;
- 5) Ақпараттық трендтерді айқындау.

Аталған талаптарды қанағаттандыру үшін метадеректерді – ақпараттық ресурстар және оларға қол жеткізу қағидалары туралы құрылымдалған ақпаратты ұсыну және алмасу үшін ақпараттық қызмет немесе орталы құру қажет. Қазіргі уақытта метадеректерді жинаумен және таратумен айналысатын көптеген ақпараттық орталықтар олардағы қорлармен алмасу мақсатында өзара іс-қимылды ұйымдастыруға белсенді қызығушылық арттыруда. Әдетте, қорлардың мұндай үйлесімділігінің негізі метадеректерді ұсыну үшін стандартты әзірлеу болып табылады, сонымен бірге нормативтік-анықтамалық ақпарат массивтерін біріктіру болып табылады [5].

Қойылған міндеттер шеңберінде ақпараттық жүйенің архитектурасы әзірленді (1-сурет) электрондық кітапхананың ресурстарын жүйелеу үшін деректер қоймасынан, репозиторийден, метадеректер серверінен, қосымшалар серверінен, анықтамалықтар сөздігінен тұратын көп деңгейлі ЭБ архитектурасы, сондай-ақ әзірленген архитектураның бағдарламалық іске асырылуы пайдаланылады.

Үлкен көлемді деректерді сақтау және өңдеу, сондай-ақ машиналық (оның ішінде терең) оқытудың шығындық алгоритмдерінің ресурстарын қолдану қажеттілігіне байланысты архитектураны масштабталу және таратылу қажеттілігін ескере отырып әзірленді. 1-суретте көрсетілген осы жүйенің негізгі компоненттерін қарастырамыз:

Деректер қоймасы коллекциялар мен олардың құрылымы туралы қосымша метадеректерді сақтауға арналған. Олар мақалалардың, мақалалардың, кітаптардың және т.б. электрондық нұсқаларының сақталуын қамтамасыз етеді және оларға сыртқы жүйелер мен пайдаланушыларға рұқсат береді [6].



**1-сурет.** Ғылыми-білім беру қызметін қолдауға арналған таратылған ақпараттық жүйенің архитектурасы

Электрондық кітапхана материалдарын пайдалану мазмұнды тиімді және дәл қарауды қамтамасыз ету үшін метадеректердің болуына байланысты. Сандық кітапханаға мазмұн қосылған кезде метадеректер жасалуы керек. Метадеректер мен деректер бір-бірімен қисынды түрде байланыстырылуы керек және уақыт өте келе, платформалар мен шамадан тыс географиялық бөліну арасында логикалық байланысты басқарудың сенімді негізгі технологиясы болуы керек, барлығы желілік таратылған жүйеде.

Қосымшалар серверінің тиімді жұмыс істеуі үшін жіктеу белгілері де, материалды жүйелеу және жіктеу жүргізілетін негізгі терминдер жиынтығы (тәртіп қатынастарымен) бар классификатор сөздіктер жиынтығын пайдалану қажет.

Сөздік анықтамалық-бұл құжат мазмұнын сипаттау сөздігін құрайтын терминдер жиынтығы. Оны мұрағатқа кіретін материалдарды санаттаудың стандартты әдісін жасау үшін стандарттау органдары қолдайды.

Анықтамалық сөздіктің көмегімен материалды нақты санаттау іздеу нәтижесінде бір немесе бірнеше электрондық кітапханаларда іздеуді ұйымдастырған кезде іздеу өрнегіне қатысты құжаттардың табылу ықтималдығын арттырады.

PostgreSQL - құрылымдық деректерді тұрақты сақтау орны ретінде қызмет етеді. Осы мәліметтер базасында сақталатын мәліметтердің негізгі түрлері: а) жаңалықтар және метадеректер; б) векторизацияны, лемматизация, тазалау нәтижелерін және т.б қоса алғанда, талдаудың әртүрлі негізгі бірліктері деңгейіндегі (лексема / сөз / фраза / сөйлем / мәтін) өңделген мәліметтер; в) Тақырыптық модельдеу нәтижелері; Жаңалықтарды әр түрлі критерийлер бойынша жіктеу нәтижелері (тоналдылық, саясаттану, әлеуметтік маңыздылық және т.б.)

HDFS (Hadoop Distributed File System) - есептеуіш кластердің түйіндері бойынша блоктық бөлінген ақпаратқа ағындық қолжетімділік мүмкіндігі бар үлкен көлемдегі файлдарды сақтауға арналған Hadoop үлестірілген файлдық жүйе [7], ол еркін аппараттық қамтамасыз етуден тұруы мүмкін [8]. Hadoop Distributed File System, кез келген файлдық жүйе сияқты-бұл ішкі каталогтар мен файлдар салынған каталогтардың иерархиясы [9].

Hadoop MapReduce негізгі тұжырымдамаларын келесідей тұжырымдауға болады:

- деректердің үлкен көлемін өңдеу/есептеу;
- ауқымдылығы;
- тапсырмаларды автоматты түрде параллельдеу;
- сенімсіз жабдықта жұмыс істеу;
- тапсырмаларды орындаудан бас тартуды автоматты түрде өңдеу.

Деректерді өңдеу:

Деректерді өңдеу үшін архитектураны әзірлеу кезінде келесі негізгі қажеттіліктер анықталды:

1) есептеулерді, оның ішінде бірнеше машиналарда параллельдеу мүмкіндігі;

2) деректерді өңдеу бойынша әртүрлі міндеттерді орындауды икемді жоспарлау мүмкіндігі;

3) міндеттерді нақты уақытта орындау мониторингінің мүмкіндігі, оның ішінде ерекшеліктер туралы жедел ақпарат беру;

4) қолданылатын құралдар мен технологиялардағы икемділік.

Суретте келесі ішкі жүйелер болады:

- Кіші жүйе - цифрлық объектілер мен коллекцияларға қол жеткізу үшін пайдаланушылық және әкімшілік WEB-интерфейстерді, сондай-ақ ашық халықаралық стандарттар негізінде басқа кіші жүйелермен интеграциялау интерфейстерін ұсынатын цифрлық объектілердің репозиторийі.

- Қызметкерлердің мақалалары, олардың конференцияларға қатысуы және зерттеу жобаларын орындау туралы ақпаратты қамтитын ағымдағы ғылыми-зерттеу ақпаратын басқарудың кіші жүйесі.

- Ішкі жүйе қолданушылар және әкімшілік интерфейстерді, сондай-ақ ашық халықаралық стандарттар негізінде басқа ішкі жүйелермен үйлесімділік интерфейстерін қамтитын болады.

- Apache Hadoop технологиясы негізінде таратылған ақпараттық ресурстарды біріктірудің ішкі жүйесі.

- Таратылған ақпараттық ресурстарға қол жеткізудің ішкі жүйесі технологияның негізі- Nginx, Django, Apache Tomcat.

Көрсетілген кіші жүйелер жиынтықта мыналарды қамтамасыз етуі тиіс:

- ақпараттық ресурстарды сәйкестендіру;

- қолданушыларды сәйкестендіру, аутентификациялау және авторизациялау;

- метадеректерді басқару;

- ақпараттық ресурстарды басқару;

- статистика жинау;

- сервистер мен ресурстардың қолжетімділігіне мониторинг жүргізу [10].

**Қорытынды.** Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, үлкен деректер көптеген ақпаратпен жұмыс істейді деп қорытынды жасауға болады.

Үлкен деректерді өңдеудің әмбебап әдістері жоқ, бірақ мәселені ішінара шешу үшін әртүрлі әдістерді қолдануға болады. Ғылыми-білім беру қызметін қолдауда үлкен деректерді сәтті қолдану жұмыс тиімділігін бірнеше есе арттырып, жаңа жобаларды құруға тиімді жолдарын пайдалануға болады. Қазіргі таңда үлкен деректерді өңдеу технологияларын дамыту өте ауқымды бағыт болып табылады.

Үлкен көлемдегі деректерді талдау жоғары өнімді есептеулерді жүзеге асырудың технологиялары мен құралдарын тартуды талап етеді. Мәселенің негізгі факторлары, ең алдымен, күрделілік, екіншіден, ақпараттық жинақтың физикалық көлемі. Деректердің үлкен көлемі ақпараттық ресурстарды қалыптастыру кезінде мәселелер туғызады. Үлкен деректер, бір жағынан, жаңа міндеттерді қоюды және шешуді анықтайды. Екінші жағынан, олар үйлесімдірілген және күрделі жүйелер мен технологиялардың дамуын анықтайды.

«Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант №АР08857179)».

**ӘДЕБИЕТТЕР**

- [1] Ibrahim Abaker Targio Hashem, Ibrar Yaqoob, Nor Badrul Anuar, Salimah Mokhtar, Abdullah Gani, Samee Ullah Khan. The rise of «big data» on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems* 47, 2015.-P. 98-115.
- [2] Иванов П.Д., Вампилова В.Ж. Технологии Big Data и их применение на современном промышленном предприятии // *Электронное научно-техническое издание «Инженерный журнал: наука и инновации»*. - М.: МГТУ. - 2014. - No 8 (32). - 10 с.
- [3] Essa YM, Attiya G, El Sayed A. Mobile agent based new framework for improving big data analysis. In: *Proceedings of the International Conference on Cloud Computing and Big Data*, 2013. - P. 381-386.
- [4] Wonner J, Grosjean J, Capobianco A, Bechmann D Starfish: a selection technique for dense virtual environments. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2012. - P. 101-104.
- [5] Егоров А.А., Чернышова А.В., Губенко Н.Е. Анализ средств защиты больших данных в распределенных системах // *Первая международная научно-практическая конференция Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2016)*. Донецк, 2016 г. – Сборник научных трудов. – ДонНТУ, Том 2, с. 28-33.
- [6] Allan M Zarembski Some Examples of Big Data in Railroad Engineering//*IEEE International Conference on Big Data*, 2014. - 1 5 p.
- [7] Жуков Л. Профессия Data Scientist: конференция «Большие данные в национальной экономике». - М., 2013. -20 с.
- [8] Baker, R. S. Educational data mining: An advance for intelligent systems in education. *IEEE Intelligent Systems*, 2014. 29 (3). P. 78–82.
- [9] Pat Nakamoto. BIG DATA: The revolution that is transforming our work, market and world. *Data Analysis / Kindle Edition*, 2013. P. 212.
- [10] Егоров А.А., Чернышова А.В. Исследование инструментов распределенной системы Hadoop // *Конференция Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2017)*. Донецк, 2017 г. – Сборник научных трудов. – ДонНТУ.

**REFERENCES**

- [1] Ibrahim Abaker Targio Hashem, Ibrar Yaqoob, Nor Badrul Anuar, Salimah Mokhtar, Abdullah Gani, Samee Ullah Khan. The rise of «big data» on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems* 47, 2015.-P. 98-115.
- [2] Ivanov P.D., Vampilova V.Zh. Tekhnologii Big Data i ikh primenenie na sovremennom promyshlennom predpriyatii // *Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie «Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii»*. - М.: MGTU. - 2014. - No 8 (32). - 10 s.
- [3] Essa YM, Attiya G, El Sayed A. Mobile agent based new framework for improving big data analysis. In: *Proceedings of the International Conference on Cloud Computing and Big Data*, 2013. - P. 381-386.
- [4] Wonner J, Grosjean J, Capobianco A, Bechmann D Starfish: a selection technique for dense virtual environments. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2012. - P. 101-104.
- [5] Egorov A.A., Chernyshova A.V., Gubenko N.E. Analiz sredstv zashchity bol'shikh dannykh v raspredelennykh sistemakh // *Pervaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Programmaya inzheneriya: metody i tekhnologii razrabotki informatsionno-vychislitel'nykh sistem (PIIVS-2016)*. Donetsk, 2016 g. – Sbornik nauchnykh trudov. – DonNTU, Tom 2, s. 28-33 .
- [6] Allan M Zarembski Some Examples of Big Data in Railroad Engineering//*IEEE International Conference on Big Data*, 2014. - 1 5 p.
- [7] Zhukov L. Professiya Data Scientist: konferentsiya «Bol'shie dannye v natsional'noi ekonomike». - М., 2013. -20 s.
- [8] Baker, R. S. Educational data mining: An advance for intelligent systems in education. *IEEE Intelligent Systems*, 2014. 29 (3). P. 78–82.
- [9] Pat Nakamoto. BIG DATA: The revolution that is transforming our work, market and world. *Data Analysis / Kindle Edition*, 2013. P. 212.
- [10] Egorov A.A., Chernyshova A.V. Issledovanie instrumentov raspredelennoi sistemy Hadoop // *Konferentsiya Sovremennye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii i nauchnykh issledovaniyakh (SITONI-2017)*. Donetsk, 2017 g. – Sbornik nauchnykh trudov. – DonNTU.

<sup>1</sup>С.К. Серикбаева\*, <sup>1</sup>Д.А. Тусупов, <sup>1,2</sup>М.А. Самбетбаева

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилев, Нур-Султан, Қазақстан

<sup>2</sup>Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: inf\_8585@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

**Аннотация.** Универсального методы обработки больших данных не существует, но есть возможность использование различных методов для частичного решение задачи. В нынешнее время разработка технологий обработки Больших данных является очень перспективным направлением. Внедрение технологии больших данных является новым шагом в научно-техническом развитии в различных сферах общества. Несмотря на то, что технология больших данных находится на начальном этапе развития, она достигла высоких показателей в сфере информационных технологий.

В статье рассмотрены методы и приемы работы с большими данными, возникающие проблемы и важность использования больших данных в распределенной информационной системе, архитектура больших данных, поддерживающая научно-образовательную деятельность распределенной информационной системы.

**Ключевые слова:** Big data, информационные технологии, распределенная информационная система, Hadoop, PostgreSQL, MapReduce.

<sup>1</sup>S. K. Serikbayeva\*, <sup>1</sup>J. A. Tussupov, <sup>1,2</sup>M. A. Sambetbayeva

<sup>1</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: inf\_8585@mail.ru

## BIG DATA PROCESSING TECHNOLOGY IN A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM

**Abstract.** Digital technologies exist in almost all areas of human life. The volume of data recorded in global warehouses increases every second, which means that the conditions for storing information change at the same rate, and new opportunities must appear to increase its volume

The introduction of big data technology is a new step in scientific and technical development in various sectors of society. Despite the fact that big data technology is at the initial stage of development, it has achieved high results in the field of Information Technology.

There are no universal methods for processing big data, but they allow you to use different methods to partially solve the problem. Successful use of Big Data Increases work efficiency several times. Currently, Big Data Processing is focused on the effectiveness of using new technologies.

The article discusses methods and approaches to working with big data, emerging complex problems and the importance of using big data in a distributed Information System, Functional Requirements for a distributed information system that supports scientific and educational activities, and the big data architecture that supports scientific and educational activities of a distributed information system.

**Keywords:** Big data Technology, Information Technology, distributed information system, Hadoop, PostgreSQL, MapReduce.

Б.А. Жакишев\*, Е.О. Килибаев, А.К. Алиева, А.К. Бияхметова, С.Е. Рахымбаева  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
\*e-mail: zedel\_hat@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ СЖИГАНИЯ В ТОПКАХ-УТИЛИЗАТОРАХ

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология утилизации отходов в специальных топках-утилизаторах, работа которой заключается в двухступенчатом сжигании низкокачественного топливного ресурса и вовлечение их в технологические операции коммунальных служб городов и мегаполисов, в зимний период года, когда необходимо убирать снежную массу с улиц. Технология процесса сжигания горюче-смазочных отходов предполагает полное сжигание и обеспечивает низкий уровень выбросов в атмосферу  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  с помощью специальных горелочных устройств, а также обеспечивающее горение, как жидкой фазы топлива, так и ее газо-воздушной смеси. Процесс, получаемый за счет пиролиза в горелочном устройстве, характеризуется тем, что горение низкосортного топлива и газификация горючих компонентов происходит раздельно. Результаты экспериментов процесса горения отработанных масел в специальной топке-утилизаторе показали, что в первой ступени температура на поверхности стального корпуса достигла  $T_1 = 550^\circ\text{C}$ , а во второй ступени  $T_2 = 900^\circ\text{C}$ . Определение значений температур проводилось методом сравнения принимаемого цвета каления характерные для стали.

**Ключевые слова:** утилизация отходов, топка-утилизатор, газификация горючих компонентов, стальной корпус, горелочное устройство, снегоплавильная машина.

**Введение.** Для теплоэнергетической отрасли приоритетным направлением в решении задач связанных с повышением эффективности использования энергоресурсов является особенно значимым. На современном этапе уровень оснащенности техническими устройствами и оборудованием в мире стремительно растет и прямо пропорционально этому растут и отходы горюче-смазочных материалов, выработавшие свои качественные свойства. Сегодня актуальной задачей является утилизация большого количества жидких углеродистых отходов: отработанные моторные и трансмиссионные масла, смазочные жидкости, нефтяные шламы, отходы нефтедобычи и нефтепереработки.

Из общей доли перечисленных отходов, значительная ее часть не пригодна для регенерации, а в тех странах, где вообще не существует регенеративных технологии, то тогда единственным рациональным выходом является утилизация их в качестве топлива для получения тепловой энергии в технологическом плане. Такой способ вовлечения в технологический оборот этих дешевых энергоносителей, требует так же неукоснительного обеспечения экологической безопасности и первую очередь низкого уровня выбросов в атмосферу  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$ . Необходимо отметить, что сжигание жидкого топлива не всегда обеспечивает максимальную полноту сгорания и соответственно выполнение рамок экологических норм при использовании низкосортных топлив. Основными проблемными характеристиками таких топлив можно отнести плохое воспламенение, выделение значительного количества сажи, в связи с чем, требуются специальные конструкции горелочных устройств, обеспечивающее стабильность работы и максимальное сгорание топлива без ущерба нормативов по вредным выбросам.

Объект исследования – жидкие углеродистые отходы.

Предметом исследования выступают горелочные устройства или топки-утилизаторы, обеспечивающие максимальное сжигание низкосортных углеродистых жидких отходов, для извлечения тепловой энергии и использования ее в технологических нуждах.

Цель исследования – вовлечение в технологический оборот вторичные энергетические ресурсы, в частности в технологической цепочке операции уборки снега в зимний период, для



климатических условий северного и центрального Казахстана. Наряду с этим разработана конструкция топочного устройства для утилизации углеродистых жидких отходов и генерация тепловой энергии для плавления снега, при соблюдении нормативных требований по вредным выбросам в окружающую среду.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ текущего состояния отходов углеродистых сырьевых ресурсов и степень их регенерации из существующих источников технической литературы;
- разработка топочного устройства для сжигания жидких углеродистых отходов и приспособление его в технологическом плане в снегоплавильной машине;
- определение температурных значений на теплообменных поверхностях конструкции топки в зонах горения жидкой и газо-воздушной фаз, методом сравнения цвета каления стали.

В работе сделана попытка дать оценку соответствия температурных значений имеющихся сведений о самовоспламенения жидких и газовых фаз. В результате экспериментальных исследований установлено и подтверждено существующее утверждение, что чем тяжелее горючий продукт по групповому составу, тем ниже температура воспламенения.

**Материалы и методы.** Методологическую и теоретическую основу работы составили труды зарубежных и казахстанских ученых в области сжигания жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара [1, 2].

Создание новых технологий и оборудования основывается на глубоком научном понимании закономерностей физико-химических процессов, определяющих характеристики сжигания жидких углеводородов в зависимости от их состава, динамических и тепловых условий, реализуемых в конкретных условиях и устройствах. Так, разработка перспективных горелочных устройств для сжигания жидких углеводородов требует изучения ряда взаимосвязанных процессов, таких как диспергирование топлива, формирование пространственной структуры двухфазного реагирующего потока, межфазный тепло- и массообмен, образование сажистых частиц, смесеобразование, воспламенение, газификация и выгорание топлива, производство продуктов сгорания (в том числе – токсичных компонентов). Эти процессы являются предметом многочисленных современных исследований, посвященных разработке научных основ и созданию методов интенсификации процессов тепло- и массообмена в многофазных реагирующих системах [1].

**Результаты и обсуждение.** Технической задачей использования жидких углеродистых отходов предлагается в снегоплавильной машине, которая является топливом для источника тепла или для топки-утилизатора [2].

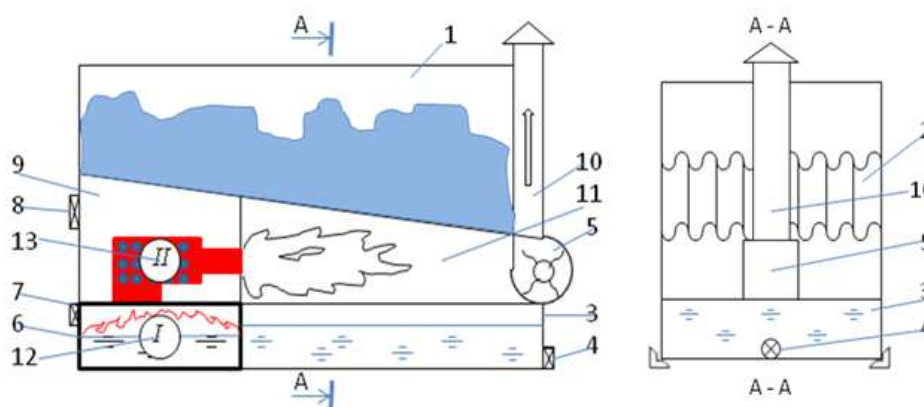
Решение указанной технической задачи достигается тем, что в предлагаемой снегоплавильной машине [2], содержащей ванну с решеткой в верхней части для приема и плавления снежной массы и отверстием для слива талой воды, отсек с заслонками для регулирования подачи воздуха и размещения источника тепла, топку-утилизатор отработанных масел с двухступенчатой камерой сжигания, дымосос встроенный в вытяжную трубу уходящих газов и камеру нагрева расположенный под дном ванны, что снижает стоимость установки и эксплуатационные затраты.

На рисунке 1 изображена схема предлагаемой снегоплавильной машины.

Снегоплавильная машина [2, 3] включает в себя ванну 1 с решеткой в верхней части для приема и плавления снежной массы (на схеме не показана) и отверстие для слива талой воды 4, отсек 9 размещения источника тепла с заслонками 7 и 8 для регулирования подачи воздуха, топку-утилизатор 6 отработанных масел двигателей внутреннего сгорания с двухступенчатой камерой горения (И II). Дымосос 5 встроенный в вытяжную трубу 10 уходящих газо-воздушных продуктов сгорания. Камеру нагрева 11 расположенную под дном ванны 2, камера 3 для талой воды, первую ступень горения 12 и вторую ступень горения 13.

Снегоплавильная машина работает следующим образом. Предварительно зоны первой и второй ступени горения 12 и 13 разогреваются электрическими митенами до требуемых температур, затем подключается спираль накаливания, с помощью которой воспламеняются

отработанное масло в первой ступени и продукты сгорания во второй ступени сжигания, открываются заслонки регулирования подачи воздуха в обе ступени. После розжига топки-утилизатора 6 включается дымосос 5, с помощью которого продукты горения второй ступени всасываются в камеру нагрева 11, которые начинают разогревать дно 2 ванны. Затем в ванну 1 загружается снег через приемную решетку, на которой остаются предметы, имеющие размер больше чем ее ячейки. Они удаляются оператором. Снег при контакте с горячим дном ванны 2 плавится и образовавшаяся при этом плавленная талая вода сразу же стекает по впадинам дна 2 ванны в камеру для талой воды 3. Использование наклонного дна в ванне увеличивает площадь его контакта со снегом, дает возможность перекачки талой воды самотеком в камеру для талой воды и повышает производительность установки. Отстоянная талая вода из камеры 3 через сливное отверстие 4 патрубков или рукав (на схеме не показаны) может сливаться, например, в канализацию или другие ёмкости.



**Рисунок 1.** Двухступенчатое сжигание жидких углеродистых отходов в топе-утилизаторе в снегоплавильной машине

Отслужившие свой срок жидкие углеродистые материалы относятся к техногенным отходам и одновременно являются дешевым углеводородным сырьем, подлежащим утилизации. Технология сжигания жидких углеродистых отходов отличается своей специфической особенностью и заключается в следующем: - необходимостью предварительной очистки от механических загрязнений; - разогрева в камере сгорания сжиганием ее самой, которая обеспечивает повышение текучести топлива, ее испарение и выделение парогазовой смеси; - особой конструкции самой камеры сгорания, обеспечивающее горение, как жидкой фазы топлива, так и ее парогазовой смеси.

В технической литературе имеются сведения о самовоспламенении жидких и газовых фаз различных видов топлив (табл. 1) и оно указывает, что эта температура зависит от нескольких факторов: 1) от фракционного состава; 2) от химического состава. Чем тяжелее горючие продукты по групповому составу, тем ниже температура воспламенения.

**Таблица 1. Температура самостоятельного воспламенения некоторых углеродистых материалов**

№	Наименование топлива	Температура, °С
1	Минеральные масла	315
2	Топливный бензин	510
3	Керосин	435
4	Дизельное топливо	336
5	Оксид углерода	610
6	Метан	650
7	Этан	510

Полное сгорание низкосортного топлива, как выработанные срок службы смазочные материалы, возможно только при его испарении или газификации. Методы газификации для различных котлов и печей на отработанных углеродистых жидкостях применяются в разнообразном исполнении. По этой причине все известные агрегаты подразделяются на два вида: К первому относятся котлы и печи, осуществляющие предварительную газификацию топлива. Они снабжаются горелками Бабингтона с наддувом. Ко второму относятся агрегаты, оборудованные испарителями, газифицирующими отработанную жидкую горючую смесь в процессе сгорания, такие как капельные и пиролизные.

В данной работе рассматривается процесс пиролиза, которая характеризуется тем, что горение низкосортного топлива и газификация горючих компонентов, называемые пиролизным газом, происходит раздельно. В соответствии с окрасом и визуальным сравнением с таблицей 2 температурных значений в зависимости от окраса, принимаемый металлический корпус самодельного топочного устройства, рисунок 2 из литературного источника [4] можно предположить, что температура в топочном устройстве камеры сжигания первой ступени  $T_1 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ , что соответствует тёмно-коричневому окрасу, а во второй ступени камеры  $T_2 = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ , которая соответствует ярко-красному окрасу, а в некоторых участках окрас соответствует жёлтому окрасу, а это в температурном значении равна  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

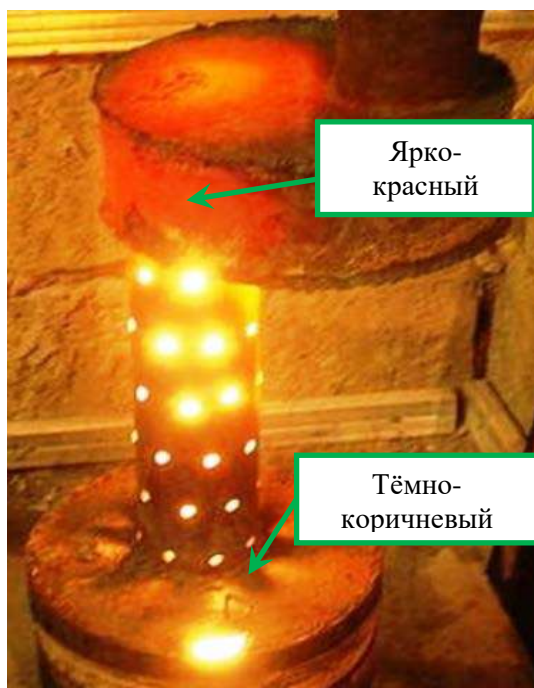


Рисунок 2. Топка-утилизатор

Таблица 2 – Зависимость цвета каления от температуры (перечислены цвета каления, характерные для стали)

Температура, $^\circ\text{C}$	Цвет каления	Цвет
550	тёмно-коричневый	
630	коричнево-красный	
680	тёмно-красный	
740	тёмно-вишневый	
770	вишнёвый	
800	ярко- или светло-вишнёвый	
850	ярко- или светло-красный	
900	ярко-красный	
950	оранжевый	
1000	жёлтый	
1100	ярко- или светло-жёлтый	
1200	жёлто-белый	
1300	белый	

**Заключение, выводы.** Из приведенных выше экспериментальных исследований можно утверждать, что при утилизации жидких углеродистых отходов, с учетом некоторых потерь, на теплообменных поверхностях температура может достигнуть до  $800\text{-}850 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при близком к идеальному условию, когда потери сведены к минимуму, возможно доведение температуры до  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Данные исследовательские работы проводятся в рамках научно-исследовательских работ магистерской диссертации.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Ануфриев И.С. Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара. /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/ Новосибирск-2019, 248с.

[2] Жакишев Б.А., Конысбекова Г.К., Тайбасаров Ж.К., Сакипов К.Е., Атыкшева А.В., Айтмагамбетова М.Б. Снегоплавильная машина. Патент №4024 от 31.05.2019г. на полезную модель Республики Казахстан.

[3] Жакишев Б.А., Тайбасаров Ж.К., Атыкшева А.В., Айтмагамбетова М.Б., Конысбекова Г.К./ Расчет производительности снегоплавильной машины и его разработка для климатических условий Казахстана / Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2019 - С. 433-436.

[4] Жакишев Б.А., Атыкшева А.В., Жумагулов М.Г., Имамбаев Н.С., Айтмагамбетова М.Б., Сакипов К.Е.// Расчет производительности и разработка снегоплавильной машины для климатических условий Казахстана / Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан №3 (73) – Алматы – 2019 – С. 105-110.

[5] Айтмагамбетова М.Б., Жакишев Б.А. / Увеличение тепловой мощности котельной Макинской птицефабрики / Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2021 - С. 262-264.

[6] Алиева А.К., Жакишев Б.А. / Қар еріту қондырғыларын олардың құрылымдық ерекшеліктерін ескере отырып қолдану / Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2021 - С. 265-269.

[7] Бияхметова А.К. / Амбарлы мұнайды кәдеге жарату бойынша әдістреді зерттеу және кешендерді әзірлеу / Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2021 - С. 286 -289.

[8] Жакишев Б.А., Айтмагамбетова М.Б., Копышева А.К. / Индукционный нагреватель жидкости / Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2021 - С. 335-339.

[9] Рахымбаева С.Е., Жакишев Б.А. / Нұр-Сұлтан қаласында энергия алу үшін қатты тұрмыстық қалдықтырдарды тиімді кешенді кәдеге жарату / Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции: "Актуальные проблемы транспорта и энергетики: Пути их инновационного решения" – г. Нур-Султан – 2021 - С. 408-412.

[10] <https://hot-hatch.ru/raznoe/temperatura-goreniya-otrabotannogo-masla-kakuyu-temperaturu-mozhno-poluchit-pri-szhiganii-otrabotki-termoportal-ru-2.html>

## REFERENCES

[1] Anufriev I.S. Eksperimental'noe issledovanie protsessov pri szhiganii zhidkikh uglevodorodov v gorelochnykh ustroystvakh s podachei peregretoго vodyanogo para. /Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk/ Novosibirsk-2019, 248s.

[2] Zhakishhev B.A., Konysbekova G.K., Taibasarov Zh.K., Sakipov K.E., Atyaksheva A.V., Aitmagambetova M.B. Snegoplavil'naya mashina. Patent №4024 ot 31.05.2019g. na poleznuyu model' Respubliki Kazakhstan.

[3] Zhakishhev B.A., Taibasarov Zh.K., Atyaksheva A.V., Aitmagambetova M.B., Konysbekova G.K./ Raschet proizvoditel'nosti snegoplavil'noi mashiny i ego razrabotka dlya klimaticheskikh uslovii Kazakhstana / Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2019 - S. 433-436.

[4] Zhakishhev B.A., Atyaksheva A.V., Zhumagulov M.G., Imambaev N.S., Aitmagambetova M.B., Sakipov K.E.// Raschet proizvoditel'nosti i razrabotka snegoplavil'noi mashiny dlya klimaticheskikh uslovii Kazakhstana / Vestnik Natsional'noi inzhenernoi akademii Respubliki Kazakhstan №3 (73) – Almaty – 2019 – S. 105-110.

[5] Aitmagambetova M.B., Zhakishhev B.A. / Uvelichenie teplovoi moshchnosti kotel'noi Makinskoi ptitsefabriki / Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2021 - S. 262-264.

[6] Alieva A.K., Zhakishhev B.A. / Kar eritu kondyrgylaryn olardyn kurylymдык ерекшеліктерін ескере отырып қолдану / Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2021 - S. 265-269.

[7] Biyakhmetova A.K. / Ambarly munaidy kadege zharatu boiynsha adistredi zertteu zhane keshenderdi azirleu / Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2021 - S. 286 -289.

[8] Zhakishhev B.A., Aitmagambetova M.B., Kopysheva A.K. / Induktsionnyi nagrevatel' zhidkosti / Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2021 - S. 335-339.

[9] Rakhymbaeva S.E., Zhakishhev B.A. / Nur-Sultan қаласында энергия алу үшін катты турмустан калдықтырданды тиімді кешенді кәдеге жарату / Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Aktual'nye problemy transporta i energetiki: Puti ikh innovatsionnogo resheniya" – g. Nur-Sultan – 2021 - S. 408-412.

[10] <https://hot-hatch.ru/raznoe/temperatura-goreniya-otrabotannogo-masla-kakuyu-temperaturu-mozhno-poluchit-pri-szhigani-otrabotki-termoportala-ru-2.html>

**Б.А. Жакишев\*, Е.О. Килибаев, А.К. Алиева, А.К. Бияхметова, С.Е. Рахымбаева**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

\*e-mail: zedel\_hat@mail.ru

### УТИЛИЗАТОР-ОТТЫҚТАРЫНДА ЖАҒУ ҮШІН СҰЙЫҚ КӨМІРТЕКТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

**Андатпа.** Мақалада төмен сапалы отын ресурсын екі сатылы жағу және оларды қалалар мен мегаполистердің коммуналдық қызметтерінің технологиялық операцияларына тарту болып табылатын арнайы утилизатор-оттықтарда қалдықтарды кәдеге жарату технологиясы қарастырылған. Жанар-жағармай қалдықтарын жағу процесінің технологиясы Толық жағуды көздейді және арнайы жанарғы құрылғылардың көмегімен  $\text{NO}_x$  және  $\text{CO}$  атмосферасына шығарындылардың төмен деңгейін қамтамасыз етеді, сондай-ақ отынның сұйық фазасының да, оның газ-ауа қоспасының да жануын қамтамасыз етеді. Қыздырғыш құрылғыдағы пиролиз есебінен алынатын процесс төмен сұрыпты отынның жануы және жанғыш компоненттердің газдандырылуы бөлек жүретіндігімен сипатталады. Арнайы кәдеге жарату пешінде пайдаланылған майларды жағу процесінің эксперименттерінің нәтижелері бірінші сатыда болат корпусының бетіндегі температура  $T_1 = 550^\circ\text{C}$ , ал екінші сатыда  $T_2 = 900^\circ\text{C}$  жеткенін көрсетті. Температура мәндерін анықтау болатқа тән қабылданған қыздыру түсін салыстыру арқылы жүргізілді.

**Негізгі сөздер:** қалдықтарды утилизациялау, өрт сөндіргіш, жанғыш компоненттерді газдандыру, болат корпусы, қыздырғыш құрылғы, қар балқыту машинасы.

**В.А. Zhakishhev\*, Е.О. Kilibayev, А.К. Aliyeva, А.К. Biyakhmetova, S.E. Rakhymbayeva**

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan

\*e-mail: zedel\_hat@mail.ru

### USE OF LIQUID CARBON WASTE FOR INCINERATION IN WASTE FURNACES

**Abstract.** The article considers the technology of utilization of waste in special furnaces, the waste heat, which is a two-stage combustion of low quality fuel resources and their involvement in technological operations of public utilities of towns and cities, in winter, when it is necessary to remove snow from the streets. The technology of the combustion process of fuel and lubricants waste assumes complete combustion and ensures low emissions of  $\text{NO}_x$  and  $\text{CO}$  with using special burners and also providing the combustion, the liquid phase fuel and the gas-air mixture. The process obtained by pyrolysis in the burner device is characterized by the fact that the gorenje low-grade fuel and gasification of combustible components occurs separately. The results of experiments on the combustion of waste oils in a special waste furnace showed that in the first stage the temperature on the surface of the steel body reached  $T_1 = 550^\circ\text{C}$ , and in the second stage  $T_2 = 900^\circ\text{C}$  gorenje. The determination of the temperature values was carried out by comparing the accepted color of heat characteristic of steel.

**Key words:** waste disposal, heat recovery furnace, gasification of combustible components, steel body, burner device, snow melting machine.

**M. Li\*, A. Kanazhanov, K. Shalbayev**  
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: marialeed.0204@gmail.com

## RECHARGEABLE BATTERIES. SOLID STATE ELECTRIC VEHICLE BATTERIES

**Abstract.** Most electric vehicles have a range of less than 300 miles, take more than an hour to recharge the battery, lose almost one-third of their cell capacity over 10 years, and pose a serious safety risk when handling flammable materials, resulting in an explosion. This article discusses the various types of electric car batteries, their operation, advantages and disadvantages. Solid-state batteries – the battery technology of the future, one of the most active areas of research of secondary batteries. The scientific community believes that lithium-ion batteries have reached their limit, solid-state batteries in recent years are seen as batteries that can inherit the state of lithium-ion batteries. The article presents the trend of introduction and widespread use of solid-state batteries in modern electric vehicles.

**Keywords:** battery, ecology, solid-state battery, li-ion battery.

**Introduction.** Electric vehicles appeared long before the introducing the first fuel engine, although they have recently become most popular. Currently, this type of vehicles is most widespread, though not everyone can afford it. Electric cars are not so common in Kazakhstan, but electric buses may already be found on the routes.

The wide demand is connected both with oil prices, and with maintaining the environment. It is a well-known fact that an electric vehicle is considered an environmentally-friendly transport that does not emit exhaust gases into the air. In addition, in the event of an RTA, an electric vehicle is more reliable than a car equipped with an ICE. Despite the fact that it has already been proven that electric vehicles also ignite, this happens once in a lifetime. Batteries were the source of ignition, mainly due to an accident, mechanical damage and a short circuit while recharging. Tesla developers are constantly upgrading the cars and perform gap analysis to improve and strengthen the battery compartment with new materials (aluminum and titanium).

At the moment the solid-state lithium batteries have already been invented, which do not contain liquids and are able to withstand high temperatures. Therefore it allows to minimize the risk of ignition.

ACC or accumulator storage battery is a direct current source. It usually consists of several rechargeable batteries and is intended for accumulation, storage and consumption of energy. Due to the reversibility of chemical procedures, namely the conversion of chemical energy into electrical one, the battery can be repeatedly charged and discharged.

The history of its creation originates in Italy, when Alessandro Volta experimentally created the first direct current source, later called the "Voltaic Pile". It was an incredible discovery when Volta has found that by lowering two metal plates made of copper and zinc into a container filled with acid, and by connecting them with a wire, a current could flow through the latter.

Rechargeable batteries find use in many industries. One can hardly imagine the modern world without the use of batteries. They are used in household appliances, motor cars and also serve as backup power sources.

**General.** ACC specification and its scope of application depend on both the electrode material and the electrolyte composition. There are more than 20 types of batteries, but the most common are the following: lead-acid, nickel-cadmium, nickel-salt, li-ion, nickel-metal-hydride, nickel-hydrogen, iron-nickel and silver-cadmium.

Each battery is optimized for various conditions and is intended to transfer a certain specific energy. Due to the use of various chemical elements for electrodes and electrolytes,

scientists are able to achieve the required specification of the battery for a particular scope of application.

A lead-acid battery is considered the most frequently used of all the above-mentioned. It has been invented away back in the 19th century by Gaston Plante. The name provides that the battery consists of lead and acid. It is tightly packed with lead and lead-oxide plates, which makes it heavier than other types of batteries. Unless a lead plate and a lead-oxide plate is put in sulfuric acid and connected to a light bulb using wires, the LED lights up when closing the circuit. The current flows from the lead-oxide cathode to the anode lead. The lead generates electrons which are then accepted by the lead oxide. This exchange procedure turns both plates into solid lead sulfate.

Commonly the battery either has a high energy density or power. The difference is that a battery with a high energy density may store a large amount of energy and lose it gradually. A high-power battery is designed to lose energy in a large amount quickly and immediately, for instance, to start a motor car.

However, a lead-acid battery is not very reliable to be used as a motor car battery. Unless the battery is fully discharged several times, it may be possibly destroyed. This is due to the baking by lead sulfate of the space between the plates inside the battery. This proves that the appropriate types of batteries are used depending on the application.

Thus, an electric vehicle should use li-ion batteries, since they have best performance. The li-ion battery has been invented away back in 1980. The design includes four elements, such as positively and negatively charged electrodes, a separator and a liquid electrolyte.

Battery specifications may be improved by the nano-structured materials: the cathode material is lithium-iron-phosphate. Its particles are small-sized, and permeated with channels of less than one nanometer, which allows to increase the rate of filling the material with lithium ions; the anode material is graphite with a layered structure, the lithium ions freely penetrate whereinto. Therefore the recharging time of the motor car is reduced.

Nevertheless, li-ion batteries are gradually taking a back seat, since the above-mentioned solid-state batteries have come to replace them. The battery creation has become a breakthrough in the field of batteries for electric vehicles.

The beginning was launched by the invention of Michael Zimmerman, working in the field of solid-state batteries. His invention allowed to increase the capacity of batteries, as well as make them safe and cobalt-free, despite the fact that the lack of the latter has logically made the battery explosive.

It was required to get rid of the liquid electrolyte. But before Zimmerman's invention noone could have successfully introduce a solid electrolyte for many years. Zimmerman has created a polyphenyl sulfide-based polymer fire-resistant material, which may carry electrons at a room temperature. The material itself may be machined, further it is strong enough and is able to withstand the effects of many chemicals.

The technology of solid-state lithium batteries uses a combination of lithium and sodium glass as a conductive material to replace the electrolyte of previous lithium batteries and significantly increase the energy density of lithium batteries, which is twice as large as that of li-ion batteries.

By 2030 the electric vehicles shall be mostly oriented towards the solid-state batteries, and li-ion batteries seize to be the main batteries for electric vehicles, despite the use in some electronic items.

When compared to standard li-ion batteries, the solid-state ones have the following four main advantages:

The first advantage is that it is light-weight. Following the use of the entire solid electrolyte, the corresponding li-ion battery material system is also changed. The fact is that there is no need to use a negative graphite electrode with intercalated lithium, but metal lithium

may be directly used as a negative electrode to significantly reduce the negative electrode material, and the amount of energy may significantly increase the electrode specific energy

The second advantage is that it is thin. Common li-ion batteries require separators and electrolytes, which make up almost 40% of the battery and 25% of its mass. Unless the solid electrolytes are replaced (mainly organic and inorganic ceramic materials), the distance between the anode and the cathode (filled with a diaphragm electrolyte by standard) may be reduced to 12 micrometers by any number of times, which shall significantly reduce the battery thickness.

The third advantage is that it has a flexibility prospect. Even fragile ceramic materials may be bent unless their thickness is only a millimeter or less, thus the material can become flexible. It significantly increases the flexibility of all solid-state batteries after they become thinner and lighter. Manufactured batteries may withstand hundreds to thousands of times of bending to ensure performance when proper packing procedure (not in a solid shell). There is no fading by default.

The fourth advantage is that it has a high-safety rate. Common lithium batteries may pose the following risks:

1) High currents may break through the diaphragm and cause a short circuit.

2) The electrolyte is the organic liquid, thus the oxidation and the scales formation occur at high temperature. The tendency to gas and combustion shall increase.

Any solid-state battery technology may directly solve the two above-mentioned issues.

However, the solid-state batteries still have to solve issues such as electrical conductivity, safety, stability and high cost.

In 2020 Tesla has produced a Quantum Scape solid-state battery with a huge capacity and charging speed. A solid-state battery is the very thing: a tightly compressed arrangement of solid materials, rather than the soft consistency which makes up a typical li-ion battery. Both the solid-state composition and the design present an electrochemical device that promise incredible results. There is little information about the material used, but one may suggest that it is made on a ceramic basis and uses four precursors.

The company also claims that the developers have eliminated all the issues related to the solid-state batteries. The cycle life was the one of such issues. Now the batteries retain more than 80% of their capacity after 800 cycles (386 thousand km).

Indeed, the result Tesla presented may be rightfully considered a large breakthrough in the field of batteries.

But not only Tesla has been working on the creation of solid-state batteries with high capacity and performance. In the spring of 2020, Samsung has presented its solid-state battery prototype.

Scientists have been working on the issues such as the cycle life and safety of the battery. They offered using a composite layer of silver and carbon for the anode. This allowed to increase the capacity, cycle life and overall safety of the solid-state battery prototype. The prototype has also proved to be 50% smaller than a li-ion battery in terms of dimensions.

This battery shall allow electric vehicles to drive up to 800 km without recharging, and the battery shall have more than 1000 cycles (charging/discharging).

**Conclusion.** The operation mode of a solid-state battery is the same as that of a li-ion battery, but a solid-state battery may be rightfully considered a new generation battery which replaces a liquid electrolyte with a solid one. It has a high resistance, therefore it shall never ignite or explode even in the event of a puncture. Experts report that the development of next-generation batteries, including fully solid-state ones, shall help to pave the way for the future market. Japan has formed a large-scale public-private consortium centered at Toyota and has initiated its commercializing for electric vehicle batteries.



#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Электронный ресурс <https://www.ixbt.com>
- [2] Исследования компании Boston Consulting Group.
- [3] Техническая документация и статьи Samsung.
- [4] Электронный ресурс <https://www.cnet.com>
- [5] М. Ли. Статья «Кондиционеры в современных электромобилях», Алматы, КазННТУ, 2020г.
- [6] Электронный ресурс <https://www.theguru.co.kr/news/>
- [7] Liu, B.; Zhang, J.-G.; Xu, W. Advancing Lithium Metal Batteries. Joule 2018, 2, 840.
- [8] Schmich, R.; Wagner, R.; Höppl, G.; Placke, T.; Winter, M. "Performance and cost of materials for Lithium-based rechargeable automotive batteries" 2018.

#### REFERENCES

- [1] Elektronnyi resurs <https://www.ixbt.com>
- [2] Issledovaniya kompanii Boston Consulting Group.
- [3] Tekhnicheskaya dokumentatsiya i stat'i Samsung.
- [4] Elektronnyi resurs <https://www.cnet.com>
- [5] M. Li. Stat'ya «Konditsionery v sovremennykh elektromobilyakh», Almaty, KazNITU, 2020g.
- [6] Elektronnyi resurs <https://www.theguru.co.kr/news/>
- [7] Liu, B.; Zhang, J.-G.; Xu, W. Advancing Lithium Metal Batteries. Joule 2018, 2, 840.
- [8] Schmich, R.; Wagner, R.; Höppl, G.; Placke, T.; Winter, M. "Performance and cost of materials for Lithium-based rechargeable automotive batteries" 2018.

**М. Ли\*, А. Канажанов, К. Шалбаев**

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: marialeed.0204@gmail.com

#### АККУМУЛЯТОРЛЫҚ БАТАРЕЯЛАР.

#### ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДЕРДІҢ ҚАТТЫ ДЕНЕЛІ АККУМУЛЯТОРЛЫҚ БАТАРЕЯЛАРЫ

**Андатпа.** Көптеген электромобильдердің жұмыс істеу қашықтығы 300 мильден аспайды, аккумуляторлық батареяны қайта қуаттауға бір сағаттан астам уақыт кетеді, олар 10 жылдың ішінде элементтер сыйымдылығының үштен бірін жоғалтады және жарылысқа алып келуі мүмкін жеңіл жанатын материалдармен жұмыс істегенде қауіпсіздікке қауіп төндіруі мүмкін. Мақалада электромобильдердің түрлі аккумулятор түрлері, олардың жұмысы, артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылған. Қатты денелі батареялар – келешектегі аккумуляторлық технология, қайталама батареяларды зерттеудегі белсенді бағыттардың бірі. Ғылыми қоғамның пікірінше, литий-ион батареясы өзінің шегіне жетті, қатты денелі батареялар соңғы жылдары литий-ион батареяларының жалғасы ретінде қарастырылуда. Заманауи электромобильге қатты денелі батареяларды ендіру мен кеңінен пайдалану тенденциясы қарастырылады.

**Негізгі сөздер:** батарея, экология, қатты денелі батарея, литий-ион батареясы.

**\*М.В. Ли, А.Е. Канажанов, К.К. Шалбаев**

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: marialeed.0204@gmail.com

#### АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

**Аннотация.** Большинство электромобилей имеют дальность действия менее 300 миль, на перезарядку аккумуляторной батареи уходит более часа, они теряют почти одну треть своей

емкости элементов в течение 10 лет и представляют серьезную угрозу безопасности при работе с легковоспламеняющимися материалами, что приводит к взрыву. В данной статье рассмотрены различные типы аккумуляторов электромобилей, их работа, преимущества и недостатки. Твердотельные батареи – аккумуляторная технология будущего, одно из самых активных направлений исследований вторичных батарей. Научное сообщество считает, что литий-ионные батареи достигли своего предела, твердотельные батареи в последние годы рассматриваются как батареи, которые могут унаследовать состояние литий-ионных батарей. Представлена тенденция внедрения и широкого использования твердотельных батарей в современном электромобиле.

**Ключевые слова:** батарея, экология, твердотельная батарея, литий-ионные батареи.

**Е.М. Нурпеисов\***

Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

\*e-mail:qwerty.abc.1.1.1991@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ PROGRESSIVE WEB APPLICATION В СОВРЕМЕННОЙ WEB РАЗРАБОТКЕ

**Аннотация.** В данной статье исследуется технология веб-разработки Progressive Web Application. Также объясняется, что это за технология и ее назначение. В статье также сравниваются прогрессивные веб-приложения с другими тесно связанными с ними веб-технологиями, такими как адаптивные веб-сайты и нативные приложения. Это подчеркивает наиболее важные различия и сходства между ними. Кроме того, в статье обсуждаются преимущества, а также возможные ограничения этой технологии.

Прогрессивные веб-приложения, или PWA, - это приложения, созданные с использованием веб-технологий, таких как HTML, CSS и JavaScript. Но они имеют ощущение и функциональность настоящего нативного приложения. Нативное приложение - это программное приложение, созданное на определенном языке программирования для конкретной платформы устройства - iOS или Android. Благодаря современным технологиям практически любой сайт можно превратить в PWA. Это означает, что вы можете быстро создать PWA по сравнению с нативным приложением, которое довольно сложно разработать.

В последнее время PWA набирают популярность. Многие сайты крупных компаний являются PWA - например, Twitter, одну из самых распространенных платформ социальных сетей.

**Ключевые слова:** PWA, progressive web application, архитектура, web, нативные приложения, адаптивный веб-сайт, приложение, iOS, Android.

**Введение.** Данное исследование считается актуальным, потому что сегодня веб-сайт является неотъемлемым компонентом любого бизнеса, и для того, чтобы иметь возможность конкурировать, компаниям следует рассмотреть возможность включения последних достижений в веб-разработку в свое присутствие в Интернете, чтобы сделать взаимодействие с пользователем максимально удобным. Одно из таких достижений известно, как Progressive Web App, которое за последние пару лет приобрело некоторую популярность. В наши дни компании часто нанимают веб-разработчиков чтобы создать веб-сайт, поддерживающий функциональность PWA, и поэтому овладение данной технологией становится важным навыком для веб-разработчиков.

За основу текущей научной статьи взята книга автора Blogdyk G. «Progressive Web Applications». В своей книге он подробно описывает что такое PWA и как её использовать.

**Методы исследования.** Методами исследования используемые в данной научной статье – проведение анализа и исследования технологии PWA с точки зрения разработчика программного обеспечения. В настоящее время эта технология широко обсуждается в сообществе веб-разработчиков. Некоторые говорят, что создавать и использовать PWA не обязательно, потому что существующих веб-технологий уже достаточно для создания веб-сайтов с такими же возможностями. Например, они утверждают, что создания адаптивного веб-сайта или нативного приложения достаточно, чтобы избежать использования PWA. В то время как другие утверждают, что вышеупомянутым технологиям не хватает функциональности, доступной в PWA. Однако важно дать некоторое представление о том, что такое PWA, адаптивные веб-сайты и нативные приложения, прежде чем углубляться в какие-либо из этих аргументов.

**PWA.** Цель PWA - предоставить вам тот же пользовательский интерфейс, что и собственное мобильное приложение. PWA не являются веб-сайтами в традиционном смысле, но тем не менее они являются веб-сайтами.

Для создания PWA используются следующие технологии:

1. HTML5, CSS3, JavaScript используются для создания пользовательского интерфейса, который является статической частью PWA. Этот пользовательский интерфейс, известный как оболочка приложения, кэшируется на мобильном устройстве пользователя, поэтому его можно загружать без каких-либо задержек, которые могут иметь место из-за плохого сетевого подключения.

2. Клиентская сторона использует вызовы веб-сервисов для загрузки и рендеринга контента точно так же, как это делается в нативных приложениях. Это помогает избежать классического сценария, в котором при выполнении каждого запроса пользовательский интерфейс и данные объединяются на стороне сервера и сразу отправляются клиенту.

3. Service-Worker – одна из важнейших технологий, из которых состоит PWA. Service-Worker – это код JavaScript, который запускается браузером в фоновом режиме. Этот код не зависит от веб-страницы, которая дает доступ к функциям, для которых не требуется веб-страница или взаимодействие с пользователем.

4. Для разработки PWA можно использовать такие фреймворки, как Angular, React или Vue. У этих фреймворков есть встроенные сервис-воркеры, поэтому нет необходимости перестраивать их для каждой PWA.

На рисунке 1 проиллюстрирована архитектура PWA.

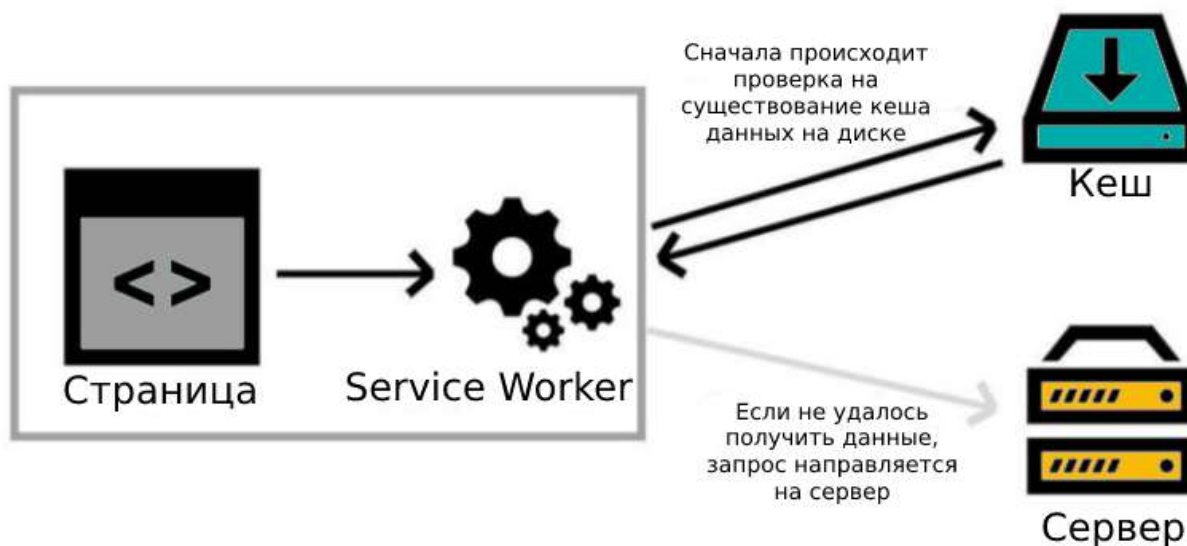


Рисунок 1. Архитектура PWA

**Адаптивные веб-сайты.** Адаптивный веб-дизайн – это создание веб-сайтов, которые вписываются в экран любого размера, будь то планшет или мобильный телефон. В наши дни вряд ли можно найти профессиональный сайт, не отвечающий этому требованию, и это считается обязательным. Фактически, большинство пользователей не проводят много времени на веб-сайтах, размер которых не соответствует размеру экрана их устройства.

Чтобы сделать веб-сайт адаптивным, существует набор часто используемых инструментов, таких как медиа-запросы CSS, гибкие макеты и сетки, а также изображения. Когда пользователь переключается со своего ноутбука на смартфон, веб-сайт автоматически подстраивается под размер этого устройства.

**Нативные приложения.** Нативные приложения созданы для конкретного устройства и могут быть запущены с помощью значков на главном экране устройства. Обычно они загружаются из магазина приложений и устанавливаются на устройство. Наиболее широко используемые магазины приложений - это Apple App Store и Google Play. Одной из основных характеристик нативного приложения является то, что оно может использовать все функции, доступные на устройстве. Например, он может использовать GPS устройства, камеру, звук и

многое другое. Кроме того, нативное приложение может использовать систему уведомлений устройства.

**Результаты исследования.** Результатами исследования является понимание технологии PWA и её разницы между адаптивными веб-сайтами и нативными приложениями, а также рассказать о преимуществах и недостатках данной технологии.

**Разница между PWA и адаптивными веб-сайтами.** Основное различие между PWA и адаптивными веб-сайтами заключается в функциональности, а в пользовательском интерфейсе нет особой разницы. PWA имеет веб-страницы, к которым можно получить доступ через URL-адрес, как и любой другой веб-сайт. Однако PWA обеспечивает функциональность, которая больше характерна для нативного приложения, и этого не хватает адаптивному веб-сайту.

Пользователи могут персонализировать PWA в соответствии со своими потребностями. Например, они могут включить push-уведомления, доступ к камере и даже добавить PWA на главные экраны своих устройств так же, как они добавляют нативные приложения.

**Разница между PWA и нативными приложениями.** Одно из основных различий между ними заключается в том, что нативные приложения зависят от платформы, то есть их можно запускать только в той операционной системе, для которой они были разработаны. Они сильно зависят от инструментов разработчика, доступных в операционной системе, чтобы пользователи могли воспользоваться их функциональными возможностями.

PWA в основном зависят от браузера, через который к ним можно получить доступ. Их не нужно разрабатывать для конкретной платформы, поскольку их можно запускать на любом современном устройстве с браузером.

Во многих отношениях они действуют как нативные приложения, но не контролируют оборудование устройства.

**Преимущества PWA.** PWA предлагают ряд преимуществ, от которых предприятия могут получить большую выгоду. Некоторые из основных преимуществ будут описаны ниже.

**Экономически эффективные.** Компании могут сократить расходы, разработав PWA для своего присутствия в Интернете, потому что нет необходимости разрабатывать отдельные приложения для Android, iOS или любой другой операционной системы. Кроме того, PWA также не требуют постоянного обновления, что также может сэкономить деньги.

**Оптимизирован для SEO.** Как и в случае с традиционными веб-сайтами, содержимое PWA отображается в результатах поиска, что способствует оптимизации поисковых систем. Используя инструменты, предоставляемые Google, можно проверить рейтинг PWA на странице результатов поиска.

**Не зависит от магазинов приложений.** Чтобы найти PWA, используется поисковая система, или она может быть предложена через страницу в социальных сетях или любой другой канал. Дело в том, что PWA не зависят от магазинов приложений.

**Требуется меньший объем данных.** PWA не требуют использования такого количества данных, как обычные веб-сайты, что означает, что они имеют гораздо лучшую производительность.

**Ограничения PWA.** Функциональность PWA требует больше времени и усилий для разработки. Разработка PWA означает, что необходимо разработать обычный веб-сайт и добавить к нему функциональность PWA. Это означает, что веб-разработчики должны уделять больше времени и работать над этими дополнительными функциями. Кроме того, эти функции еще не стандартизированы, что означает, что это может вызвать некоторые проблемы при попытке разработать MVP в ограниченные временные рамки.

**Отсутствие поддержки в старых браузерах.** Что касается PWA, они в основном хорошо работают с современными браузерами, а старые браузеры не имеют особой поддержки. Некоторые компании по-прежнему используют устаревшее программное обеспечение, и обновление до нового программного обеспечения - сложный процесс, требующий много работы, времени и денег.

Ограниченная поддержка iOS. Хотя PWA поддерживаются iOS (Safari), пока эта поддержка не так хороша, как то, что доступно через браузеры на Android или любом другом крупном браузере. Конечно, это не означает, что PWA плохо работают на iOS, но их функциональность несколько ограничена. Например, пока не поддерживаются push-уведомления.

Отсутствует в магазинах приложений. Отсутствие зависимости от магазинов приложений упоминается выше как одно из преимуществ, но также может быть ограничением в другом контексте. Отсутствие PWA в этих хранилищах может привести к их делегитимизации. Магазины приложений служат своего рода социальным доказательством для приложений, которое достигается с помощью отзывов. Кроме того, они могут каталогизировать приложения и предоставлять пользователям наиболее релевантные приложения в соответствии с их поиском. Большинство пользователей ищут нужные приложения прямо в этих магазинах приложений, и из-за этого компания может упустить возможность охватить часть своей целевой аудитории, если у них будет PWA вместо нативного приложения. Таким образом, отсутствие в магазинах приложений может быть недостатком при некоторых обстоятельствах.

**Обсуждение.** В данной статье показано, что PWA имеют множество преимуществ, что делает их хорошим вариантом для многих предприятий. Они могут быть более рентабельными по сравнению с другими решениями, и вполне возможно, что они останутся здесь надолго. Однако тот факт, что они не существуют слишком долго по сравнению с другими хорошо зарекомендовавшими себя технологиями, которые были упомянуты выше, затрудняет их полное использование. Поскольку нативные приложения существуют относительно давно, разработчики программного обеспечения более опытны в этой области и, возможно, смогут быстрее выпустить продукт. Нет гарантии, что PWA станет менее дорогим вариантом, пока он не получит такой же поддержки, как другие веб-технологии. Таким образом, из-за этих ограничений PWA, возможно, еще не лучшее решение для некоторых компаний, но они могут стать одним из них в ближайшее время.

Ясно, что PWA имеют большой потенциал стать бесценным инструментом в веб-разработке, хотя они еще не получили широкого распространения в компаниях, что может показаться необычным для некоторых людей, учитывая преимущества этой технологии. Сложно сказать, могут ли PWA заменить нативные приложения и адаптивные веб-сайты или нет. Некоторым компаниям может быть лучше иметь нативное приложение.

Однако, поскольку пользователи продолжают сталкиваться с PWA во время серфинга в Интернете через свои браузеры, они могут привыкнуть к этому собственному пользовательскому интерфейсу, похожему на приложение, который им доступен без необходимости устанавливать что-либо на свои устройства. В лучшем случае пользователи будут переходить в магазины приложений за определенными приложениями, которые, вероятно, должны остаться «родными». Например, было бы лучше, чтобы приложения, связанные с играми, обменом сообщениями, социальными сетями и развлечениями, оставались «родными». Для других действий, связанных с Интернетом, пользователи будут использовать PWA.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Blokdyk G. // «Progressive Web Applications» - полное руководство. Изд-во: Emereo Pty Limited. – С. 48. – 2020.
- [2] Кольце Дж., Баклер С., Зейтц С., Браун М., Елисеев П., Мардан А., Грин Д. М. и Рометти Дж. // «Современный JavaScript». Изд-во: Sitepoint. С.117 – 2020.
- [3] Льюис С. и Данн М. // «Нативная мобильная разработка: перекрестная ссылка для iOS и Android». Изд-во: O'Reilly Media. С.87 – 2020.
- [4] Фраин Б. // «Адаптивный веб-дизайн с помощью HTML5 и CSS: разрабатывайте ориентированные на будущее адаптивные веб-сайты, используя новейшие методы HTML5 и CSS». Изд-во: Pakt Publishing Ltd. С. 54 – 2020.

[5] Чивукула С., Искандар А. // «Веб-разработка с помощью Angular и Bootstrap: воспользуйтесь адаптивным веб-дизайном и создавайте адаптивные веб-приложения на Angular». Изд-во: Pakt Publishing Ltd. С. 117 – 2019.

[6] И. Малаволта, К. Чиннаппан, Л. Джасмонтас, С. Гупта // «Оценка влияния кэширования на энергопотребление и производительность прогрессивных веб-приложений». Изд-во: Association for Computing Machinery. С.120 – 2020.

[7] Ади, Л., Акбар, Р. Дж., И Хотима, В. Н. // Прогрессивные веб-приложения. Изд-во: Teknik ITS. С. 58. – 2018.

[8] Н. Рахмавати, Х. Мульоно // «Framework Laravel». Изд-во: Alex Media. С.147. 2019.

[9] Курниаван А. // «Прогрессивное веб-приложение». Изд-во: Evolusi. С. 67. – 2020.

[10] Дж. Дермаван, С. Хартини // «Сравнение PWA с другими технологиями». Изд-во: Paradigma. С. 30. – 2020.

#### REFERENCES

[1] Blokdyk G. // "Progressive Web Applications" - the complete guide. Publishing house: Emereo Pty Limited. - P. 48. – 2020.

[2] Ring J., Buckler S., Seitz S., Brown M., Eliseev P., Mardan A., Green D. M. and Rometty J. // Modern JavaScript. Publishing house: Sitepoint. Pp. 117 - 2020.

[3] Lewis S. and Dunn M. // Native Mobile Development: Cross-Reference for iOS and Android. Publishing house: O'Reilly Media. P.87 - 2020.

[4] Frain B. // "Responsive Web Design with HTML5 and CSS: Design Future-Oriented Responsive Web Sites Using the Latest HTML5 and CSS Techniques." Publishing house: Pakt Publishing Ltd. P. 54 - 2020.

[5] Chivukula S., Iskandar A. // "Web Development with Angular and Bootstrap: Use Responsive Web Design and Build Responsive Web Applications with Angular". Publishing house: Pakt Publishing Ltd. P. 117 - 2019.

[6] I. Malavolta, K. Chinnappan, L. Jasmontas, S. Gupta // Evaluating the Impact of Caching on Power Consumption and Performance of Progressive Web Applications. Publisher: Association for Computing Machinery. Pp. 120 - 2020.

[7] Adi, L., Akbar, R.J., I Hotima, V.N. // Progressive web applications. Publishing house: Teknik ITS. S. 58. - 2018.

[8] N. Rahmavati, H. Muliono // "Framework Laravel". Publishing house: Alex Media. P.147. 2019.

[9] Kurniawan A. // "Progressive Web Application". Publishing house: Evolusi. P. 67. - 2020.

[10] J. Dermawan, S. Khartini // "Comparison of PWA with other technologies." Publishing house: Paradigma. S. 30 .- 2020.

**Е.М.Нурпеисов\***

Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail:qwerty.abc.1.1.1991@gmail.com

#### ЗАМАНАУИ WEB ӨЗІРЛЕУДЕ PROGRESSIVE WEB APPLICATION РӨЛІН ПАЙДАЛАҢУ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада Progressive Web Application веб-өзірлеу технологиясы зерттеледі. Бұл қандай технология және оның мақсаты түсіндіріледі. Мақалада сонымен қатар прогрессивті веб-қосымшалар жауап беретін веб-сайттар мен нативті қосымшалар сияқты басқа да веб-технологиялармен салыстырылады. Бұл олардың арасындағы ең маңызды айырмашылықтар мен ұқсастықтарды көрсетеді. Сонымен қатар, мақалада осы технологияның артықшылықтары мен мүмкін шектеулері талқыланады.

Прогрессивті веб-қосымшалар немесе PWA - HTML, CSS және JavaScript сияқты веб-технологияларды қолдана отырып жасалған қосымшалар. Бірақ олар шынайы нативті қосымшаның сезімі мен функционалдығына ие. Нативті қосымша - бұл құрылғының белгілі бір платформасы - IOS немесе Android үшін арнайы бір бағдарламалау тілінде жасалған бағдарламалық қолданба. Заманауи технологиялардың арқасында кез-келген сайтты PWA-ға айналдыруға болады. Бұл дегеніміз, сіз PWA-ны өте қиын туындайтын нативті қосымшамен салыстырғанда тез жасай аласыз.

Жақында PWA танымал бола бастады. Ірі компаниялардың көптеген сайттары PWA болып табылады - мысалы, Twitter, ең көп таралған әлеуметтік медиа платформалардың бірі.

**Негізгі сөздер:** PWA, прогрессивті веб-қосымшалар, сәулет, веб, нативті қосымшалар, жауап беретін веб-сайт, қосымша, iOS, Android.

**Ү.М.Нурпеісов\***

Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan

\*e-mail:qwerty.abc.1.1.1991@gmail.com

## **STUDYING THE ROLE OF PROGRESSIVE WEB APPLICATION IN MODERN WEB DEVELOPMENT**

**Annotation.** This article explores the Progressive Web Application web development technology. It also explains what this technology is and its purpose. The paper also compares progressive web applications with other closely related web technologies such as adaptive websites and native applications. This highlights the most important differences and similarities between them. In addition, the paper discusses the benefits as well as possible limitations of this technology.

Progressive web applications, or PWAs, are applications built using web technologies such as HTML, CSS and JavaScript. But they have the feel and functionality of a true native application. A native app is a software application created in a specific programming language for a specific device platform - iOS or Android. Thanks to modern technology, almost any website can be turned into a PWA. This means that you can quickly create a PWA compared to a native app, which is quite difficult to develop.

PWAs have been gaining popularity lately. Many websites of large companies are PWAs - for example Twitter, one of the most common social networking platforms.

**Keywords:** PWA, progressive web application, architecture, web, native application, adaptive website, application, iOS, Android.



## МАЗМҰНЫ

### Жер туралы ғылымдар

<i>Абетов А.Е., Құдайбергенова С.С., Сидоров В.А.</i> КӨМІРСУТЕГІ КЕНОРЫНДАРЫНДА ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНДАР ҚҰРУ ЖӘНЕ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖҮРГІЗУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ.....	3
<i>Алпысбай М.А., Гаппаров А.З.</i> SENTINEL-2 ҒАРЫШТЫҚ СУРЕТТЕРІН ПАЙДАЛАНЫП АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫН БАҚЫЛАУ.....	14
<i>Нұрсұлтанова С.Г., Ерболат А.Б.</i> ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ РЕЖИМДЕ АРЫСҚҰМ ОЙЫСЫМЫНДАҒЫ МҰНАЙ-ГАЗ КЕШЕНДЕРІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ.....	22
<i>Якупова Д.Б., Берлигужин М.Т.</i> ҚАЗАҚСТАННЫҢ ФАНОРОЗОЙ ДӘУІРІНДЕГІ ОМЫРТҚАЛЫЛАРДЫҢ ҚАЗБА ҚАЛДЫҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ ТАРИХЫ.....	30
<i>Койшиев Т., Бекжан З., Ерік А.</i> ШАҒЫН ГЭС ОРНАЛАСТЫРУ СХЕМАСЫНЫҢ КАРТАСЫН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТТІ ГИДРОРЕСУРСТАРДЫ БАҒАЛАУ.....	36
<i>Әлжігітова М.М., Заппаров М.Р., Мирлас В.М.</i> АЛАКӨЛ КӨЛІНІҢ ЖАЙ-КҮЙНЕ АНТРОПОГЕНДІК ҚЫЗМЕТТІҢ ӨСЕРІ.....	44
<i>Аукажиева Ж.М., Даркенбаева А.Б.</i> ЛАЗЕРЛІК СКАНЕРЛЕУДІҢ АНЫҚТАМАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	52

### Физика-математика ғылымдары

<i>Сыздықова А.М., Шайхова Г.Н., Кутум Б.Б.</i> Т-СИММЕТРИЯЛЫ ЛОКАЛЬДЫ ЕМЕС КОМПЛЕКСТІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН КОРТЕВЕГ-ДЕ ФРИЗ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІ ҮШІН ДАРБУ ТҮРЛЕНДІРУІ.....	58
<i>Тұрысбекова Ү.Қ., Тургинбаева А.С., Алтынбек С.А., Мерейхан Л.</i> КЕЛТІРІЛМЕЙТІН КӨПМҮШЕЛІКТЕРДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АҚЫРЛЫ ӨРІСТЕР ТЕОРИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ХЕШ-ФУНКЦИЯЛАРДЫ ҚҰРУ.....	66
<i>Убаев Ж.К., Шункеев К. Ш.</i> КСІ-Na КРИСТАЛЫНЫҢ НАТРИЙ МАҢЫНДАҒЫ ЭКСИТОНДАРДЫ ОПТИКАЛЫҚ ӨНДІРУ ЖӘНЕ РЕКОМБИНАЦИЯЛЫҚ ЖИНАҚТАУ.....	77
<i>Искакова А.Қ., Байсалова М.Ж.</i> ИНТЕГРАЛДЫҚ ЕСЕПТЕУДІҢ ЕКІ ТАРМАҒЫ.....	85
<i>Ауельбекова Д.О., Амантаева А.Е., Хохлов А.А.</i> ТҰТЫЛМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДЫ МОДЕЛЬДЕУ 2MASS J02253615+2805508.....	92
<i>Сарманбетов С.А., Максұтова А.А., Сағидолда Е., Жексебай Д.М., Қожағұлов Е.Т.</i> МОДУЛЯЦИЯЛАНҒАН РАДИОСИГНАЛДАРДЫ ҮЙІРТКІЛІ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ ЖІКТЕУ.....	98
<i>Панченко П.В.</i> ЭНЕРГЕТИКАДА ҚОЛДАНЫЛУҒА АРНАЛҒАН LI ЛЕГИРЛЕНГЕН ГРАФЕН НЕГІЗІНДЕГІ НАНОҚҰРЫЛЫМДАР.....	106
<i>Хайруллин Е.М., Тулешева Г.А., Шакуликова А.Т.</i> ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТТА ҮШІНШІ РЕТТІ НОРМАЛЬ ТУЫНДЫЛАРЫ БАР ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССА АЛМАСУ ТЕНДЕУЛЕРІНІҢ БІР ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕБІ.....	113

### Химия-металлургия ғылымдары

<i>Ермекова А.С., Тілеуберді Е., Досжанов Е.О., Кошикэнь В.</i> МҰНАЙБИТУМДЫ ЖЫНЫСТАРДЫҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ.....	120
<i>Баталова М.С., Алтыасбаева Б.Е., Коробова Н.Е.</i> НАНОКЕУЕКТІ АЛЮМИНИЙ ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН АҚМ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ.....	127
<i>Макашева А.М., Бекбаева Л.А.</i> ФРЕНКЕЛЬ-АНДРАДЕ МОДЕЛІМЕН САЛЫСТЫРҒАНДАҒЫ ҚОРҒАСЫН-ҚАЛАЙЫ ҚОРЫТПАСЫ ТҰТҚЫРЛЫҒЫНЫҢ КЛАСТЕРЛІ-АССОЦИАТТЫҚ МОДЕЛІ.....	134

<i>Ибраева Г.М., Сукуров Б.М.</i> Al-Co ЖҮЙЕСІНДЕГІ РЕАКЦИЯ ЖӘНЕ ДИФФУЗИЯ АЙМАҒЫНЫҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	146
<i>Нақан Ұлантай, Толқын Балғын, Е.И. Кульдеев, Елигбаева Г.Ж., Адиканова Д.Б., Нурсұлтанов М.Е., Шаймардан Е.</i> ТЕРМОСЕЗІМТАЛ ГИДРОФИЛЬДІ СОПОЛИМЕРЛЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ СИПАТТАМАСЫ.....	152
<i>Қадір М.Ф., Нұрман Н.Б., Смирнов В.Ю.</i> ТИТАН ЖӘНЕ АЛЮМИНИЙ ОКСИДТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН НАНОКЕУЕКТІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	158
<i>Нурғали Н.З., Сариев О.Р., Алмагамбетов М.С., Досекенов М.С., Келаманов Б.С., Тажиев Е.Б.</i> Cr-Fe ЕКІЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ БІРНҰСҚАЛЫҚ ФАЗАЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕҢДІК СЫЗЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ.....	166
<i>Аубакиров Д. Р., Исагулов А. З., Қуликов В. Ю., Султангазиев Р. Б., Толукпаев Б. Ж.</i> СОҚҚЫ ЖӘНЕ ТҮРПІЛІК БЕРКІТКІТІҢ ОПТИМАЛДЫ КӨРСЕТКІШТЕРІҢ ҮЙЛЕСТІРЕТІҢ ҚҰЮ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ҚОРЫТПАЛАРЫҢ ТАҢДАУ.....	175

### Техникалық ғылымдар

<i>Аскарбеков Э.Б., Тебенхина Н., Әміржанов Ә., Серік А.</i> ЭТИЛ СПИРТІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ДӘСТҮРЛІ ЕМЕС ШИКІЗАТТЫҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ЗЕРТТЕУ.....	184
<i>Абдалы Ш.А.</i> БҮЛТТЫ ЕСЕПТЕУЛЕР ЖӘНЕ БҮЛТТАҒЫ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ НЕГІЗДЕРІ.....	193
<i>Мустафин М.А., Алмуратова Н.К., Даримбаева Н.И., Дауренова, Г.Д.</i> ӘР ТҮРЛІ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІҢ ТҮРЛЕРІ ҮШІН ЖИЛІКТІ БАСҚАРЫЛАТЫН АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ.....	199
<i>Волокитин А.В., Найзабеков А.Б., Волокитина И.Е., Панин Е.А., Е.И. Кульдеев, Молдабаева Г.Ж.</i> ЖОҒАРЫ ҚЫСЫММЕН БҰРАЛУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУҒА АРНАЛҒАН ШТАМП КОНСТРУКЦИЯСЫ.....	207
<i>Грищенко В.Ф., Толендиұлы С., Талгатқызы Г., Нурланқызы-А.</i> РАДИАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІНЕН ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ БОРТТЫҚ ЭЛЕКТРОНИКАСЫНЫҢ ЕСТЕ САҚТАУ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ БІРЛІКТІК ІСТЕН ШЫҒУЛАРЫН СҰЛБАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ.....	215
<i>Байгулбаева М.М., Онгарбаев Е.К., Жамболова А.Б., Жұмахан Қ.</i> ШУНГИТ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТІК ҚҰРАМЫНА МЕХАНОХИМИЯЛЫҚ АКТИВТЕНДІРУДІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	224
<i>Балтаев Е.М., Козбағаров Р.А., Камзанов Н.С., Қожатаев С.К.</i> АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНДЫЛАРДЫ БҰЗУ ҚҰРАЛДАРЫ.....	229
<i>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Кабибуллин М.Д., Тулеуов Ж.Н., Махатова В.Е.</i> АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА РИФОРМИНГ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ БОЙЫНША ЕСЕБІН ШЕШУДІҢ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІН ЖАСАҚТАУ.....	236
<i>Жамбаева О.Е., Сайлауқызы Ж.</i> ЖИНАҚТАУ КОДТАУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, САНДЫҚ БАЙЛАНЫС АРНАЛАРЫ АРҚЫЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ ШУЫЛҒА ҚАРСЫ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ.....	244
<i>Лукпанов Р.Е., Енкебайев С.Б., Цыгулев Д.В.</i> СТАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ СЫНАҚТАРМЕН АНЫҚТАЛАТЫН ҚАДАЛАРДЫҢ ТОПЫРАҚ БОЙЫНША КӨТЕРГІШ ҚАБІЛЕТТЕРІН БАҒАЛАУ.....	252
<i>Жусупбеков С.С., Жамангарин Д.С.</i> БАҒДАРШАМДАРДЫҢ ЖҰМЫСЫН РЕТТЕУ АРҚЫЛЫ ЖАНАРМАЙДЫ ҮНЕМДЕУ ЖӘНЕ АТМОСФЕРАҒА ЗИЯНДЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒУЫН ТӨМЕНДЕТУ.....	261
<i>Серикбаева С.К., Тусупов Д.А., Самбетбаева М.А.</i> ТАРАТЫЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕДЕ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ.....	272
<i>Жақишев Б.А., Килибаев Е.О., Алиева А.К., Бияхметова А.К., Рахымбаева С.Е.</i> УТИЛИЗАТОР-ОТТЫҚТАРЫНДА ЖАҒУ ҮШІН СҰЙЫҚ КӨМІРТЕКТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ.....	279
<i>Ли М.В., Канажанов А.Е., Шалбаев К.К.</i> АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ.....	285
<i>Нурпеисов Е.М.</i> ЗАМАНАУИ WEB ӨЗІРЛЕУДЕ PROGRESSIVE WEB APPLICATION РӨЛІН ПАЙДАЛАНУ.....	290

## СОДЕРЖАНИЕ

### Науки о Земле

<i>Абетов А.Е., Құдайбергенова С.С., Сидоров В.А.</i> СОЗДАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	3
<i>Алтысбай М.А., Гаппаров А.З.</i> МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ SENTINEL-2.....	14
<i>Нурсултанова С.Г., Ерболат А.Б.</i> ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРЫСКУМСКОГО ПРОГИБА.....	22
<i>Якупова Д.Б., Берлигузин М.Т.</i> ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗВОНОЧНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ФАНОРОЗОЯ КАЗАХСТАНА.....	30
<i>Койшиев Т., Бекжан З., Ерік А.</i> ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОРЕСУРСОВ И РАЗРАБОТКА КАРТЫ ПЛАНИРОВКИ МАЛЫХ ГЭС.....	36
<i>Альжигитова М.М., Заптаров М.Р., Мирлас В.М.</i> ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ОЗЕРЫ АЛАКОЛЬ.....	44
<i>Аукажиева Ж.М., Даркенбаева А.Б.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	52

### Физико-математические науки

<i>Сыздыкова А.М., Шайхова Г.Н., Кутум Б.Б.</i> ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАРБУ ДЛЯ Т-СИММЕТРИЧНОЙ НЕЛОКАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ КОРТЕВЕГА-ДЕ ФРИЗА.....	58
<i>Турусбекова У.К., Алтынбек С.А., Тургинбаева А.С., Мерейхан Л.</i> ПОСТРОЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ ПОЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРИВОДИМЫХ МНОГОЧЛЕНОВ.....	66
<i>Убаев Ж.К., Шункеев К.Ш.</i> ОПТИЧЕСКОЕ СОЗДАНИЕ И РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОКОЛОНАТРИЕВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В КРИСТАЛЛЕ KCl-Na.....	77
<i>Искакова А.К., Байсалова М.Ж.</i> ДВЕ ВЕТВИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ.....	85
<i>Ауельбекова Д.О., Амантаева А.Е., Хохлов А.А.</i> ТҰТЫЛМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДЫ МОДЕЛЬДЕУ 2MASS J02253615+2805508.....	92
<i>Сарманбетов С.А., Максұтова А.А., Сағидолда Е., Жексебай Д.М., Қожағұлов Е.Т.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ МОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	98
<i>Панченко П.В.</i> ГРАФЕНОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ЛИТИЕМ, ДЛЯ ПЕРЕДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	106
<i>Хайруллин Е.М., Тулешева Г.А., Шауликова А.Т.</i> ОБ ОДНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА С НОРМАЛЬНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА В ГРАНИЧНОМ УСЛОВИИ.....	113

### Химико-металлургические науки

<i>Ермекова А.С., Тилеуберди Е., Досжанов Е.О., Кошикэнь В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ НЕФТЕБИТУМОЗНЫХ ПОРОД.....	120
<i>Баталова М.С., Алтысбаева Б.Е., Коробова Н.Е.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМБРАН НА ОСНОВЕ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ АСМ.....	127
<i>Макашева А.М., Бекбаева Л.А.</i> КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ВЯЗКОСТИ СПЛАВА СВИНЕЦ-ОЛОВО В СОПОСТАВЛЕНИИ С МОДЕЛЬЮ ФРЕНКЕЛЯ-АНДРАДЕ.....	134
<i>Ибраева Г.М., Сукуров Б.М.</i> ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ЗОНЫ РЕАКЦИИ И ДИФФУЗИИ	

В СИСТЕМЕ Al-Co.....	146
<i>Нақан Ұлантай, Толқын Балғын, Е.И. Кульдеев, Елизабаева Г.Ж., Адиканова Д.Б., Нурсұлтанов М.Е., Шаймардан Е.</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ.....	152
<i>Қадір М.Ф., Нұрман Н.Б., Смирнов В.Ю.</i>	
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОПОРИСТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ.....	158
<i>Нурғали Н.З., Сариев О.Р., Алмагамбетов М.С., Досекенов М.С., Келаманов Б.С., Тажиев Е.Б.</i>	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНИЙ МОНОВАРИАНТНЫХ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В БИНАРНОЙ СИСТЕМЕ Cr-Fe.....	166
<i>Аубакиров Д. Р., Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Султангазиев Р. Б., Толукпаев Б. Ж.</i>	
ВЫБОР ЛИТЕЙНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ, СОЧЕТАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УДАРНОЙ И АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ.....	175

### Технические науки

<i>Аскарбеков Э.Б., Тебенхина Н., Әміржанов Ә., Серік А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА.....	184
<i>Абдалы Ш.А.</i>	
ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАКЕ.....	193
<i>Мустафин М.А., Алмуратова Н.К., Даримбаева Н.И., Дауренова Г.Д.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАГРУЗКИ.....	199
<i>Волокитин А.В., Найзабеков А.Б., Волокитина И.Е., Панин Е.А., Е.И. Кульдеев, Молдабаева Г.Ж.</i>	
КОНСТРУКЦИЯ ШТАМПА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ .....	207
<i>Грищенко В.Ф., Толендиулы С., Талгатқызы Г., Нурланқызы А.</i>	
СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕДИНИЧНЫХ ОТКАЗОВ ЗАПОМИНАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИИ.....	215
<i>Байгулбаева М.М., Онгарбаев Е.К., Жамболова А.Б., Жумахан К.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД.....	224
<i>Балтаев Е.М., Козбагаров Р.А., Камзанов Н.С., Кожатаев С.К.</i>	
СРЕДСТВА РАЗРУШЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ.....	229
<i>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Кабибуллин М.Д., Тулеуов Ж.Н., Махатова В.Е.</i>	
РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РИФОРМИНГА В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ.....	236
<i>Жамбаева О.Е., Сайлауқызы Ж.</i>	
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ.....	244
<i>Лукпанов Р.Е., Енкебайев С.Б., Цыгулев Д.В.</i>	
ОЦЕНКА НЕСУЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ СВАЙ ПО ГРУНТУ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ СТАТИЧЕСКИМИ И ДИНАМИЧЕСКИМИ ИСПЫТАНИЯМИ.....	252
<i>Жусупбеков С.С., Жамангарин Д.С.</i>	
ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СВЕТОФОРОВ.....	261
<i>Серикбаева С.К., Тусупов Д.А., Самбетбаева М.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	272
<i>Жақишев Б.А., Килибаев Е.О., Алиева А.К., Бияхметова А.К., Рахымбаева С.Е.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ СЖИГАНИЯ В ТОПКАХ-УТИЛИЗАТОРАХ.....	279
<i>Ли М.В., Канажанов А.Е., Шалбаев К.К.</i>	
АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ.....	285
<i>Нурпеисов Е.М.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ PROGRESSIVE WEB APPLICATION В СОВРЕМЕННОЙ WEB РАЗРАБОТКЕ.....	290

## CONTENTS

### Earth sciences

<i>Abetov A., Kudaibergenova S., Sidorov V.</i> CREATION OF GEODYNAMIC POLYGONS AND TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING GEODYNAMIC MONITORING IN THE HYDROCARBON FIELDS.....	3
<i>Alpysbay M.A., Gapparov A.Z.</i> AGRICULTURAL LAND MONITORING USING SENTINEL-2 SATELLITE DATA.....	14
<i>Nursultanova S.G., Yerbolat A.B.</i> GEODYNAMIC REGIME OF FORMATION OF OIL AND GAS COMPLEXES IN THE ARYSKUM TROUGH.....	22
<i>Yakupova D.B., Berliguzhin M.T.</i> HISTORY OF THE STUDY OF VERTEBRATE FOSSILS OF THE PHANEROZOIC OF KAZAKHSTAN .....	30
<i>Koishiyev T., Bekzhan Z., Yerik A.</i> ASSESSMENT OF THE TECHNICAL POTENTIAL OF HYDRO RESOURCES AND DEVELOPMENT OF A MAP OF THE LAYOUT OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS.....	36
<i>Alzhigitova M.M., Zapparov M.R., Mirlas V.M.</i> IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY ON THE CONDITION OF LAKE ALAKOL.....	44
<i>Aukazhieva Zh. M., Darkenbayeva A.B.</i> DEFINITION AND THEORETICAL BASIS OF LASER SCANNING.....	52

### Physical and mathematical sciences

<i>Syzdykova A.M., Shaikhova G.N., Kutum B.B.</i> DARBOUX TRANSFORMATION FOR T-SYMMETRIC NONLOCAL COMPLEX MODIFIED KORTEWEG-DE VRIES SYSTEM OF EQUATIONS.....	58
<i>Turusbekova U.K., Altynbek S.A., Turginbayeva A.S., Mereikhan L.</i> CONSTRUCTION OF HASH FUNCTIONS BASED ON THEORY OF FINITE FIELDS WITH THE USE OF IRREDUCIBLE POLYNOMIALS.....	66
<i>Ubayev Zh., Shunkeyev K.</i> THE OPTICAL CREATION AND RECOMBINATION ASSEMBLY OF NEAR-SODIUM ELECTRON EXCITATIONS IN KCl-Na CRYSTAL.....	77
<i>Iskakova A.K., Baisalova M.Zh.</i> TWO BRANCHES OF INTEGRAL CALCULATION.....	85
<i>Auyelbekova D.O., Amantayeva A.E., Khokhlov A.A.</i> MODELLING OF AN ECLIPSING STAR 2MASS J02253615+2805508.....	92
<i>Sarmanbetov S.A., Maksutova A.A., Sagidolda Y., Zhexebai D.M., Kozhagulov Y.T.</i> CLASSIFICATION OF MODULATED RADIOSIGNALS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS.....	98
<i>Panchenko P.</i> LITHIUM DOPED GRAPHENE NANOSTRUCTURES FOR ADVANCED ENERGETIC APPLICATIONS.....	106
<i>Khairullin Y., Tulesheva G., Shakulikova A.</i> ABOUT ONE BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE EQUATIONS OF HEAT AND MASS TRANSFER WITH NORMAL DERIVATIVES OF THE THIRD ORDER IN THE BOUNDARY CONDITION.....	113

### Chemical and metallurgical sciences

<i>Yermekova A.S., Tileuberdi Ye., Doszhanov Ye.O., Kuoshiken W.</i> DETERMINATION OF OIL SAND'S MOISTURE.....	120
<i>Batalova M.S., Alpysbayeva B.E., Korobova N.E.</i> DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF MEMBRANES BASED ON NANOPOROUS ALUMINA BY AFM.....	127
<i>Makasheva A.M., Bekbayeva L.A.</i> CLUSTER-ASSOCIATED MODEL OF THE VISCOSITY OF THE LEAD-TIN ALLOY IN COMPARISON WITH THE FRENKEL-ANDRADE MODEL.....	134

<i>Ibrayeva G.M., Sukurov B.M.</i>	
PECULIARITIES OF MICROSTRUCTURE OF REACTIVE DIFFUSION ZONE IN Al-Co SYSTEM.....	146
<i>Ulantay Nakan, Balgyn Tolky, E.I. Kuldeev, Yeligbayeva G. Zh., Adikanova D.B., Nursultanov M.E., Shaymardan Y.</i>	
PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOSENSITIVE HYDROPHILIC COPOLYMERS.....	152
<i>Kadir M.F., Nurman N.B., Smirnov V.Y.</i>	
STRUCTURAL FEATURES OF NANOPOROUS MEMBRANES BASED ON TITANIUM AND ALUMINUM OXIDES.....	158
<i>Nurgali N.Z., Sariyev O.R., Almagambetov M.S., Dossekenov M.S., Kelamanov B.S., Tazhiyev Ye.B.</i>	
REGULARITIES OF FORMATION OF LINES OF MONOVARIANT PHASE EQUILIBRIA IN THE BINARY Cr-Fe SYSTEM.....	166
<i>Aubakirov D. R., Issagulov A. Z., Kulikov V. Yu., Sultangaziyev R. B., Tolukpayev B. Zh.</i>	
SELECTION OF CASTING WEAR-RESISTANT ALLOYS COMBINING OPTIMAL INDICATORS OF SHOCK AND ABRASIVE RESISTANCE.....	175

### Technical Sciences

<i>Askarbekov E.B., Tebenhina N., Amirzhanov A., Serik A.</i>	
RESEARCH ON THE QUALITY AND SAFETY OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF ETHYL ALCOHOL.....	184
<i>Abdaly S.A.</i>	
CLOUD COMPUTING AND THE FOUNDATION OF SECURITY IN THE CLOUD.....	193
<i>Mustafin M., Almuratova N., Darimbayeva N., Daurenova G.</i>	
MATHEMATICAL MODEL OF ASYNCHRONOUS FREQUENCY CONTROLLED ELECTRIC DRIVE FOR DIFFERENT TYPES OF LOAD.....	199
<i>Volokitin A.V., Naizabekov A. B., Volokitina I.E., Panin E. A., E.I. Kuldeev, Moldabaeva G.Zh.</i>	
DIE DESIGN FOR HIGH-PRESSURE TORSION.....	207
<i>Grishchenko V. F., Tolendiuly S., Talgatkyzy G., Nurlankyzy A.</i>	
SCHEMATIC MODELING OF UNIT FAILURES OF MEMORY ELEMENTS OF ONBOARD ELECTRONICS OF SPACECRAFT UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION.....	215
<i>Baigulbaeva M.M., Ongarbayev Y.K., Zhambolova A.B., Zhumakhan K.</i>	
STUDY OF THE INFLUENCE OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SHUNGITE ROCKS.....	224
<i>Baltaev E.M., Kozbagarov R.A., Kamzanov N.S., Kozhataev S.K.</i>	
MEANS OF DESTRUCTION OF ASPHALT CONCRETE COVERINGS.....	229
<i>Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Kabibullin M., Tuleuov Zh., Makhatova V.</i>	
DEVELOPMENT OF A HEURISTIC METHOD FOR SOLVING THE PROBLEM OF CONTROL OF REFORMING TECHNOLOGY PROCESS IN A FUZZY ENVIRONMENT.....	236
<i>Zhambayeva O.E., Sailaukyzy Zh.</i>	
NOISE IMMUNITY OF DATA TRANSMISSION OVER DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS USING CONVOLUTIONAL CODING.....	244
<i>Lukpanov R.E., Yenkebayev S.B., Tsigulyov D.V.</i>	
ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF PILES IN SOIL, DETERMINED BY STATIC AND DYNAMIC LOAD TESTS.....	252
<i>Zhusupbekov S.S., Zhamangarin D.S.</i>	
SAVING FUEL AND REDUCING HARMFUL EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE BY REGULATING THE OPERATION OF THE LIGHTS.....	261
<i>Serikbayeva S.K., Tussupov J.A., Sambetbayeva M.A.</i>	
BIG DATA PROCESSING TECHNOLOGY IN A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM.....	272
<i>Zhakishev B.A., Kilibayev E.O., Aliyeva A.K., Biyakhmetova A.K., Rakhymbayeva S.E.</i>	
USE OF LIQUID CARBON WASTE FOR INCINERATION IN WASTE FURNACES.....	279
<i>Li M., Kanazhanov A., Shalbayev K.</i>	
RECHARGEABLE BATTERIES. SOLID STATE ELECTRIC VEHICLE BATTERIES.....	285
<i>Hypneucos E.M.</i>	
STUDYING THE ROLE OF PROGRESSIVE WEB APPLICATION IN MODERN WEB DEVELOPMENT.....	290

**Редакторы:**  
Г.А. Буршукова  
**Верстка на компьютере:**  
Л. Касжанова

Заказ № 271

**Адрес редакции:**  
ул. Сатпаева, 22, тел. 292-63-46  
<https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/>

Департамент маркетинга и коммуникаций КазННТУ  
Казахского национального исследовательского  
технического университета имени К.И. Сатпаева