

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/SWLL9958>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,210**

**Импакт-фактор КазБЦ – 0,406**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

---

**МАЗМҰНЫ  
СОДЕРЖАНИЕ  
CONTENTS**

**МАШИНА ЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING**

***Абильмажинов Е. Т., Гражданкин Д. С.***

Оптимизация технологии изготовления билодержателей валковой среднеходной мельницы

***Бузауова Т. М., Қайзаит Ж. К., Сиваченко Л. А.***

«STATISTICA» Қолданбалы бағдарламасында созу станогының жұмысын сараптау

***Какимов М. М., Мурсалыкова М. Т., Токаев С. Д.,***

***Орынбеков Д. Р., Мустафаева А. К.***

Мақсары өнімдерін өңдеуге арналған пресс жабдығын жетілдірудің тиімді жолдары

***Kassenov A. Zh., Lub T. L., Mussina Zh. K., Yanushkin A. S., Kussainov R. B.***

The effect of the design of a rotary peakless turning tool with chipbreaker on the surface roughness

***Kossatbekova D. Sh., Nukeshev S. O., Romanyuk N. N.***

Investigation of dependence of hardness of grain–fertilizer–grass seeder chisel on chemical composition of the clad layer

***Сахыбаев Р. Т., Койайдаров Б. А.***

Разработка клиноременного вариатора для многорежимных технологических машин

***R. A. Sovetbayev<sup>1</sup>, Y. Nugman<sup>1</sup>, \*Y. Y. Shayakhmetov<sup>2</sup>, A. Kawalek<sup>3</sup>***

Obtaining the necessary mechanical properties of blanks of parts made of aluminum alloy 7075 by physical modelling

***Таттимбек Г., Шеров К. Т., Мардонов Б. Т., Абдикаримова Г. Б., Мендалиева С. И.***

Цилиндрлі тісті доңғалақтарды дайындау технологияларын және тозу себептерін зерттеу

***Шумейко И. А., Нуркимбаев С. М., Итыбаева Г. Т.***

Разработка методики расчета частоты вращения ветрового колеса с использованием механизма буревой защиты

***Юсупова Л. Е., Жабғиев А. М., Ержанова А. Т., Нұрман А. Д., Калмағамбет А. Б.***

Кәсіпшілік құбыр желісінің тоттануға төзімділік қабілетілігін талдау

**МЕТАЛЛУРГИЯ****МЕТАЛЛУРГИЯ****METALLURGY**

**Акбердин А. А., Ким А. С., Султангазиев Р. Б., Заякин О. В., Адамова Г. Х.**

Құрамында боры бар силикохром көмегімен төменкөміртекті феррохромды балқыту процесін термодинамикалық модельдеу

**Атамбаев Ж. Н., Квон Се. С., Окишев К. Ю.**

Титан карбидімен модификацияланған үйкеліске қарсы шойынның қасиеттерін зерттеу

**Aubakirov A. M., Tolymbekova L. B., Kaliakparov A. G,**

**Khoshnaw F., Kulumbaev N. K.**

Production of special coke from low-caking coals used in the ferroalloy industry

**Вукон Р. О., Kuandykov A. B., Aryngazin K. Sh., Kalieva A. B., Larichkin V. V.**

Environmental aspects of processing granular filters for primary aluminum refining

**Жунусова А. К., Жунусов А. К., Кенжебекова А. Е.**

Исследования физико-химических свойств железорудного агломерата

**Лайхан С. А., Улмаганбетов Н. А., Досекенов М. С., М. С. Алмагамбетов**

Способы окускования мелкодисперсного хромового сырья Кемпирсайского месторождения с использованием полимерного связующего реагента

**Лиакын Л., Оналбаева Ж. С., Мамяченков С. В.,**

**Куленова Н. А., Даумова Г. К.**

$Fe^{3+}$  иондарын гидролитикалық тұндыру процесін потенциометриялық титрлеу әдісімен зерттеу

**Мухтар А. А., Макашев А. С., Касымова Б. К.,**

**Атахан М. М., Кочегина Е. В.**

Изучение поведения оксида алюминия в процессе термохимической подготовки бурожелезнякового концентрата к металлургическому переделу

**Нурғали Н. З., Алмагамбетов М. С., Сариев О. Р., Келаманов Б. С.**

Определение электросопротивления шихты для получения высокотитанистых шлаков

**Сапинов Р. В., Шошай Ж., Баева А. Б., Тулиндинов М. Т., Сапинова Д. Р.**

Изучение процесса гидрометаллургического извлечения олова из печатных плат смартфонов с ультразвуковой интенсификацией

**ТРАНСПОРТ****TRANSPORT**

**Balabaev O. T., Rozhkov A. V., Abishev K. K., Suleimenov A. D., Lyubimov I. I.**

Determination of gravity coal shoot geometrics for a coal mine

**Дюрягин С. П., Мустафин А. Х., Сембаев Н. С.,**

**Василевский В. П., Байгушкарлова А. Б.**

Характеристики трения в зоне контакта пьезопластины и ротора вибропривода



***Забиева А. Б., Тогизбаева Б. Б., Алипбаев Ж. Р.***

Common rail отын бүрку жүйесімен жабдықталған қозғалтқыштардағы бүрку және жану процестерінің компьютерлік диагностикасы

***Киселёва О. Г., Юн Чэнь, Избаирова А. С.***

Оптимизационная модель формирования маршрутов следования контейнерных поездов на железнодорожном полигоне

Авторлар туралы ақпарат

Сведения об авторах

Information about the authors

246

Авторларға арналған ережелер

Правила для авторов

Rules for authors

259

Жарияланым этикасы

Публикационная этика

Publication ethics

269

---

---

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

МРНТИ 55.13.17

**Е. Т. Абильмажинов, \*Д. С.Гражданкин**

Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, г. Семей

\*e-mail: [d.grazhdankin96@yandex.ru](mailto:d.grazhdankin96@yandex.ru)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИЛОДЕРЖАТЕЛЕЙ ВАЛКОВОЙ СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

*Данная статья представляет результаты опытно-промышленных испытаний по оптимизации технологии изготовления билодержателей валковой среднеходной мельницы типа МВС. Мельницы МВС широко применяются в промышленности для измельчения и сортировки различных материалов. Непосредственно на билодержателях происходит закрепление бил на роторах в молотковых мельницах и дробилках. Основная цель эксперимента состояла в повышении эффективности технологического процесса изготовления билодержателей, сокращение сроков изготовления и снижении затрат на производство, без потери качества и длительности службы. Технологический процесс получения отверстий билодержателей был изменен с механической обработки на термическую резку. Термическая резка обеспечивает быстрое и точное разделение материала, что дает преимущество при работе с толстыми или твердыми материалами. С развитием технологий механическая резка вытеснила механическую обработку на деталях и изделиях, не требующих большой точности изготовления.*

*Для проведения эксперимента была изготовлена опытная партия и установлена на одной из мельниц электростанции АО «ЕЭК» г. Аксу. Программа опытно-промышленных испытаний направлена на изучение образцов во время плановых ремонтов, а также на определения состояния всех механизмов мельницы МВС.*

*Ключевые слова: билодержатель, мельница МВС, термическая резка, кислородная резка, оптимизация технологического процесса.*

#### **Введение**

Мельницы МВС (Мельницы валковые среднеходные) являются эффективным оборудованием в промышленности, которое используется для измельчения и сортировки различных материалов. Главной задачей мельниц с динамическим сепаратором типа МВС является размол угля различных видов в пыль. Мельницы этого

типа используются для изготовления сырья в цементно-производственной отрасли, а также при подготовке топлива для тепловых электростанций.

После размола, угольная пыль попадает в динамический сепаратор и, за счет вращения ротора, распределяется на крупные и мелкие фракции. Крупные части повторно проходят промол, а мелкие подаются непосредственно к горелкам [1].

Билодержатели, также известные как решетчатые плиты или грейдеры, являются важной частью МВС мельниц. Они применяются для закрепления бил на роторах в молотковых мельницах и дробилках. Билодержатели представляют собой фигурные стальные пластины с отверстиями. Один конец изделия крепится на роторе мельницы, второй – предназначен для закрепления билы [2]. Под действием центробежной силы при вращении ротора билы отклоняются, сталкиваются с перемалываемой породой и дробят ее. Учитывая характер эксплуатации, билодержатели подвергаются интенсивному износу и требуют периодической замены [3]. В статье рассматривается мельница МВС с установленной на ней опытной партией билодержателей, изготовленных по измененной технологии с применением кислородной газовой резки, минимизирующая механическую обработку.

#### Материалы и методы.

Билодержатели являются главным расходным материалом мельниц МВС. Основной целью эксперимента была оптимизация технологического процесса их изготовления путем отказа от механической обработки посадочных отверстий  $\phi 60^{+0,4}$  и  $\phi 46^{+0,34}$ , в пользу термической резки (Рисунок 1).

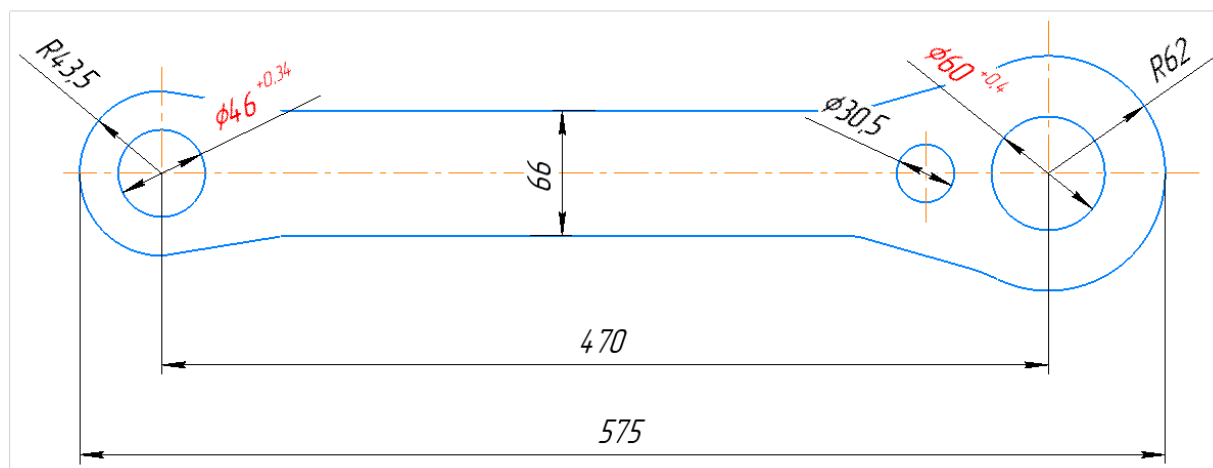


Рисунок 1 – Эскиз билодержателя

Кислородная газовая резка обеспечивает высокую точность реза, что позволяет получать детали из стали 3 с точными размерами и геометрическими параметрами. При правильной настройке станка достигается минимизация деформаций и упругих напряжений. Это важно для сохранения стабильности геометрии деталей и избежания потенциальных проблем при их использовании [4].

В ходе анализа нормативной документации на мельницы МВС, был изучен вопрос о нормах браковки билодержателей. Диски и билодержатели при износе по толщине от 3 до 8 мм или при выработке отверстий под оси и пальцы до 5 мм должны быть заменены или восстановлены методом наплавки [5]. Тем самым износ отверстий после выработки не должен превышать 5 мм от номинального размера. Опытная партия билодержателей была изготовлена на машине термической резки «Кристалл», согласно паспортным данным, точность воспроизведения заданного контура  $\gamma$  0,15, что на самом деле не соответствует действительного из-за физического износа оборудования [6]. Фактические размеры отверстий опытной партии билодержателей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры отверстий опытных билодержателей.

Номер образца	$\varnothing 60^{+0,4}$ , мм	$\varnothing 46^{+0,34}$ , мм
Образец №1	60,1	46,2
Образец №2	60,3	47
Образец №3	60,7	46,8
Образец №4	61,2	47

Размеры, полученные термической резкой, выходят за пределы допуска чертежа детали. На части деталей имелся врез, оставленный пламенем кислородной дуги, который не влияет на работоспособность конструкции [7].

После изготовления экспериментальной партии была разработана программа опытно-промышленных испытаний [8], которая состояла из следующих пунктов:

*Определение мельницы для проведения эксперимента.* Для точности эксперимента, выбор оборудования определялся исходя из его работоспособности, т.е. мельница должна была пройти капитальный ремонт не более 1 года с момента начала испытаний.

*Приемка опытной партии билодержателей.* Визуальный осмотр на предмет наличия дефектов, которые потенциально могут повлиять на работоспособность, выборочный замер диаметров отверстий на 10-ти образцах из 108.

*Определение временного отрезка работы опытной партии.* Определено время осмотра состояния билодержателей на мельнице во время плановых ремонтов. Первый осмотр после 600 часов выработки, второй после 1800 часов выработки и третий от одного месяца до полугода в зависимости от состояния после первых двух осмотров.

*Определение опытных образцов.* Один комплект МВС состоит из 108 билодержателей, 4 из которых будут сниматься с мельницы после каждого осмотра для детального изучения износа посадочных отверстий и внешнего износа, который будет сравниваться с другими билодержателями, отверстия которых были выполнены механической обработкой. Так как при перемолке угля имеет место быть неравномерный износ, по причине того, что крупные фракции скапливаются ближе к боковым стенкам, 2 изучаемых представителя были установлены на краю мельницы, а 2 в середине. Для дальнейшей идентификации билодержатели были помечены сваркой.

*Фиксация показателей состояния основных механизмов мельницы МВС.* Наблюдение возможных отклонений от оптимальных показателей по сменному журналу.

*Подведение итогов опытно-промышленных испытаний.* При положительных результатах эксперимента – изменение допусков в чертеже детали, изготовление новых деталей по обновленной технологии, подсчет экономического эффекта по итогам года. При отрицательных результатах эксперимента – сделать выводы, отметить положительные моменты и рассмотреть более дешевые и быстрые способы получения точных отверстий.

#### Результаты и методы

В ходе установки опытной партии было определено, что отверстия с большим диаметром легче монтировать на пальцы, которые в свою очередь крепят билы. Около 10% пальцев приходилось отдавать на проточку, во избежание их заклинивания при установке. Пробный запуск на холостом ходу показал, что мельница работала в штатном режиме. Зачастую, при неверной установке билодержателей происходит их моментальный вылет с оси и удар о защитный корпус МВС.

После подачи угля для размола не было обнаружено шума, который следует при неправильной работе билодержателей.

По истечению первого этапа испытаний – 600 часов. Был проведен плановый осмотр контрольных образцов. Никаких нарушений в работе мельницы МВС не произошло. (Рисунок 2.) Результаты замеров представлены в таблице 2.



Рисунок 2 – Билодержатели на мельнице МВС.

Таблица 2. Результаты замеров отверстий контрольных образцов после 600 часов работы.

Номер образца	$\varnothing 60^{+0,4}$ , мм	$\varnothing 46^{+0,34}$ , мм
Образец №1	60,1	46,2
Образец №2	60,3	47
Образец №3	60,7	46,8
Образец №4	61,2	47

Не было выявлено внешних дефектов, влияющих на работоспособность изделия. Износ билодержателей и посадочных отверстий не превышает допустимого значения (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Опытные образцы после 600 часов работы.

Заключительный осмотр после 1800 часов испытаний и проведение замеров показали (таблица 3), что изменение посадочных размеров выявлено не было. Визуальный осмотр показал, что нет видимых дефектов, которые могут повлиять на дальнейшую работоспособность мельницы.

Таблица 3. Результаты замеров отверстий контрольных образцов после 1800 часов работы.

Номер образца	$\varnothing 60^{+0,4}$ , мм	$\varnothing 46^{+0,34}$ , мм
Образец №1	60,7	46,8
Образец №2	61,2	47,1
Образец №3	Износ	
Образец №4	Износ	



Крайние билодержатели, принимающие на себя значительную часть больших кусковых фракций угля, изнашивались и потребовали замены, не раньше срока рабочего износа. (Рисунок 4)



Рисунок 4 – Износ крайних билодержателей после отработки 1800 часов.

Качество угля играет важную роль в работе мельницы МВС из-за его влияния на процесс измельчения и обработки материала. Уголь с более высоким содержанием золы и влажности может требовать особого режима работы мельницы, так как это может влиять на процесс измельчения и требования к энергии. Оптимальное качество угля может способствовать повышению эффективности и снижению затрат энергии при измельчении. Более твердый уголь может требовать более частого обслуживания и замены рабочих элементов. [9].

#### **Выводы**

Исходя из предыдущего опыта, браковка билодержателей в первую очередь происходит по мере изнашивания корпуса, нежели износа отверстий. Динамика сокращения трудоемкости приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение трудоемкости билодержателей.

Операция	Норма, ч	Норма, ч
Термическая резка	0,28	0,32
Сверлильная	1	-
Слесарная	0,02	0,04
Итого:	1,3	0,36

Сокращение трудоемкости, без потери в качестве, составила 72 %.

Опытно-промышленные испытания показали, что технология изготовления отверстий на машине термической резки никак не повлияли на работоспособность мельницы МВС и ее рабочих органов. Отверстия, выполненные кислородной резкой, не подверглись большему износу, чем отверстия, выполненные механической обработкой.

Сокращая длительность производственного цикла, предприятие снижает себестоимость единицы продукции, увеличивает объем выпуска в единицу времени и становится более гибким к реалиям рынка [10].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Основные типы углеразмольных мельниц // Оборудование и технологии малого бизнеса. URL: <https://proizvodim.com/osnovnye-tipy-uglerazmolnyx-melnic.html> (дата обращения: 20.01.2024).

2 **Павлов, И. М., Федосеев, А. Е.** Анализ неисправностей рабочих органов молотковой мельницы. // Интеграция науки, образования, общества, производства и экономики. Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции. Уфа, 2022 – с. 36–42.

3 **Черноиванов, В. И., Голубев, И. Г.** Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.

4 **Михайлицын, С. В., Шекшеев, М. А., Аюбашев, О. М., Стеблянко, В. Л., Федосеев, С. А.** Исследование плазменно-дуговой резки низколегированной стали 09Г2С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017. – Т 15. № 2. – с. 45–53.

5 СТО 70238424.27.060.01.009-2009. Мельницы молотковые тангенциальные. Общие технические условия на капитальный ремонт.

6 **Ширшов, И. Г., Котиков, В. Н.** Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1987.– 192 с.

7 **Локтионов, А. А.** Оценка качества реза листовых материалов при тонкоструйной плазменной резке // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2013. – № 4 (61). – с. 86–89.

8 «Правила проведения испытаний результатов опытно-конструкторских и технологических работ». Утверждены приказом Министра индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан от 20 ноября 2019 года № 862

9 **Вахитов, М. Р., Хакимова, Е. Г., Толмачева, А. В., Кузнецов, М. Г., Николаев, А. Н.** Измельчение угля в конусных мельницах с крупномасштабной искусственной шероховатостью. // Вестник технологического университета. 2015. Т.18, № 20. – с. 57–59.

10 **Старцев, П. В.** Сокращение производственного цикла предприятия как модель повышения его конкурентоспособности // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2013. – № 2 (6). – С. 96–101.



## REFERENCES

1 Osnovny`e tipy` uglerazmol`ny`x mel`nicz [Main types of coal grinding mills] // Oborudovanie i texnologii malogo biznesa. URL: <https://proizvodim.com/osnovnye-tipy-uglerazmolnyx-melnic.html> (data obrashheniya: 20.01.2024).

2 **Pavlov, I. M., Fedoseev, A. E.** Analiz neispravnostej rabochix organov molotkovej mel`nicy. [Analysis of malfunctions of the working parts of a hammer mill] // Integraciya nauki, obrazovaniya, obshhestva, proizvodstva i e`konomiki. Sbornik nauchny`x statej po materialam IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ufa, 2022 – s. 36-42.

3 **Chernoivanov, V. I., Golubev, I. G.** Vosstanovlenie detalej mashin (Sostoyanie i perspektivy). [Restoration of machine parts (State and prospects)] – M.: FGNU «Rosinformagrotex», 2010. – 376 p.

4 **Mixajlicyn, S. V., Sheksheev, M. A., Ayubashev, O. M., Steblyanko V. L., Fedoseev S. A.** Issledovanie plazmenno-dugovoj rezki nizkolegirovannoj stali 09G2S. [Study of plasma-arc cutting of low-alloy steel 09G2S] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova, 2017. – T 15. № 2. – P. 45–53.

5 STO 70238424.27.060.01.009-2009. Mel`nicy molotkovy`e tangencial`ny`e. Obshhie texnicheskie usloviya na kapital`ny`j remont. [Tangential hammer mills. General technical conditions for major repairs]

6 **Shirshov, I. G., Kotikov, V. N.** Plazmennaya rezka. [Plasma cutting] – L.: Mashinostroenie, 1987. – 192 p.

7 **Loktionov, A. A.** Ocenka kachestva reza listovy`x materialov pri tonkostrujnoj plazmennoj rezke [Assessment of the cut quality of sheet materials during fine-jet plasma cutting] // Obrabotka metallov: texnologiya, oborudovanie, instrumenty`. 2013. – № 4 (61). – P. 86–89.

8 «Pravila provedeniya ispy`tanij rezul`tatov opy`tno-konstruktorskix i texnologicheskix rabot». [“Rules for testing the results of development and technological work.”] Utverzhdeny` prikazom Ministra industrii i infrastruktornogo razvitiya Respubliki Kazaxstan ot 20 noyabrya 2019 goda № 862

9 **Vaxitov, M. R., Xakimova, E. G., Tolmacheva, A. V., Kuznecov, M. G., Nikolaev, A. N.** Izmel`chenie uglya v konusny`x mel`niczax s krupnomasshtabnoj iskusstvennoj sheroxovatost`yu. [Coal grinding in cone mills with large-scale artificial roughness ] // Vestnik texnologicheskogo universiteta. 2015. T.18, №20. – s. 57-59.

10 **Starcev, P. V.** Sokrashhenie proizvodstvennogo cikla predpriyatiya kak model` povy`sheniya ego konkurentosposobnosti [Reducing the production cycle of an enterprise as a model for increasing its competitiveness] // Modeli, sistemy`, seti v e`konomike, texnike, prirode i obshhestve. – 2013. – № 2 (6). – P. 96–101.

Поступило в редакцию 25.01.2024

Поступило с исправлениями 19.12.23.  
Принято в печать 12.03.2024

**Е. Т. Абильмажинов, \*Д. С. Гражданкин**  
Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
Қазақстан Республикасы, Семей  
25.01.2024 ж. баспаға түсті.  
19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.  
12.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **ОРТА ЖЫЛДАМДЫҚ БІЛІКТІ ДИЕРМЕН ҮШІН БІЛІКТІ ТҮТҚЫШТАРДЫ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ОҢТАМАЛАНДЫРУ**

*Бұл мақалада ОРД типті орташа жылдамдықты роликті диірмен үшін шайқау ұстағыштарын өндіру технологиясын оңтайландыру бойынша тәжірибелік сынақтардың нәтижелері берілген. ОРД диірмендері өнеркәсіпте әртүрлі материалдарды ұнтақтау және сұрыптау үшін кеңінен қолданылады. Ұсақтағыштар балғалы диірмендер мен ұсақтағыштардағы роторлардағы шайқау ұстағыштарына тікелей бекітіледі. Тәжірибенің негізгі мақсаты шайқағыш ұстағыштарды дайындаудың технологиялық процесінің тиімділігін арттыру, өндіру уақытын қысқарту және өнімнің өзіндік құнын төмендету, сапасы мен қызмет ету мерзімін жоғалтпау болды. Ұстағыштардың саңылауларын өндірудің технологиялық процесі механикалық өңдеуден термиялық кесуге ауыстырылды. Термиялық кесу материалды тез және дәл бөлуді қамтамасыз етеді, бұл қалың немесе қатты материалдармен жұмыс істегенде тиімді. Технологияның дамуымен механикалық кесу жоғары өндірістік дәлдікті қажет етпейтін бөлшектер мен бұйымдарды механикалық өңдеуді ауыстырды.*

*Тәжірибе жүргізу үшін Ақсу қаласындағы «ЕЭК» АҚ электр станциясының диірмендерінің бірінде тәжірибелік партия жасалып, орнатылды. Тәжірибелік сынақ бағдарламасы жоспарлы жөндеу кезінде үлгілерді зерттеуге, сонымен қатар ОРД диірменінің барлық механизмдерінің жағдайын анықтауға бағытталған.*

*Кілтті сөздер: шайқағыш ұстағыш, ОРД диірмені, термиялық кесу, оттегімен кесу, процесі оңтайландыру.*

---

*E. T. Abilmazhinov, \*D. S. Grazhdankin*

Semey state university named after Shakarim, Republic of Kazakhstan, Semey

Received 25.01.2024

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 12.03.2024

### **OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING BEATER HOLDERS FOR A MEDIUM SPEED ROLLER MILL**

*This article presents the results of pilot tests to optimize the manufacturing technology of beater holders for a medium-speed roller mill of the MRM type. MRM mills are widely used in industry for grinding and sorting various materials. The beaters are secured directly to the beater holders on the rotors in hammer mills and crushers. The main goal of the experiment was to increase the efficiency of the technological process for manufacturing beater holders, reduce production time and reduce production costs, without loss of quality and service life. The technological process for producing the holes of the beater holders was changed from mechanical processing to thermal cutting. Thermal cutting provides fast and precise material separation, which is advantageous when working with thick or hard materials. With the development of technology, mechanical cutting has replaced mechanical processing on parts and products that do not require high manufacturing precision.*

*To conduct the experiment, a pilot batch was manufactured and installed at one of the mills of the power plant of EEC JSC in Aksu. The pilot testing program is aimed at studying samples during scheduled repairs, as well as determining the condition of all mechanisms of the MRM mill.*

*Keywords: beater holder, MRM mill, thermal cutting, oxygen cutting, process optimization.*

**\*Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, Ж. К. Қайзаит<sup>2</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

<sup>2</sup>ЖШС «Maker (Мэйкер) ҚМЖЗ», Қазақстан Республикасы,  
Қарағанды қ.;

<sup>3</sup>Белорусь-Ресей университеті, Беларусь Республикасы, Могилев қ.

\*e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru)

### **«STATISTICA» ҚОЛДАНБАЛЫ БАҒДАРЛАМАСЫНДА СОЗУ СТАНОГЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН САРАПТАУ**

*ЖШС «Каз-метиз» өндірісінде метиздік өнімдерді шығарғанда өнімділіктің төмендегені байқалды. Статистикалық сараптау жұмыстарының нәтижесінде жалпы шығарылатын өнімге қатысты ақаулардың пайызы анықталды. Ақаулардың басым бөлігі сымды созу процесінде тіркелген, яғни өндірудің әр кезеңінде орындалатын сынақтарында сымның үзілу күші МЕМСТ 7348-81 талаптарына сәйкес келмеген.*

*Дайын өнімнің сапасы үшін патенттелген дайындаманы созу станогында өңдеу маңызды кезеңдердің бірі. Өйткені дайындаманы қысыммен өңдеу операциясынан кейін болашақ өнімнің тұтынышуларға қажетті көрсеткіштері қалыптасады. Дайындаманы өңдегенде жіберілген ақаулар дайын өнімнің сапасыз болуына тікелей өз әсерін тигізеді, яғни жиі тіркелген ақаулардың себептерін зерттеу өзекті проблема.*

*Осы проблеманы болдырмау мақсатымен созу станогындағы барабандардың температуралары әр 1,5 сағат сайын ТК -5.04 контактілі сандық термометрімен өлшенді. Барабан температураларын өлшеу барысында бірнеше ауытқулар тіркелген. Өлшеу нәтижелерінің сандық және сапалық көрсеткіштерін зерттеу мақсатымен STATISTICA қолданбалы бағдарламасында сипаттамалық талдау жүргізілді, сапаны бақылайтын Шухарт картасы құрылды, барабан температурасының жылу ағынына тәуелділігі тұрғызылды. Қақтың сандық және сапалық көрсеткіштері анықталып шашырау диаграммасы арқылы қақтың қалыңдығы мен созу станогы арасындағы корреляция коэффициенті анықталды және ол  $r = -0,9707$  белгілі болды.*

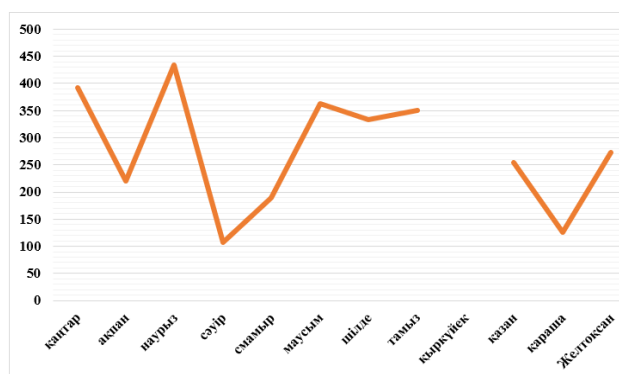
*Кілтті сөздер: арматуралық арқан, ақау, сымның үзілу күші, созу станогы, барабан.*

### Кіріспе

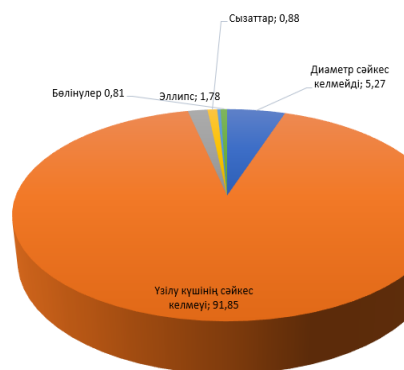
ЖШС «Каз-метиз» метиздік өнімді өндіру бойынша Қазақстандағы қарқынды дамушы жетекші кәсіпорындардың бірі. Кәсіпорын Қазақстанның барлық аудандарын, сонымен қатар Ресей, Өзбекстан, Украина, Белоруссия және көптеген орта Азия мемлекеттерін метиздік өнімдермен қамтамасыз етеді. Сондықтан өнімнің жоғары сапасы – кәсіпорын қызметінің ең маңызды нәтижелі көрсеткіші.

### Материалдар мен әдістері

Техникалық бақылау бөлімі мамандарының жүргізген сынау және бақылау жұмыстарының нәтижесінде 2022 жылы шығарылған диаметрі 12,0 мм арматуралық арқандарда өнімділіктің төменгі көрсеткіштері тіркелген (ақпан 220, 388т, сәуір – 106,484т, қараша – 125,566т) (1-сурет). Тіркелген көрсеткіштерді сараптағанда ақаулар дайындаманы созу кезеңінде кездесетіні анықталды (2-сурет), мөлiметтерді талдау нәтижесінде арқанды өндірудегі ең жиі кездесетін ақау (2-сурет) создан кейінгі сымның үзілу күшінің МЕМСТ 7348-81 талаптарына сәйкес келмеуі болды.



Сурет 1 – Өндірілген өнім (2022ж. мәлімет бойынша)



Сурет 2 – Дайындамадағы ақаулар

ЖШС «Каз-метиз» өндірісінде дайындаманың тиімді әдістерін анықтау мақсатымен зерттеу жұмыстары жүргізілді, нәтижесінде тиімді патенттелген дайындама әдісі таңдалды [1]. Созу патенттелген металл дайындаманы қысыммен өңдеу процесі, нәтижесінде сымның көлденең қимасының ауданы кішірейеді, ал ұзындығы артады. Созу процесінде дайындаманың тек диаметрі кішірейіп қана қоймай, сонымен қатар дайын өнімнің физикалық және механикалық қасиеттері қалыптасады. Сондықтан созу процесінде жиі кездесетін ақауларды сараптау өзекті проблема болып табылады.

Созу процесі – болатты сымның беріктігін арттырудағы ең тиімді әдістердің бірі. Созу кезінде қол жеткізілетін беріктік сипаттамаларының мөлшері болаттың химиялық құрамына және дайындаманың өңдеу түріне, сондай-ақ созу кезінде беріктіктің өсуіне байланысты. Сымды өндіргенде барабандардың қызуы оларды бұрау барысында

қабыршақтанып бөлінуіне әкеледі. 220–270<sup>0</sup>С-та сымның қызуы нәтижесінде сымның үзілуге уақытша кедергісі, аққыштық шегі және серпімділігі артады, ал иілу және бұрау саны төмендейді. Сымның 400 <sup>0</sup>С дейін қызуы нәтижесінде оның беріктік қасиеттері төмендеп, пластикалық қасиеттері артады [2]. Сымды созу кезінде үлгінің, сымдауыштың, барабанның температураларының жоғарылауы маңызды мәселе [3]. Температураның шамадан тыс жоғарылауы өнімнің сапасын, созу қабілетін және сымдауыштың қызмет ету мерзімін төмендетеді. Сонымен қатар, температураның жоғарылауы созу процесіндегі сымның майлану қасиеттерін төмендетіп, нәтижесінде сым бетінде қатпарлар мен жарықшақтар түзіледі [3].

Сымды созу процесінде әсер ететін фактор: температураның біркелкі таралмауы [4] сымдауыштың төзімділігіне кері әсер етеді [5]. Өнеркәсіптік, көпөткелді созу машинасындағы қозғалыс күшін және температура мәнін анықтау үшін тәжірибе жүргізу нәтижесінде [6] созу күші мен температураның сым материалдарына тәуелділігі дәлелденді. Сымды созу кезіндегі ақауға әсер ететін температураның әсерінен [7] сымдауыш қарқынды тозады. Сонымен қатар, оның деформация аймағындағы үйкелістің әсерінен температура жоғарылайды және барлық жылу толығымен сымға беріледі [8]. Қызған сым технологиялық процеске сәйкес барабандарға оратылады.

«Каз-метиз» ЖШС-де дайындаманы созу үшін № 2 станогының барабандары қолданылады (3-сурет).



а) барабандардың көрінісі



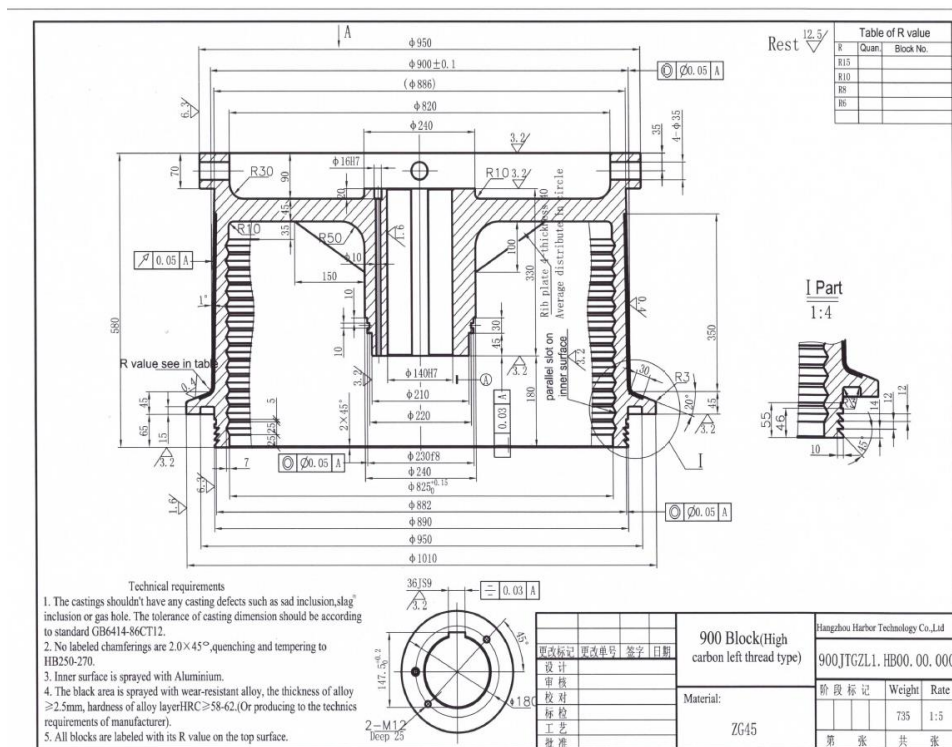
б) дайындама оралатын барабан

Сурет 3 – Сымды созуға қолданылатын барабандар

Барабан айналу денесін білдіреді (4-сурет), ZG45 маркалы болаттан әзірленген. Қаттылығы HRC 55-62. Қолданылу мерзімі 22000 сағат, үш жылға тең. Әр блоктан соң тербелісті басатын құрылғылар орнатылады.

Барабанға оралатын сымның сапасы және дәлдігі барабанды салқындату жүйесімен байланысты [8]. Орайтын құрылғыдағы температура қаншалықты жоғарыласа, соншалықты сымның механикалық қасиеттері төмендейді [9].

Дайындаманы созу станогында созуда оларды барабанға орайды. Сымның үзілу күшінің стандарт талаптарына сәйкес келмеуінің себебі барабандардың температуралық режимінің бұзылғанынан болуы мүмкін. Сондықтан барабан температуралары әр 1,5 сағат сайын контактілі сандық термометрдің көмегімен өлшенді. ӨҚ паспортына сәйкес өлшеу қателігі  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ , тексеруден өткен. Өлшеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.



Сурет 4 – Барабанның жұмыс сызбасы

Кесте 1 – № 2 созу станогының барабан температуралары

Дайындама диаметрі, мм	Барабан температуралары, $^{\circ}\text{C}$							
	№1	№2	№3	№4	№6	№7	№8	№9
12	40	33	34	40	36	41	46	57



	48	42	40	44	51	49	56	50
	36	37	36	36	38	48	40	50
	53	52	55	56	53	54	60	57
	56	56	51	43	45	40	39	40
	56	38	46	42	56	54	50	50
	50	50	37	30	32	45	63	50
	43	46	51	55	51	49	53	48
	47	51	53	47	47	45	49	53
	48	52	52	47	46	50	70	50

### Статистикалық зерттеу нәтижелері және талқылау

Қаражатты, көп уақытты талап ететін тәжірибе жүргізбес үшін алдымен STATISTICA қолданбалы бағдарламасында өлшеу нәтижелерінің сипаттамалық нәтижелерін зерттейміз, нәтижесінде (5 – сурет) мыналар анықталды:

- температура көрсеткіштерінің орташа арифметикалық мәні 8, 9 блоктарда номиналды температурадан жоғары;

1, 2, 3, 7, 8, 9 блоктарындағы температура көрсеткіштерінің медианасы номиналды температураның жоғарғы ауытқуына жақын;

2, 3, 6, 9 блоктардағы температура көрсеткішінің модасы номиналды температураның жоғарғы ауытқуынан жоғары мәнге ие және екі рет қайталанаған;

температура көрсеткіштерінің максималды және минималды мәндерінің арасында ауытқу жоғары мәнге ие, орта есеппен 22°C;

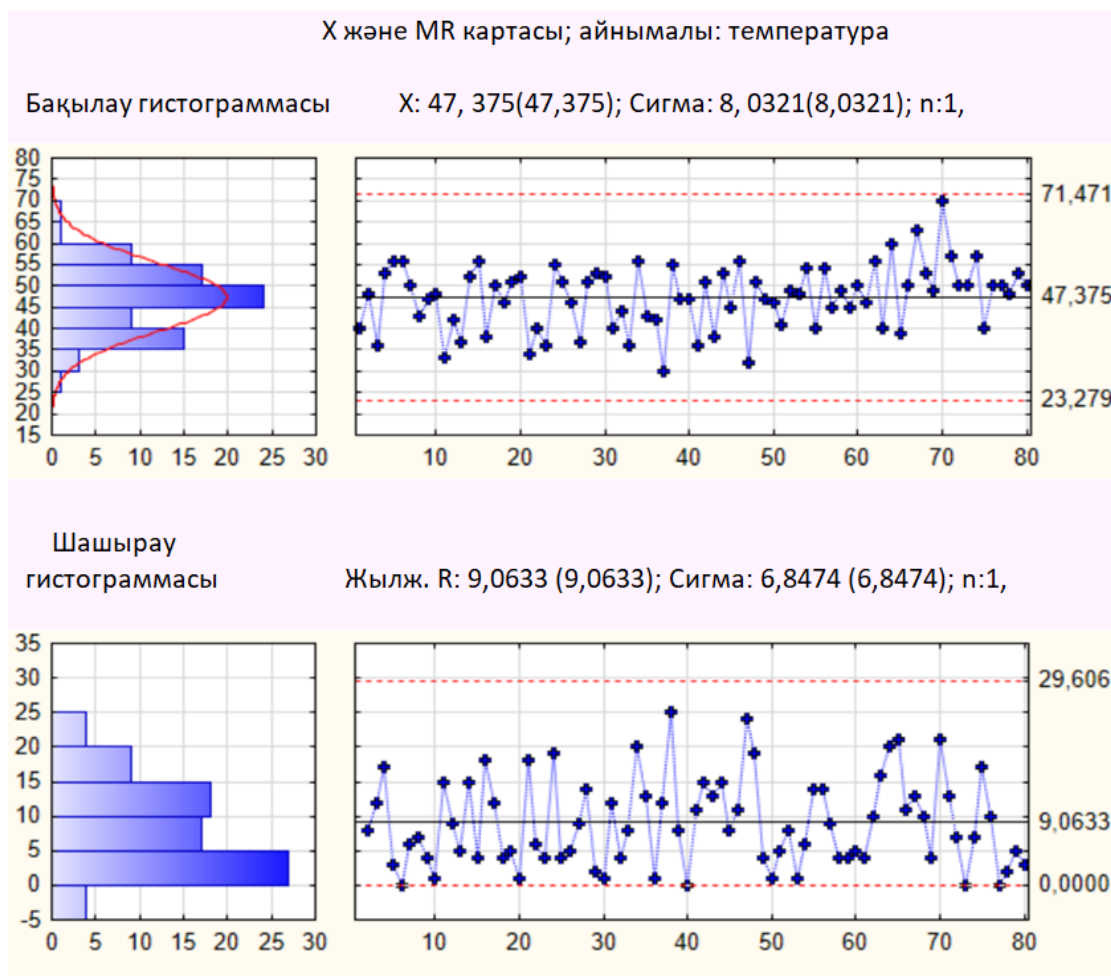
вариация коэффициенті 10% - дан аз, вариация қатарының өзгергіштігі (9 блок) 10% - дан 20% - ға дейін орташа мәнге ие.

Переменная	Среднее	Усеченн. средн. 5,0000%	Винсориз. средн. 5,0000%	Кр. Граббса Статист.	р-значен ие	Медиана	Мода	Частота моды	Сумма	Минимум	Максим.	Козф. Ва р.
Блок №1	47,70000	48,12500	48,10000	1,777130	0,536296	48,00000	Множест.	2	477,0000	36,00000	56,00000	13,80220
Блок №2	45,70000	46,00000	45,70000	1,636384	0,820707	48,00000	52,00000	2	457,0000	33,00000	56,00000	16,98252
Блок №3	45,50000	45,75000	45,50000	1,439375	1,000000	48,50000	51,00000	2	455,0000	34,00000	55,00000	17,55951
Блок №4	44,00000	44,25000	44,50000	1,768519	0,551466	43,50000	47,00000	2	440,0000	30,00000	56,00000	17,99143
Блок №6	45,50000	45,87500	45,60000	1,713734	0,654655	46,50000	51,00000	2	455,0000	32,00000	56,00000	17,31326
Блок №7	47,50000	47,62500	47,60000	1,565750	0,994116	48,50000	Множест.	2	475,0000	40,00000	54,00000	10,08429
Блок №8	50,80000	50,75000	50,60000	1,561197	1,000000	51,00000	Множест.	1	508,0000	39,00000	63,00000	15,38291
Блок №9	50,50000	51,00000	51,30000	2,181512	0,097033	50,00000	50,00000	5	505,0000	40,00000	57,00000	9,53104

Сурет 5 – Температура көрсеткіштерінің сипаттамалық талдауы



Шухарттың бақылау диаграммасынан барабан температураларының жүйелік өзгеру шекараларын анықтаймыз (6-сурет). X және R карталарынан процесті басқаруға болатынын, тіркелген орташа шаманың бірден үлкейгені анықталды, сонымен қатар, осы кезеңде максималды диапазон мәні (8-блок) (5-сурет) тіркелген және ол ең жоғарғы бақылау шегіне сәйкес келген. Бұл сымды созу процесінің тұрақсыз күйге өтуін көрсетеді.



Сурет 6 – Шухарттың бақылау картасы

Жоғарғы мәндер тіркелген блоктардың барабандарын шешіп тексеріп оның ішкі қабырғаларындағы қақтың түзілгенін көруге болады (7-сурет). Барабандардың жоғары температуралары қақтың түзілуімен тікелей байланысты болуы мүмкін. Сондықтан қақтың сандық және сапалық көрсеткіштерін сынау үшін барабан қабырғаларынан қақтың үлгісі алынды, оның түсі қоңыр, ылғалды, борпылдақ. Сапалық бағалау үшін 0,20 г. тұнбаны 0,30г бор қышқылында таблетка түрінде престеп, «ЛАЭС Матрикс Континуум» атомды эмиссионды спектр аспабына тіркелді (8-сурет).



Сурет 7 – Барабанның қабырғасындағы қақтар

Сандық бағалау үшін үлгі 120°C -та тұрақты массаға дейін кептірілді. 0,1 г үлгі «Меркурий» қысқа толқынды қондырғысын қолдана отырып минералды қышқылда ерітілді. Ерітінді «Agilent MP-AES 4210» атомды-эмиссия спектрометрінде талданды (9-сурет), сандық сараптама мәліметі бойынша тұнба 73 г/кг алюминий, 24,6 г/кг кальций, 3,3 г/кг магний, 26,8 г/кг темірден тұрады.



Сурет 8 – «ЛАЭС Матрикс  
Континуум» аспабы



Сурет 9 – «Agilent MP-AES 4210» аспабы

Барабан қабырғасындағы қақ қалыңдығының созу станогының жұмысына тигізетін әсерін белгілеу үшін алдымен оның денесі арқылы өтетін жылу ағынын [10] анықтаймыз:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \cdot S \quad (1)$$

мұндағы  $S$  -барабан бетінің ауданы, мм<sup>2</sup>;

$\delta$  – қақтың қалыңдығы, мм;

$\lambda$  – қақтың жылуөткізгіштігі, Вт/м×К.

$\Delta t$  – барабанның орташа температурасы, °С.

Барабан бетінің ауданы, мм<sup>2</sup>:

$$S = 2\pi R^2 + 2\pi R L, \quad (2)$$

мұндағы,  $R$  - барабанның диаметрі, м;  
 $H$  - барабанның биіктігі, м.

Барабанды қыздыру беттерінің термиялық кедергісі, жылу өткізгіштіктің кері мәні келесі формула бойынша анықталды:

$$R_B = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

мұндағы,  $\delta$  – су қабатының қалыңдығы, мм;  
 $\lambda$  – болаттың жылуөткізгіштігі, Вт/м×К.

Құрғақ қақтың термиялық кедергісі, жылу өткізгіштіктің кері:

$$R_K = \delta / \lambda \quad (4)$$

мұндағы,  $\delta$  – қақтың қалыңдығы, мм;  
 $\lambda$  – қақтың жылуөткізгіштігі, Вт/м×К.

Барабанның құрғақ қақпен бірге термиялық кедергісі:

$$R = R_B + R_K \quad (5)$$

мұндағы,  $R_B$  – барабанды қыздыру беттерінің термиялық кедергісі;  
 $R_K$  – құрғақ қақтың термиялық кедергісі.

Барабанның құрғақ қақпен бірге жылуөткізгіштігі:

$$k = \frac{1}{R} \quad (6)$$

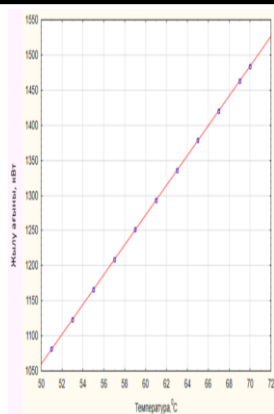
мұндағы,  $R$  – барабанның құрғақ қақпен бірге термиялық кедергісі.

Қабырғасында қағы бар барабанның жылу ағыны:

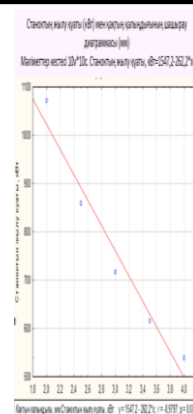
$$Q = k \times S \times T \quad (7)$$

мұндағы,  $S$  – барабанның жылу өткізу бетінің ауданы, м<sup>2</sup>;  
 $T$  – сымның температурасы, К;  
 $k$  – құрғақ қақты барабанның жылуөткізгіштігі, Вт/м×К.

Есептелген мәндер STATISTICA қолданбалы бағдарламасына енгізілді және барабан температурасының жылу ағынына тікелей пропорционалды тәуелділігі (10-сурет) анықталды. Тәуелділік бойынша қақ қалыңдаған сайын оның денесі арқылы өтетін жылу ағынының көлемі көбейген, ал ол сәйкесінше барабан температурасын жоғарылатады.



Сурет 10 – Барабан температурасының жылу ағынына тәуелділігі



Сурет 11 – Қақ қалыңдығы және созу станогының жылу қуатының арасындағы тәуелділік

Қақ қалыңдығының станоктың жылу қуатының арасындағы шашырау диаграммасына (11-сурет) сәйкес бір айнымалының екіншісіне қатысты өзгеру дәрежесі екі айнымалы арасындағы корреляция күшін сандық түрде анықтайтын корреляция коэффициентімен өлшенді және ол (-1) мен (+1) аралығында. Корреляция коэффициенті  $r=-0,9707$  тең. Графиктен корреляциялық тәуелділіктің кері байланысы анықталды, яғни барабан қабырғасындағы қақ қалыңдаған сайын, станок көп энергияны талап етеді.

### Қорытынды

Сараптау арқылы ЖШС «Қаз-метиз» өндірісінде метиздік өнімдерді өндірген жалпы өнімінен ақаулардың пайызы анықталды, жалпы ақаудың 91,85% патенттелген дайындаманы созу станогында өндегенде тіркелген. Аналитикалық және эксперименттік ғылыми зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес сымның үзілу күшінің техникалық регламент талаптарына сәйкес келмеуі созу станогы барабанының қызуынан болуы мүмкін.

Сондықтан барабан температуралары әр 1,5 сағат сайын контактілі сандық термометрдің көмегімен өлшенді. STATISTICA қолданбалы бағдарламасында өлшенген мәндер өңделіп барабан температураларының сипаттамалары зерттелді. Шухарттың бақылау картасы арқылы барабан температураларының жүйелік өзгеру шекаралары анықталды. Қақтың сандық және сапалық көрсеткіштеріне сынақтар жүргізілді. Қақ қалыңдығының созу станогы жұмысына тәуелділігі, тәуелділіктің корреляция коэффициенті анықталды. Корреляция коэффициенті  $r=-0,9707$  тең. Корреляциялық тәуелділік кері байланыста, яғни барабан қабырғасындағы қақ қалыңдаған сайын, станок көп қуат жұмсайды.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Buzauova, T. M., Mateshov, A. K., Kaizait, Zh.** Selection of the workpiece type for the steel reinforcement rope production. Наука и техника Казахстана. № 3, 2023. – P. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.48081/YSCT6829>

2 **Белалов, Х. Н., Клековкин, А. А., Клековкина, Н. А., Гун, Г. С., Корчунов, А. Г., Полякова, М. А.** Стальная проволока : монография- Магнитогорск, 2015. – 689 с.

3 **Joong, K.H., Young, C. C.** Effects of contact conditions at wire-die interface on temperature distribution during wire drawing. Processes. – 2023, 11(2), 513; – P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11020513>

4 **Харитонов, В. А., Галлямов, Д. Э.** Повышение комплекса механических свойств стальной проволоки на основе разработки совмещенно- комбинированного способа волочения. –Магнитогорск : Магнитогорский технический государственный университет им. Г. И. Носова, 2015. – 1–6 с.

5 **Харитонов, В. А., Галлямов, Д. Э.** Повышение эффективности волочения на основе применения совмещенно-комбинированных процессов. //Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации, 2016. – 71–77 с.

6 **Vega, G., Haddi, A., Imad, A.** Temperature effects on wire drawing process: experimental investigation. International Journal of Material Forming, 2016.-P.229-232.

7 **Joong, K. H.** Comparison of temperature Distribution between TWIP and plain carbon steels during wire drawing. - Materials 2022, 15(23), 8696, 2022.-P.15-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15238696>.

8 **Domiaty, A., Kassab, S.** Temperature rise in wire-drawing. Journal of Materials Processing Technology, Volume 83, Issues 1–3, 2018. – P. 72–83. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00045-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00045-4).

9 **Chiran, D. M. O. Ranaraja, Devasurendra, J. W., Maduwantha, M.I.P., Madhuwantha, G.A.L., Hansa, R.Y.D.** Optimization of a industrial boiler operation. Journal of research technology and engineering, Vol 1, Issue 3, 2020. – P. 126–134.

10 **Юдаев, Б. Н.** Теплопередача. М. : Высшая школа. 1981. 319 с.

## REFERENCES

1 **Buzauova, T. M., Mateshov, A. K., Kaizait, Zh.** Selection of the workpiece type for the steel reinforcement rope production. Наука и техника Казахстана. № 3, 2023. – P. 83–93 DOI: <https://doi.org/10.48081/YSCT6829>

2 **Belalov, Kh. N., Klekovkin, A. A., Klekovkina, N. A., Gun, G. S., Korchunov, A. G., Poliakova, M. A.** Stalnaia provoloka [Steel wire: monograph] - Magnitogorsk, 2015. – 689 p.

3 **Joong, K. H., Young, C. C.** Effects of contact conditions at wire-die interface on temperature distribution during wire drawing. Processes. – 2023, 11(2), 513; – P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11020513>.

4 **Kharitonov, V. A., Galliamov, D. E.** Povyshenie kompleksa mekhanicheskikh svoistv stalnoi provoloki na osnove razrabotki sovmeshchenno- kombinirovannogo sposoba volocheniia [Improving the complex of mechanical properties of steel wire based on the development of a combined drawing method]. –Magnitogorsk: Magnitogorskii tekhnicheskii gosudarstvennyi universitet im. G. I. Nosova, 2015. – 1–6 p.

5 **Kharitonov, V. A., Galliamov, D. E.** Povyshenie effektivnosti volocheniia na osnove primeneniia sovmeshchenno-kombinirovannykh protsessov [Increasing drawing efficiency based on the use of combined processes]. //Chernaia metallurgii. Biulleten nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii, 2016. – 71–77 p.

6 **Vega, G., Haddi, A., Imad, A.** Temperature effects on wire drawing process: experimental investigation. International Journal of Material Forming, 2016. – P. 229–232.

7 **Joong, K. H.** Comparison of temperature Distribution between TWIP and plain carbon steels during wire drawing. - Materials 2022, 15(23), 8696, 2022. – P. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15238696>.

8 **Domiaty, A., Kassab, S.** Temperature rise in wire-drawing. Journal of Materials Processing Technology, Volume 83, Issues 1–3, 2018. – P. 72–83. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00045-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00045-4).

9 **Chiran, D. M. O. Ranaraja, Devasurendra, J. W., Maduwantha, M. I. P., Madhuwantha, G. A. L., Hansa, R. Y. D.** Optimization of a industrial boiler operation. Journal of research technology and engineering, Vol 1, Issue 3, 2020. – P. 126–134.

10 **Iudaev, B. N.** Teploperedacha [Heat transfer]. М. : Vysshaia shkola. 1981. 319 p.

23.11.2023 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

12.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

*\*Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, Ж. К. Кайзаит<sup>2</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>2</sup>ТОО «Maker (Мэйкер) КЛМЗ», Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>3</sup>Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, г. Могилев.

Поступило в редакцию 23.11.2023

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 12.03.2024

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНКА В ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЕ «STATISTICA»

*В производстве метизной продукции на ТОО «Каз-метиз» наблюдалось снижение производительности. В результате статистического анализа был определен процент брака, относящийся к общему объему*

*произведенной продукции. Большая часть дефектов была зафиксирована в процессе волочения проволоки, то есть при испытаниях прочность проволоки на разрыв не соответствует требованиям ГОСТ 7348-81, проводимые на каждом этапе производства.*

*Одним из важнейших этапов обеспечения качества готового изделия является обработка патентованной заготовки на волочильном станке. После обработки давлением в заготовках формируются важные показатели качества удовлетворяющие потребителей. Дефекты, возникающие при обработке заготовки, оказывают непосредственное влияние на качество готовой продукции, соответственно исследование причин часто возникающихся дефектов является актуальной задачей.*

*Для устранения данной проблемы температуру барабанов волочильного станка измеряли каждые 1,5 часа контактными цифровыми термометром ТК-5,04. При измерении температур барабана было зафиксировано несколько отклонений. С целью изучения количественных и качественных показателей результатов измерений был проведен анализ в программе STATISTICA, создана карта Шухарта для контроля качества, установлена зависимость температуры барабана от теплового потока. Определены количественные и качественные параметры накали, а также коэффициент корреляции зависимости толщины накали и производительности волочильного станка с использованием диаграммы рассеяния, который равен  $r = -0,9707$ .*

*Ключевые слова: арматурные канаты, дефекты, разрывное усилие проволоки, волочильный станок, барабан.*

**\*Т. М. Buzauova<sup>1</sup>, Zh. K. Kaizait<sup>2</sup>, L. A. Sivachenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>2</sup> LLP «Maker KLMZ», Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>3</sup> Belarusian-Russian University, Republic of Belarus, Mogilev.

Received 23.11.2023

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 12.03.2024

## ANALYSIS OF THE DRAWING MACHINE OPERATION IN THE «STATISTICA» APPLICATION PROGRAM

*In the production of hardware products at Kaz-metiz LLP, there was a decrease in productivity. As a result of statistical analysis, the percentage of defects related to the total volume of products produced was determined. Most of the defects were recorded during the wire drawing process, that is, during tests,*

---

*the tensile strength of the wire does not meet the requirements of GOST 7348-81, carried out at each stage of production.*

*One of the most important stages in ensuring the quality of the finished product is processing the patented blank on a drawing machine. After pressure treatment, important quality indicators are formed in the workpieces that satisfy consumers. Defects that arise during the processing of a workpiece have a direct impact on the quality of the finished product; accordingly, the study of the causes of frequently occurring defects is an urgent task.*

*To eliminate this problem, the temperature of the drawing machine drums was measured every 1.5 hours with a ТК-5.04 contact digital thermometer. When measuring drum temperatures, several deviations were recorded. In order to study the quantitative and qualitative indicators of the measurement results, an analysis was carried out in the STATISTICA program, a Shewhart map was created for quality control, and the dependence of the drum temperature on the heat flow was established. The quantitative and qualitative parameters of scale were determined, as well as the correlation coefficient between the thickness of scale and the productivity of the drawing machine using a scatter diagram, which is equal to  $r = - 0.9707$ .*

*Keywords: reinforcing ropes, defects, wire breaking force, drawing machine, drum.*

XFTAP 65.13.13

**М. М. Какимов<sup>1</sup>, М. Т. Мурсалыкова<sup>1\*</sup>, С. Д. Токаев<sup>1</sup>,  
Д. Р. Орынбеков<sup>2</sup>, А. К. Мустафаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,



Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

Қазақстан Республикасы, Семей қ.

## МАҚСАРЫ ӨНІМДЕРІН ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ПРЕСС ЖАБДЫҒЫН ЖЕТІЛДІРУДІҢ ТИІМДІ ЖОЛДАРЫ

*Соңғы кезде мақсары өнімдеріне деген сұраныс жылдан жылға өсуде, оған егістік алқаптарының артуы мен мақсары майын тұтынушылар арасындағы танымалдылығы. Ғылыми-зерттеу жұмыстары негізінде мақсары майын өндіруде пресс жабдығы қарастырылды. Нәтижесінде мақсары майын өндіру технологиясының терең зерттелмеуі мен кең қолданыс таппауына байланысты, көптеген мәселелер шешімін таппауда. Мысалы, белгілі шнекті пресс жабдықтарын қолдану, басқа кең көлемді өнім өндіру жабдықтарындай металл, электр мен жылу энергиясын және т.б. шығындарды көп жұмсауы сияқты ортақ кемшіліктер кездеседі. Сонымен қатар шнекті престердің басты кемшіліктердің бірі ол, престоу процесі кезінде өнімде массалмасу процесінің жүруіне байланысты құрылымдық-механикалық қасиеттерінің өзгерісі салдарынан шнек орамдарында қысым шамасының тұрақсыздығы мен өзгерісі. Осының әсірінен қысым шамасының шнек орамдарының арнасына тиімді таралмауы, жабдықтағы өнімділіктің төмендеуі, престоуден кейін желіде қосымша өңдеу операцияларының орындалуы мен операцияаралық шикізат шығындарының және еңбек күшінің артуы. Сондықтан өсімдік майы технологиясы желісіндегі пресс жабдығын талаптарға сай қайта жабдықтау, бүгінгі заман қажеттілігіне байланысты туындап отырған мәселелердің бірі. Туындаған мәселелерді шешу үшін престоу процесінің тиімді жолдары ұсынылып, пресс жабдығы жетілдірілді.*

*Кілтті сөздер: жабдық, пресс, шнек, қысым реттегіш, сығу, мақсары, өсімдік майы.*

### Кіріспе

Қазақстан Республикасындағы тамақ өнеркәсібін дамытудың басты бағыттарының бірі – май өндірісі. Экономикалық көзқараспен қарағанда, Қазақстанда май өнеркәсібі күннен-күнге танымалданып, даму үстінде. Май өнеркәсібі саласын дамыту бағдарламасы шеңберінде Қазақстанда май дақылдарын өсіретін егіс алаңын 2030 жылдарға қарай қазіргі 2,36 млн. га-дан 5 млн. га дейін ұлғайту, сонымен қатар орташа есеппен өнім алуды 10,5 ц/га-дан 14 ц/га-ға дейін арттыру жоспарланып отыр. Бұл бағдарламаның - негізгі операторы Қазақстан Республикасының үкіметі, Қазақстан Республикасы ауылшаруашылық министрлігінің негізгі салалары болып табылатын агроөнеркәсіптік кешенін дамытудың ұлттық бағдарламасымен бірлесіп әзірленген. Сондай-ақ май өндірісін оңтайлы дамытудың негізгі факторы - өнімді белсенді түрде сату, өйткені май және ақуызды өнімдерге деген әлемдік сұраныс артып келеді, ал Қазақстанның органикалық май өнімдерінің экспорттық әлеуеті Орталық Азия, Европа, Ресей және Қытай елдерінің нарығында жоғары орын алып отыр [1].

Қазіргі таңда мемлекеттің агроөнеркәсіп кешенінің тұрақты дамуының негізі ауылшаруашылығы өнімдерін өсіру мен өндіру көлемін ұлғайту болып табылады. Нәтижесінде ішкі нарықтағы сұранысты толық қанағаттандырып, импорт санын

азайтып, экспорт көлемін ұлғайту мақсаты алдымызда тұр. Осыған орай Қазақстандағы жер мен су ресурстарын дұрыс пайдаланып, астық пен май дақылдарын өсіру жұмыстарын жаңа деңгейге көтеріп, өндірілетін өнімдердің ассортиментін кеңейту қажет. Мысалы, майлы дақылдардың ішінде барлығына танымал күнбағыс майынан басқа, қазіргі таңда зығыр, соя мен мақсары майларының танымалдылығы мен оларға деген сұраныс жылдан-жылға өсуде. Осының ішінде мақсары майының Қазақстандағы танымалдығы төмен, бірақ оның пайдасымен артықшылықтары ерте заманнан белгілі [2].

Мақсары майы – химиялық құрамына байланысты медицинада, фармацевтика саласында, тамақ өнімдері өндірісінде пайдалануға мүмкіндігі бар ерекше өнім. Осыған орай, мақсары майын биологиялық құндылығы жоғары, дәрумендік және фосфолипидтік құрамына бай. Мақсарының артықшылықтарына қарамастан, өкінішке орай Қазақстанда әлі де шикізаттық мемлекет болып, мақсары майын техникалық мақсатта, ал дәндерін шет мемлекеттерге экспортқа шығаруда. Бұл мәселені шешу үшін мақсары майының танымалдылығын өсіріп, майлы дақылдарды шикізат түрінен толыққанды өнім ретінде экспортқа шығарып, тұтынушыларға ұсыну қажет [3; 4].

Мақсары дәні май қышқылдарының жалпы мөлшерінің 90 %-дай шамасын құрайтын екі негізгі май қышқылдарымен: олеин және линолмен қаныққан, және де жоғары сапалы тағамдық майлардың көзі ретінде бағаланады. Негізгі олеин немесе линол қышқылдарынан басқа, мақсары майының құрамында пальмитин, стеарин, миристин, линолен қышқылдары мен әртүрлі дәрумендер бар [5].

Өсімдік майы өндірісінде басты процестердің қатарына престоу процесін жатқызуға болады. Қазіргі кезде өсімдік майы өндірісінде престоу процесінің үздіксіз әдісі ғана қолданылады, яғни шнекті престер. Шнекті престерді қолдану тек қана желіні үздіксіз түрде жұмыс істеуін қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар өндірісті толық механикаландыруға мүмкіндік береді.

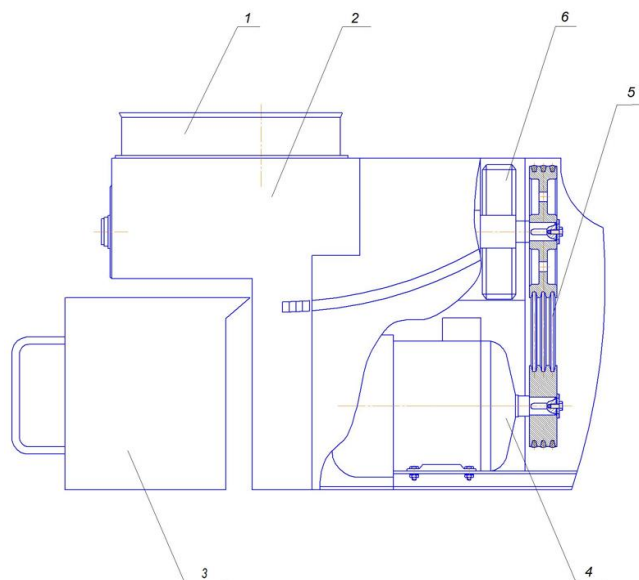
Бірақ белгілі шнекті пресс жабдықтарын қолдану, басқа кең көлемді өнім өндіру жабдықтарындай металл, электр мен жылу энергиясын және т.б. шығындарды көп жұмсауы сияқты ортақ кемшіліктер кездеседі. Сонымен қатар шнекті престердің басты кемшіліктердің бірі ол, престоу процесі кезінде өнімде массалмасу процесінің жүруіне байланысты құрылымдық-механикалық қасиеттерінің өзгерісі салдарынан шнек орамдарында қысым шамасының тұрақсыздығы мен өзгерісі. Осының әсірінен қысым шамасының шнек орамдарының арнасына тиімді таралмауы. Нәтижесінде престоуде және престелгеннен кейін өнімнің физикалық қасиеттері мен технологиялық жағдайлары процестің және өндірістің талаптарын қанағаттандыра бермеуінде. Осының салдарынан жабдықтағы өнімділіктің төмендеуі, престоуден кейін желіде қосымша өңдеу операцияларының орындалуы мен операцияаралық шикізат шығындарының және еңбек күшінің артуы. Сондықтан өсімдік майы технологиясы желісіндегі пресс жабдығын талаптарға сай қайта жабдықтау, бүгінгі заман қажеттілігіне байланысты туындап отырған мәселелердің бірі.

### **Материалдар мен әдістер**

Тәжірибелік зерттеулер «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеттің» КЕАҚ, инженерлі-технологиялық факультетінің «Тамақ өнімдерінің технологиясы мен техникасын жетілдіру» зертханасында және С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің КЕАҚ «Ауыл шаруашылық өнімдерін өңдеу»

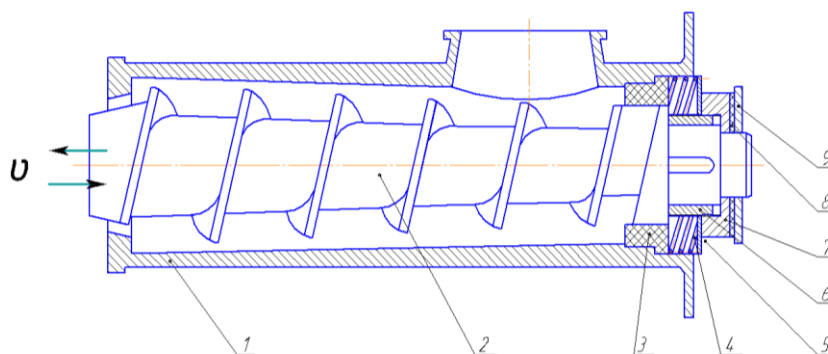
ғылыми-экспериментальдық платформасының Өсімдік майы эксперименттік-өндірістік цехында жүргізілді.

Тәжірибелік жабдық ретінде өсімдік майына арналған (сурет 1) пресс жабдығы таңдап алынып, құрылым жетілдірілді [6; 7].



а)

1 – шанақ; 2 - тәжірибелік пресс; 3 – май ағатын ыдыс; 4 – электроқозғалтқыш; 5 – таспалы беріліс; 6 – қысым реттейтін сомын.



б)

1 – зеерлі цилиндр; 2 – престоуші шнек; 3 – сырғанау ұштірегі; 4 – қысымды реттегіш серіппе; 5 – шайба; 6 – бұрандалы сомын; 7 – жаппа сомын; 8 – резеңкелі нығыздағыш сақина; 9 – бақылау сомысы.

Сурет 1 – Тәжірибелік пресс жабдығының сұлбасы: а) пресс жабдығының жалпы көрінісі; б) пресс жабдығының қимасы

Престоуші шнек ілгері-кейінді бағытта қозғалатындай және 10-12<sup>0</sup> градус көлбеулікте конусты түрде жасалған. Зеерлі цилиндрдің ішкі диаметрі престоуші шнек көлбеулігіне сәйкес келеді. Бұндай ерекшілік престоуші шнекті ілгерлі-кейінді бағытта қозғалта отырып, престоуші шнек пен зеерлі цилиндр арасындағы саңылауды тарылтуға және кеңейтуге мүмкіндік береді. Осы қысымды реттеу механизмі арқылы престоуші шнектің әрбір орамына бір мезетте қысым түсіре аламыз. Ұсынылған

механизм, престоуші шнек арнасында бойлық қысыммен қатар бүйірлік қысымның түсуіне де мүмкіндік береді [8].

Қысымды реттеу механизмі серіппеден, жаппа сомысынан, бақылу сомысынан, екі сырғымалы үштіректен, шайбадан және резеңкелі нығыздағыш сақинадан тұрады.

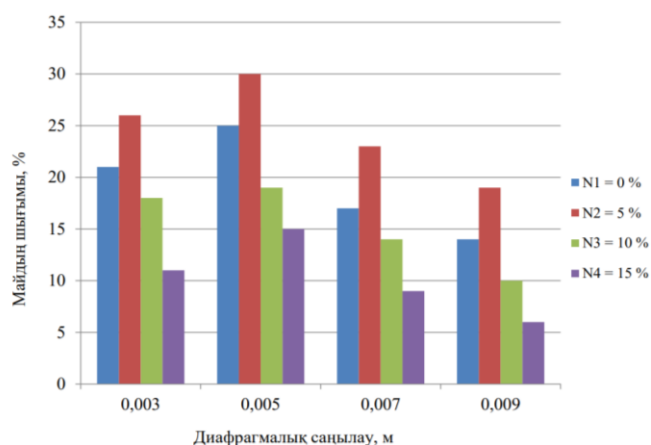
Пресс жабдығы келесі тәртіппен жұмыс істейді: қауыздалған мақсары дәндері тиеу шанағы 5 жүктеліп престоу камерасына келіп түседі. Өнімнің жүріс бағыты бойынша престоуші шнектің 2 арнасының біртіндеп тарылуы салдарына бойлық қысымның әсерінен, сығымдалған мақсарының езбесінен май зерлі цилиндрдің конус тәрізді саңылаулары арқылы май жинайтын арнайы ыдысқа ағады. Престоу камерасындағы қысым біз ұсынылған қысымды реттеу механизмі 4 арқылы реттеледі.

Көп факторлы тәжірибе жүргізу нәтижесінде мақсары дақылының температурасы, ылғалдылығы, майлылығы және т.б. параметрлерінің орташа көрсеткіштері өлшеніп, оңтайлы өлшемдері алынды.

### Нәтижелер мен талқылау

Престоу процесінде мақсары майының шығымын арттыру үшін мақсары дәндерін алдын ала дайындау үлкен маңызға ие. Соның ішінде мақсары дақылының гранулометриялық құрамының престоу процесіне әсерін зерттеу маңызды.

Мақсары дақылын престемес бұрын қауызынан алдын-ала тазартады. Қауыздалған мақсары дәнінің жалпы ақуызды липидті фракциясы алынып тасталады және ол престоуге жіберіледі. Өйткені мақсары дәнін қауыздау, дақылды май мөлшері аз компоненттерден алдын-ала ажыратып престелетін мақсары дәнінің құрамының майлылығын арттырады. Нәтижесінде бөлінетін майдың сапасы артады, қауыздан ажырату кезінде майға балауызды заттарға бай қауыздардың липидтері түспейді. Олардың майға сіңуі өнімнің тауарлық сапасын нашарлатады және балауыздың ұсақ кристалдарының суспензиясы немесе "торы" пайда болады, оларды балауыздардың химиялық инерттілігіне байланысты тек майды ұзақ уақыт өңдеу кезінде ғана алып тастауға болады. Тағы бір тоқтала кететін мәселе, престоу процесі кезінде дәндерді қауыздау оның құрамының механикалық беріктігін төмендетеді және жабдықтың жұмысшы органдарының жылдам тозуының алдын алып, оның жұмыс істеу тиімділігін арттырады [9].



N – мақсары дақылындағы қауыздың пайыздық мөлшері

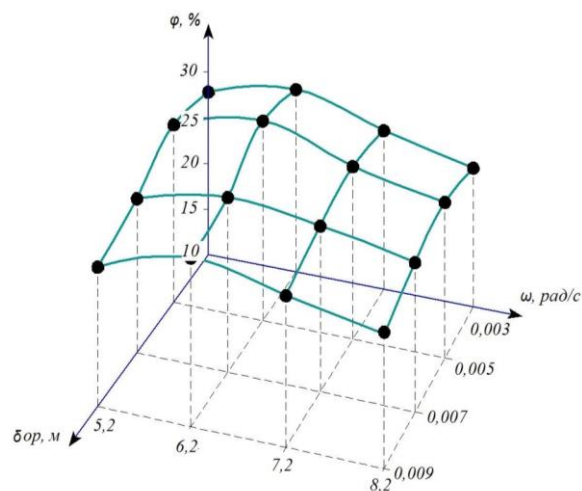
Сурет 2 – Май шығымының, диафрагмалық саңылау мен мақсары дақылындағы қауыздың пайыздық мөлшеріне тәуелді өзгерісі

Жоғарыдағы айтылған мәліметтерді ескере отырып, тәжірибелік жұмыстарды келесідей жүргізіледі. Мақсары дақылының гранулометриялық құрылымын анықтау зерттеу жұмыстың мақсатына байланысты майдың шығымының, қысым тудыру механизмінің әсеріндегі диафрагмалық саңылау мен мақсары дәніндегі қауыздың пайыздық мөлшеріне тәуелді қатынастармен көрсетілген (4.2 - сурет).

2-суретке сәйкес графикалық тәуелділіктерден диафрагма саңылауының мәні  $\delta=5 \cdot 10^{-3}$  м болғанда мақсары дақылындағы қауыздың пайыздық үлесінің оңтайлы мөлшерге  $N_3=5\%$  анықталды. Өйткені, бұл жағдайда мақсары дәнінде қауыздың тиімді пайыздық мөлшерінің болуы оның құрылымы жақсартып, пластикалық қасиетін төмендеуімен түсіндіре аламыз. Сонымен қатар майды бөлу кезінде қауыз дренаждау фактор ретінде әрекет етіп, майдың бөліну процесінің жақсартады.

Ғылыми жұмыстың негізгі мақсаты престоу процесін қарқындатуға қажетті үйлесімді факторларды анықтау. Сондықтан престоу процесін қарқындатуда қажетінше жылдамдықты арттыра отырып, майдың бөлінуіне қажетті оңтайлы қысымды беру. Осындай нәтижеге жету үшін қысым мен жылдамдықтың және диафрагмалық саңылаулардың өзара тәуелділіктерінің үйлесімді байланыстарын анықтау қажет. Олай болса ғылыми тәжірибелік жұмыстағы берілген графикалық кескіндерде анықталатын параметрлерді, жылдамдықтар мен диафрагмалық саңылаулардың тәуелділіктеріне байланысты баға бере отырып талдаймыз [10].

*Престоу процесі кезінде мақсары майының шығымының жылдамдықтар мен диафрагмалық саңылауларға тәуелділігі.* 3-суреттегі графикте майдың максималды шығу көрсеткішінің ең жоғары мөлшері  $\delta=5 \cdot 10^{-3}$  м. тең диафрагмалық саңылауда анықталды. Диафрагмалық саңылауды бұдан әрі кішірейту кезінде бөлінген маймен қатар мақсары дәнінің басқа да бөліктері зеерлі цилиндрде арласып бірге шығып және бөлінген майдың түсі қоңыр түске өзгерді. Сонымен қатар жылдамдықтары артқан сайын диафрагмалық саңылаулардың майдың шығу өзгерісінің айырмашылықтарының жақындағанын байқауға болады. Бұндай құбылысты жоғарғы жылдамдықтарда ( $\omega=7,2$  рад/с,  $\omega=8,2$  рад/с) уақытқа байланысты мақсары дәнінен майдың толық бөлініп үлгермеуі әсерінен престоу процесінің нашарлауымен байланыстырамыз. Жылдамдықтар арасында мақсары майының шығымы  $\omega=5,2$  рад/с жылдамдықта ең төмен көрсеткіште анықталды. Сондықтан бұл нүктеде майдың шығымына байланысты өнімділіктің төмен болуы және мақсары майының технологиялық стандартының тиімді көрсеткішіне сәйкес келмейтіндіктен үйлесімді параметр ретінде танылмайды. Осыған байланысты  $\omega=6,2$  рад/с жылдамдықты үйлесімді құрылымдық параметр ретінде аламыз.



$\omega = 5,2 \text{ рад/с,}$	$\phi = 0,009 \cdot \delta^3 - 0,154 \cdot \delta^2 + 1,23 \cdot \delta + 4,771,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 6,2 \text{ рад/с,}$	$\phi = -0,004 \cdot \delta^3 + 0,07 \cdot \delta^2 + 0,226 \cdot \delta + 8,446,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 7,2 \text{ рад/с,}$	$\phi = -0,005 \cdot \delta^3 + 0,11 \cdot \delta^2 - 0,535 \cdot \delta + 17,51,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 8,2 \text{ рад/с,}$	$\phi = 0,013 \cdot \delta^3 - 0,288 \cdot \delta^2 + 2,1476 \cdot \delta + 15,315,$	$R^2 = 1.$

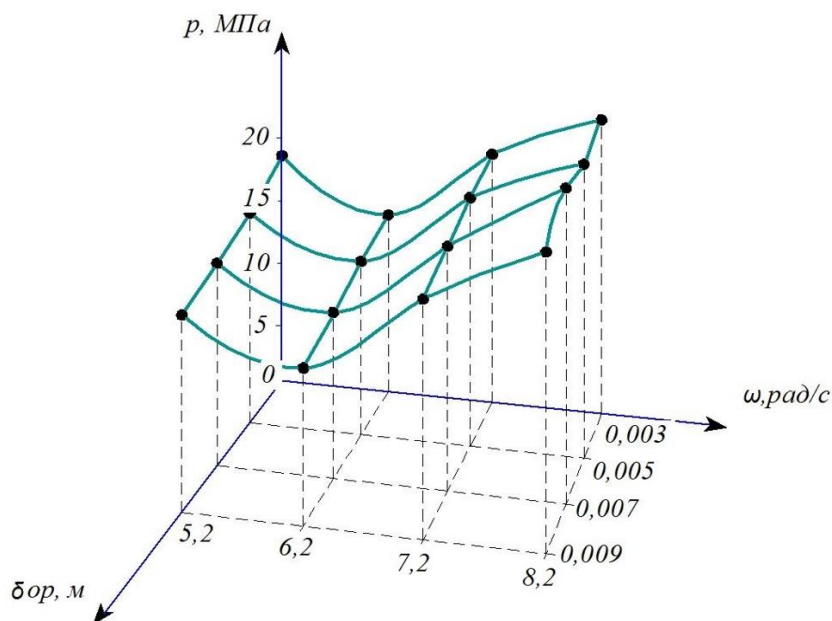
Сурет 3 – Престеу процесі кезінде мақсары майының шығымының жылдамдықтар мен диафрагмалық саңылауларға тәуелділігі

Престеу процесін зерттеуде ең негізгі параметрлердің бірі – престеу қысымы болып табылады. Қысымды анықтау нәтижесінде 4-суретке сәйкес ортақ екі түрлі құбылысты байқауға болады, ол күнжарадағы майлылықтың төмендеуіне және жылдамдықтардың өсуіне байланысты қысым шамасының артуы. Бұл құбылысты екі түрлі себептермен байланыстыруға болады:

1) майдың бөлінуіне байланысты өңделетін шикізат құрылымының өзгеруіне байланысты;

2) жылдамдықтардың әсерінен өңделетін шикізат ағынының артуымен.

Престеу процесіне қарағанда жылдамдықтардың әсері престеу қысымына көбірек болатындығын байқауға болады.



$\omega = 5,2$ рад/с,	$p = -0,008 \cdot \delta^3 + 0,174 \cdot \delta^2 - 1,42 \cdot \delta + 17,4,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 6,2$ рад/с,	$p = -0,01 \cdot \delta^3 + 0,21 \cdot \delta^2 - 1,57 \cdot \delta + 21,13,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 7,2$ рад/с,	$p = -0,03 \cdot \delta^3 + 0,61 \cdot \delta^2 - 4,65 \cdot \delta + 34,55,$	$R^2 = 1;$
$\omega = 8,2$ рад/с,	$p = -0,023 \cdot \delta^3 + 0,49 \cdot \delta^2 - 3,8 \cdot \delta + 35,56,$	$R^2 = 1.$

Сурет 4 – Мақсары дақылын престеуде қысымның, жылдамдықтар мен диафрагмалық саңылауларға тәуелді өзгерісі

Жоғарғы жылдамдықтарда қысымдар әсерінің белең алып, диафрагмалық саңылауларда айырмашылық көрсеткіштері алшақтай түскенін көруге болады. Бұл құбылысты престеу жылдамдығының артуына байланысты диафрагмалық саңылауларда майдың пайыздық көрсеткіштерінің жоғарлауынан ондағы тұтқырлықтың кемуі, сөйтіп ағындардың артуымен байланыстыруға болады.

Демек, тәжірибелік жұмыстар нәтижесінде төмендегідей қортындыға келуге болады, престеу қысымының артуы әрқашанда престелетін өнімнің құрамындағы майдың төмендеуіне кепілдік бере алмайды тек қана оңтайлы қысым шамасын өндірістің технологиялық ерекшеліктері мен құрылымдық-механикалық қасиетін, алынатын майдың мөлшері мен сапасын есепке алып, тәжірибелі жолмен анықталуы қажет. Яғни, пресс жабдығындағы қысымды реттеу механизмімен үнемі бақыланып реттеліп отыруы керек.

### Қорытындылар

Престеу процесін қарқындату жолдары теориялық және тәжірибелік зерттеулер арқылы анықталды. Жетілдірілген жабдықтың құрылымына қысым реттегіш механизмін кіргізу нәтижесінде, конусты шнек пен конус тәрізді тордың арасындағы саңылаудың тұтас өзгеруін қамтамасыз ете отырып қысымның шнектің бойлық өсіне біркелкі таралуын қамтамасыз ету арқылы май бөлу процесін қарқындатып, меншікті

қуат шығынын азайтуға қол жеткізілді. Нәтижелер ғылыми-зерттеу орталықтарында және шағын май өндірістерінде мақсары майын өндірудің тиімді жолдарын қарастыруда пайдалануға болады.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 [Электрондық ресурс]. – <https://www.apk-inform.com/ru>.
- 2 Послание президента РК К. К-Ж. Токаева народу Казахстана. 01.09.2021.
- 3 **Liu L., Guan L.-L., Yang Y.** A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil // World J. Tradit. Chin. Med. - 2016. - №2. – P. 48–52.
- 4 Alfonso Cerrotta, Lilia Ivone Lindström, Viviana Echenique. Selection tools for oil content and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) PMID: 33603552. PMCID: PMC7878940. DOI: 10.1270 /jsbbs. 200 53.- 2020.
- 5 **Искаков, Б. М., Какимов, М. М., Сатаева, Ж. И., Мурсалыкова, М. Т.** Мақсары майын бастапқы тазарту технологиясының мәселелерін шешу жолдары. - Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. – Алматы, 2022. - №2. - Б.49-56.
- 6 **Мурсалыкова, М. Т., Какимов, М. М., Касенов, А. Л., Искаков, Б. М.** Май сығатын шнекті пресс. ҚР пайдалы модельге патент № 7977
- 7 **Мурсалыкова, М. Т., Касенов А. Л.** Совершенствование одношнекового маслопресса для прессования семян сафлора / Материалы Международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18(2): «Наука XXI века – Эпоха трансформации». - Астана, 2022. – С. 25-27.
- 8 **Мурсалыкова, М. Т., Какимов, М. М., Касенов, А. Л., Искаков, Б. М.** Совершенствование прессовочного оборудования для производства сафлорового масла в условиях минипроизводственных цехов. Вестник Алматинского технологического университета. – Алматы, 2022. - №1. – С. 58-65.
- 9 **Щербаков, В. Г.** Технология получения растительных масел. 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Колос, 1992. — 207 с. ил. - (Учебники и учеб.пособия для подгот. кадров массовых профессий).
- 10 **M. Mursalykova, M. Kakimov, A. Kassenov, B. Iskakov, Zh. Sergibayeva, E. Kaspakov, G. Zhumadilova, A. Shulnova, G. Kokayeva and A. Suychinov.** Mathematical Modeling of Screw Press Configuration for Processing Safflower Oil. Applied Sciences. - 2023. - №13. – 3057 p. <https://doi.org/10.3390/ app13053057>.

## REFERENCES

- 1 [Electronic resource]. – <https://www.apk-inform.com/ru>.
- 2 Message of the President of the Republic of Kazakhstan K. K-Zh. Tokayev to the people of Kazakhstan. 01.09.2021.
- 3 **Liu L., Guan L.-L., Yang Y.** A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil // World J. Tradit. Chin. Med. – 2016. – № 2. – P. 48–52.
- 4 Alfonso Cerrotta, Lilia Ivone Lindström, Viviana Echenique. Selection tools for oil content and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) PMID: 33603552. PMCID: PMC7878940. DOI: 10.1270 /jsbbs. 200 53. – 2020.



5 **Iskakov, B. M., Kakimov, M. M., Sataeva, Zh.I., Mursalykova, M. T.** Ways to solve the problems of the technology of primary purification of safflower oil. - Bulletin of Almaty Technological University. – Almaty, 2022. – No. 2. – P. 49–56.

6 **Mursalykova, M. T., Kakimov, M. M., Kassenov, A. L., Iskakov, B. M.** Screw oil press. Patent of the Republic of Kazakhstan for utility model No. 7977.

7 **Mursalykova, M.T., Kassenov, A. L.** Improvement of a single-screw oil press for pressing safflower seeds / Proceedings of the International scientific and Practical Conference "Seifullin readings – 18(2): «Science of the XXI century – the Era of transformation». - Astana, 2022. – P. 25–27.

8 **Mursalykova, M. T., Kakimov, M. M., Kassenov, A. L., Iskakov, B. M.** Improvement of pressing equipment for the production of safflower oil in the conditions of mini-production workshops. Bulletin of the Almaty Technological University. – Almaty, 2022. – No. 1. – P. 58–65.

9 **Shcherbakov, V. G.** Technology for the production of vegetable oils. 3rd ed., reprint. and additional – Moscow : Kolos, 1992. – 207 p. ill. - (Textbooks and studies.training manuals. cadres of mass professions).

10 **M. Mursalykova, M. Kakimov, A. Kassenov, B. Iskakov, Zh. Sergibayeva, E. Kaspakov, G. Zhumadilova, A. Shulnova, G. Kokayeva and A. Suychinov.** Mathematical Modeling of Screw Press Configuration for Processing Safflower Oil. Applied Sciences. – 2023. – № 13. – 3057 p. <https://doi.org/10.3390/app13053057>.

13.10.2023 ж. баспаға түсті.

түзетулерімен түсті.

26.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

**М. М. Какимов<sup>1</sup>, \*М. Т. Мурсалыкова<sup>2</sup>, С. Д. Токаев<sup>1</sup>,  
Д. Р. Орынбеков<sup>2</sup>, А. К. Мустафаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup> Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, г. Семей

Поступило в редакцию 13.10.2023

Поступило с исправлениями

Принято в печать 26.02.2024

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРЕССА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ САФЛОРА

*В последнее время спрос на сафлоровую продукцию растет из года в год, за счет увеличения посевных площадей и популярности сафлорового масла среди потребителей. На основе научноисследовательских работ рассмотрен шнековый пресс для производства сафлорового масла. В результате, в связи с недостаточно углубленным изучением и широким применением технологии производства сафлорового масла, многие проблемы остаются нерешенными. Например, при использовании шнековых прессов встречаются такие проблемы, как использование большого количества металла, а также электрической и тепловой энергии. Кроме*

*того, одним из главных недостатков шнековых прессов является нестабильность величины давления в витках шнека вследствие изменения структурно-механических свойств, обусловленных протеканием массообменного процесса в процессе прессования. Из этого следует, что величина давления не эффективно распределяется по каналу шнековых обмоток, снижается производительность на оборудовании, происходит выполнение дополнительных операций обработки в сети после прессования и увеличение затрат на межоперационное сырье и трудозатрат. Поэтому совершенствование прессового оборудования в технологии растительного масла в соответствии с требованиями является одной из проблем, возникающих в связи с современными потребностями.*

*Ключевые слова: оборудование, пресс, шнек, механизм регулятор, отжим, сафлор, растительное масло.*

***M. Kakimov<sup>1</sup>, M. Mursalykova<sup>2\*</sup>, S. Tokaev<sup>1</sup>,***

***D. Orynbekov<sup>2</sup>, A. Mustafayeva<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,  
Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>2</sup>Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan, Semey

Received 13.10.2023

Received in revised form

Accepted for publication 26.02.2024

## **OPTIMAL WAYS TO IMPROVE PRESS FOR SAFFLOWER PROCESSING**

*Recently, the demand for safflower products has been growing year by year, due to the increase in planted areas and the popularity of safflower oil among consumers. On the basis of research and development works, a screw press for safflower oil production was considered. As a result, due to insufficiently in-depth study and wide application of safflower oil production technology, many problems remain unsolved. For example, problems such as the use of large amounts of metal as well as electrical and thermal energy are encountered in the use of screw presses. In addition, one of the main disadvantages of screw presses is the instability of the pressure value in the screw turns due to changes in structural and mechanical properties caused by the mass transfer process during the pressing process. It follows that the pressure value is not effectively distributed in the channel of screw windings, the productivity of the equipment is reduced, there is an additional processing operations in the network after pressing and an increase in the cost of inter-operational raw materials and labor costs. Therefore, the improvement of pressing equipment in vegetable oil technology in accordance with the requirements is one of the problems arising from modern needs.*

*Keywords: equipment, press, auger, regulator mechanism, spin, safflower, vegetable oil.*

**Zh. Kassenov<sup>1</sup>, T. L. Lub<sup>1</sup>, Zh. K. Mussina<sup>1\*</sup>, A. S. Yanushkin<sup>2</sup>, R. B. Kussainov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>2</sup>I.N. Ulyanov Chuvash State University, the Chuvash Republic, Cheboksary

\*e-mail: [mussina\\_zhanara@mail.ru](mailto:mussina_zhanara@mail.ru)

## **THE EFFECT OF THE DESIGN OF A ROTARY PEAKLESS TURNING TOOL WITH CHIPBREAKER ON THE SURFACE ROUGHNESS**

*One of the methods of high-performance finishing turning is based on the use of peakless cutters, the cutting edge of which in the cutting plane is inclined to the axis of the workpiece, and the angle in the plan is most often zero. It is not the tip that is in contact with the workpiece, but a certain part of the cutting edge of the cutter, as a result of which turning is carried out in conditions close to the conditions of free cutting.*

*The design of a rotary peakless rotary turning cutter with a chip breaker is devoid of one of the design disadvantages – the presence of a vertex, the weakest and most worn part of the cutting edge of conventional cutters. A constantly renewable cutting edge due to its rotation allows you to evenly distribute wear, temperature and specific loads, which significantly increases the service life of the cutting tool.*

*Rotary peakless rotary turning cutter with a chip breaker for turning external surfaces, in the design of which a cup cutting plate is placed, mounted and rotating on an axis with bearings and due to its rotation allows the tool to provide high processing performance, increase the operating time and service life of the cutting tool due to the adjustable angle of inclination of the cutting edge – makes it possible to process various materials, and the presence of a chip breaker in the structure allows to improve the quality and reduce the roughness of the treated surface, as well as the chip formation process.*

*Keywords: turning, self-rotating cutter, rotary cutter, peakless cutter, wear, roughness.*

### **Introduction**

The processing of materials is carried out by various methods and methods, of which there is a wide variety. The choice of a particular method or method depends on the requirements for accuracy and surface roughness, as well as on the shape and size of the surfaces to be treated [1; 2; 3; 4; 5; 6].

Turning is the most common method of mechanical processing, the method is universal and does not require special labor. The standard cutter used in turning has a simple design, where the weakest point is the tip of the cutter, since its area accounts for the largest part of the loads, both mechanical and thermal [7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14].

One of the ways to eliminate this weak point is the use of rotating (rotary) cutters. For several decades, a large number of rotary cutter designs and research in this area have been developed. Rotary cutters have a number of advantages in contrast to conventional turning cutters due to the rotation of the cutting plate, both in self-rotating and forced rotating:

- increase the durability period of the cutting plate;
- increased cutting speed;
- reduction of temperature effects on the cutting edge;

However, along with all the advantages, there are a number of disadvantages:

- bearing wear;
- vibration in bearings;
- chip formation;
- chip jamming;
- a certain diameter of the round cutting plate.

However, along with this, it has many advantages that could raise turning a step higher. Modern researchers are increasingly taking into account all these shortcomings in their designs, trying to make rotary cutting as common as standard turning. Despite all this, rotary incisors still require further research.

#### Materials and methods

The outer cylindrical surfaces are mainly processed with turning cutters with different angles in plan ( $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  and  $90^\circ$ ) with mechanical fastening of carbide plates or soldered [15]. As a result, a trace from the top of the tool remains on the treated surface (Figure 1).

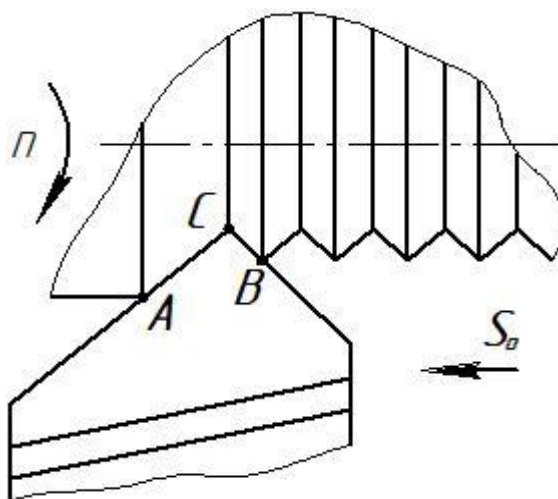


Figure 1 – The surface to be treated during turning

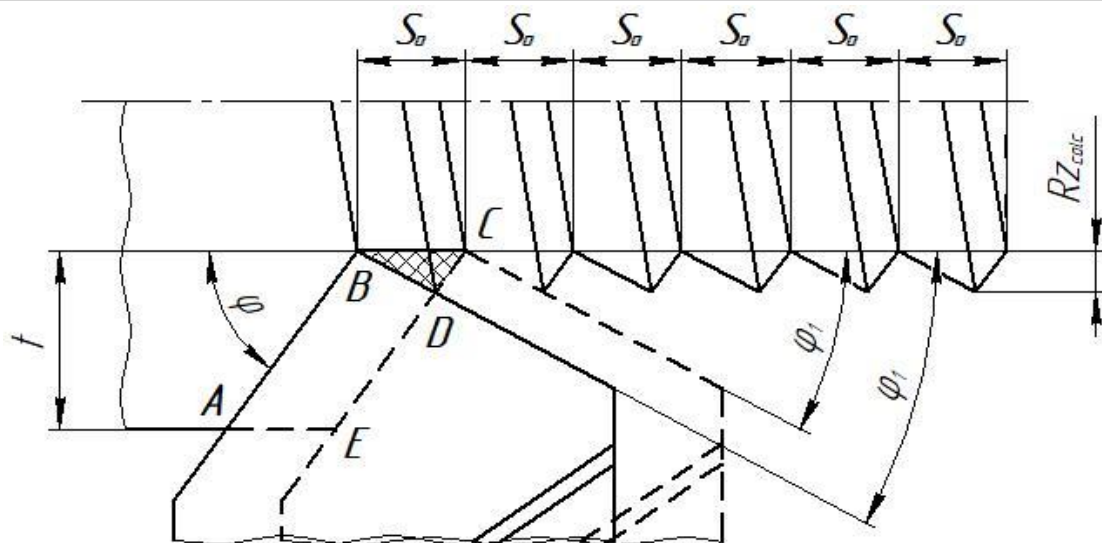


Figure 2 – Diagram of the formation of profile irregularities during turning

It can be seen from Figure 2 that not all the metal overlapped by the cross-sectional area of the cut-off layer ABCE is removed into the chips, part of it in the form of residual scallops with an area of BDC remains on the treated surface. In this regard, there are:

- the nominal cross-section of the slice (the area of the ABSE);
- the actual section of the cut (ABDE area), removed by the cutter (in the form of chips);
- the residual cross-section of the cut (BCD area), which remains on the treated surface of the part and further mainly determines its roughness  $Rz$ .

If the cutter has a rounded tip with a radius  $r_b$ , then the formation of the residual section of the slice occurs according to the scheme shown in Figure 3.

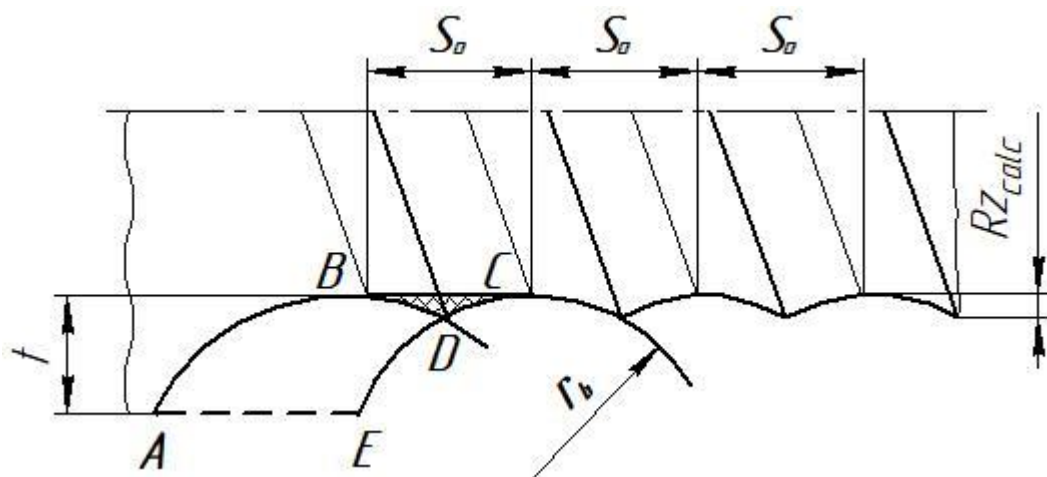


Figure 3 – Diagram of the formation of profile irregularities during rotary turning

The height of the irregularities  $Rz_{calc}$  according to the formulas:

- for a cutter with a sharp tip (Figure 2)

$$R_{zcalc} = \frac{S_o}{(ctg\varphi + ctg\varphi_1)} \quad (1)$$

- for a cutter with a rounded tip (there is a radius at the tip of the cutter  $r_b$ )

$$R_{zcalc} = \frac{S_o}{8 \times r_b} \quad (2)$$

### Results and discussion

The analysis of existing structures and studies of processing with metal-cutting tools led to the development of a new metal-cutting tool - a rotary peakless rotary turning cutter with a chip breaker [16].

A rotary peakless rotary turning cutter with a chip breaker is devoid of one of the design disadvantages – the presence of a vertex, the weakest and most worn part of the cutting edge of conventional cutters. And the constantly updated cutting edge due to its rotation allows you to evenly distribute wear, temperature and specific loads, which significantly increases the service life of the cutting tool.

Rotary cutter – allows you to increase the efficiency of processing the outer surfaces of rotating bodies compared to processing with a traditional turning through-hole cutter due to constant updating of the cutting edge, increased durability, multiple increases in the overall life of the tool, improving the quality of the surface to be processed, reducing temperature and specific load in the cutting area.

Therefore, further research is being carried out by researchers. For example, a search in the Yandex electronic resource. Patents [17] for the keyword «rotary cutter» gives an extensive picture of the submitted applications (Figure 4).

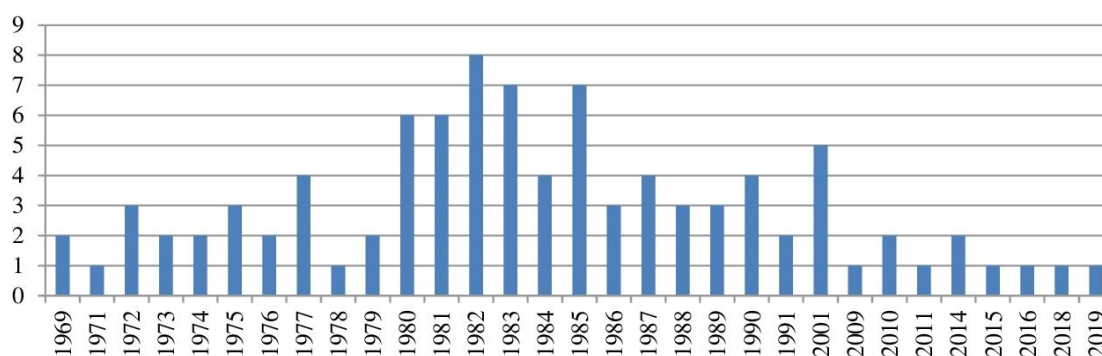


Figure 4 – The number of patents by year in the Yandex electronic resource. Patents

Based on the analysis of patent applications, a rotary peakless rotary turning cutter with a chip breaker was developed (Figure 5), which contains a holder housing 1 with a conical hole, into which a rod 2 with a rotary asymmetric offset relative to the axis of the fork-shaped head is installed. An angular scale is placed on the end of this head to rotate the rod relative to the

body. The rotation is fixed in two stages by pre-fastening with a screw 8 and finally with a nut 9 and a washer 10 [26].

An axis 3 is installed in the fork-shaped head, on which a cup cutting plate 4, a chip breaker 5, rings 6, bearings 7 are installed. To protect the bearings at the ends, the axle is closed with two covers fixed with screws.

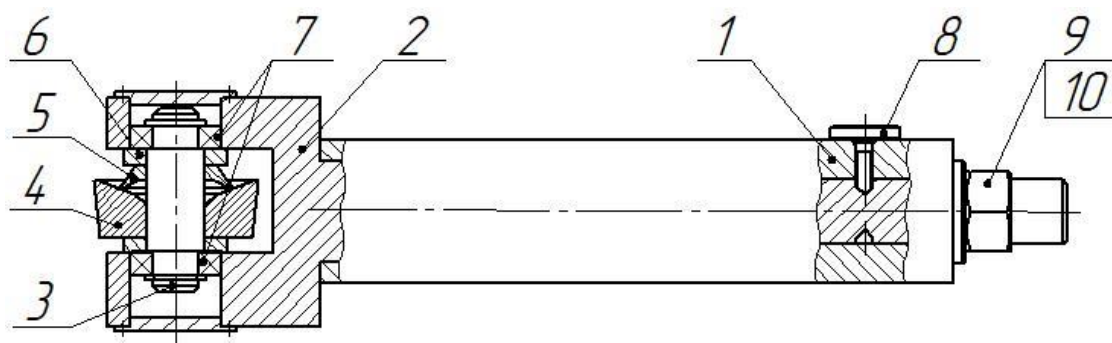


Figure 5 – Rotary peakless rotary turning cutter with chip breaker

The operation of a rotary peakless rotary lathe with a chip breaker is carried out as follows: the tool is installed in the tool holder of the lathe, adjusted to an angle depending on the material being processed by turning the rod 2 with a rotary asymmetric fork-shaped head relative to the body of the cutter holder 1 on an angular scale. Pre-fix with screw 8, nut 9 and washer 10. After installation, the cutter is brought to the workpiece and machined with a cup cutting plate 4.

The presence of a chip breaker in the structure allows you to control the chip coming off with constant contact with the cutting edge, and eliminate the drain chips.

Based on the formation scheme (Figure 3) and the formula for calculating the height of profile irregularities (2), taking into account the inclination of the cutting edge  $\lambda$  in the range from  $30^\circ$  to  $70^\circ$ , according to research recommendations [33], formula 3 was obtained.

$$R_{z\text{calc}} = \frac{S_o}{8 \times r_b} \times \lambda = (0,3 \dots 0,7) \times \frac{S_o}{8 \times r_b} \quad (3)$$

Thus, with an increase in the feed  $S_o$ , the main  $\varphi$  and auxiliary  $\varphi_1$  angles in the plan and a decrease in the radius at the top  $r_b$ , the height of the irregularities  $Rz$  increases, i.e. the roughness of the treated surface.

### Conclusions.

When processing with a new cutter, wear decreases and the durability of the cutter increases, due to the rotation of the plate, the quality of the treated surface increases, including a decrease in roughness, which is especially important during finishing.

The new tool lacks the tip of the cutter, increases the strength of the blade, reduces the force and thermal stresses on the cutting edge, in the central part of the contact zone of the

cutting edge of the cutter and the workpiece, good conditions are created for stripping the treated surface with a straight line of the cutting edge.

The rotation of the cutting edge allows you to evenly distribute all thermal and mechanical deformations, and significantly increases the durability period.

**Financing.** This research has is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19678887)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Дускараев, Н., Умирзаков,, Д. У., Алижонова, М. М.** Стабильность режущего инструмента и скорость резания // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2. – № 2. – С. 409–416. – DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0409-0416.

2 **Mukanov, R. B., Kasenov, A. Z., Itybaeva, G. T. et al.** Face Turning of Holes // Russian Engineering Research. – 2019. – Vol. 39. – № 1. – P. 75-78 DOI: 10.3103/s1068798x19010064.

3 **Аверин, Н. В., Можаяев, А. А.** Резцы токарей-новаторов // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17–19 апреля 2019 года – Рязань : ООО «Рязаньпроект», 2019. – С. 300–302.

4 **Гречишников, В. А., Петухов, Ю. Е., Пивкин, П. М. и др.** Точение деталей сложного профиля с обеспечением заданного микрорельефа поверхности // СТИН. – 2015. – № 8. – С. 13–16.

5. **Касенов, А. Ж.** Теоретические и экспериментальные исследования обработки отверстий разверткой-протяжкой // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102. – № 11. – С. 924-927. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-11-924-927.

6 **Таскарина, А. Ж., Дудак, Н. С., Касенов, А. Ж.** Резцовая сборная развертка с безвершинными зубьями // Научный журнал МОН «Поиск». – 2012. – № 1(2). – С. 274-279.

7 **Ситников, М. Ю.** Применение безвершинных инструментов в процессе токарной обработки // Общество. Наука. инновации (НПК-2017): сборник статей. Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция, Киров, 01–29 апреля 2017 года / Вятский государственный университет. – Киров : Вятский государственный университет, 2017. – С. 2137–2143.

8 **Yevtushenko, T. L., Kassenov, A. Zh., Mussina, Zh. K. et al.** Analysis of Rotary Cutter Structure // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. S1. – pp. S70-S73. – DOI 10.3103/s1068798x23010070.

9 **Сорокин, Н. В.** Исследование процесса безвершинного точения // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 103.



10 **Khodzhibergenov, D. T., Esirkeпов, A., Sherov K. T.** Rational milling of metals // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – № 1. – P. 43–45 DOI:10.3103/s1068798x1501013x.

11 **Индаков Н. С., Бинчуров, А. С., Гордеев Ю. И., Киселев, Д. И.** Исследование процесса ротационного точения многогранными резцами // Решетневские чтения. – 2015. – Т. 1. – С. 464–466.

12 **Куликов, М. Ю., Попов, А. Ю., Волков, Д. В.** Реализация ротационного точения в производственных условиях // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 6(59). – С. 28-31. – DOI 10.12737/article\_59cd769d871dd9.90790664.

13 **ИННОВАЦИОННЫЙ патент** Республики Казахстан № 25463 на изобретение. Безвершинный токарный проходной резец со стружколомом / Дудак Н. С., Оспантаев М. К.; опубл. 15.02.2012, Бюл. № 2. – 14 с.: ил.

14 **Ospantaev, M. K.** Geometric parameters of a peakless cutting tool in the instrumental coordinate system / М. К. Ospantaev // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – No. 1. – P. 40–51. – DOI 10.48081/VYTH5824.

15 **Бычковский, В. С., Филиппенко, Н. Г., Попов, С. И., Каргапольцев, С. К.** Исследование свойств и обрабатываемости сварных соединений комбинированным ротационным резцом со стружколомом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 57. – №. 1. – С. 16–23. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57). С. 16–23.

16 **Касенов, А. Ж., Евтушенко, Т. Л., Мусина, Ж. К.** и др. Патент на изобретение Республики Казахстан № 36087 Ротационный безвершинный поворотный токарный резец со стружколомом заявл. 27.12.2021: опубл. 10.02.2023, бюл. № 6.

17 [Электронный ресурс]. – <https://yandex.ru/patents>

## REFERENCES

1 **Duskaraev, N., Umirzakov, D. U., Alizhonova, M. M.** Stabil'nost' rezhushchego instrumenta i skorost' rezaniya [Stability of the cutting tool and cutting speed] // Modern innovations, systems and technologies. – 2022. – Т. 2. – No. 2. – P. 409–416. – DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0409-0416.

2 **Mukanov R. B., Kasenov, A. Z., Itybaeva, G. T.** et al. Face Turning of Holes // Russian Engineering Research. – 2019. – Vol. 39. – № 1. – pp. 75-78 DOI: 10.3103/s1068798x19010064.

3 **Averin, N. V., Mozhayev, A. A.** Reztsy tokarey-novatorov [Cutters of innovative turners] // New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, Ryazan, April 17–19, 2019 - Ryazan: Ryazanproekt LLC, 2019. – P. 300–302.

4 **Grechishnikov, V. A., Petukhov, Yu. E., Pivkin, P. M.** et al. Tocheniye detaley slozhnogo profilya s obespecheniyem zadannogo mikrorel'yefa poverkhnosti [Turning of parts with a complex profile ensuring a given surface microrelief] // STIN. – 2015. – No. 8. – P. 13–16.

5 **Kasenov, A. Zh.** Formirovaniye sherokhovatosti poverkhnosti otverstiya obrabotannogo razvortkoy-protyazhkoy [Formation of the surface roughness of a hole processed by a reamer-broach] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2011. – No. 3-4. – p. 46–49.

6 **Taskarina, A. Zh., Dudak, N. S., Kasenov, A. Zh.** Reztsovaya sbornaya razvertka s bezvershinnyimi zub'yami [Incisive prefabricated reamer with vertexless teeth] // Scientific journal of the Ministry of Education and Science «Poisk». – 2012. – No. 1(2). – P. 274–279.

7 **Sitnikov, M. Yu.** Primeneniye bezvershinnykh instrumentov v protsesse tokarnoy obrabotki [Application of tipless tools in the process of turning] // Society. The science. innovations (NPK-2017): collection of articles. All-Russian annual scientific and practical conference, Kirov, April 01–29, 2017 / Vyatka State University. – Kirov : Vyatka State University, 2017. – P. 2137–2143.

8 **Yevtushenko, T. L., Kassenov, A. Zh., Mussina, Zh. K.** et al. Analysis of Rotary Cutter Structure // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. S1. – P. S70–S73. – DOI 10.3103/s1068798x23010070.

9 **Sorokin, N. V.** Issledovaniye protsessa bezvershinного tocheniya [Study of the process of vertexless turning] // Modern science-intensive technologies. – 2013. – No. 8–1. – P. 103.

10 **Khodzhbergenov, D. T., Esirkepov, A., Sherov, K. T.** Rational milling of metals // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – № 1. – P. 43–45 DOI:10.3103/s1068798x1501013x.

11 **Indakov, N. S., Binchurov, A. S., Gordeev, Yu. I., Kiselev, D. I.** Issledovaniye protsessa rotatsionnogo tocheniya mnogogrannymi reztsami [Study of the process of rotational turning with multifaceted cutters] // Reshetnev Readings. – 2015. – T. 1. – P. 464–466.

12 **Kulikov, M. Yu., Popov, A. Yu., Volkov, D. V.** Realizatsiya rotatsionnogo tocheniya v proizvodstvennykh usloviyakh [Implementation of rotary turning in production conditions] // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2017. – No. 6(59). – P. 28–31. – DOI 10.12737/article\_59cd769d871dd9.90790664.

13 **Innovative patent** of the Republic of Kazakhstan No. 25463 for an invention. [Peakless turning cutter with chipbreaker] / Dudak N. S., Ospantaev M.K.; publ. 02/15/2012, Bulletin. No. 2. – 14 p.: ill.

14 **Ospantaev, M. K.** Issledovaniye svoystv i obrabatyvayemosti svarnykh soyedineniy kombinirovannym rotatsionnym reztsom so struzhkolomom [Geometric parameters of a peakless cutting tool in the instrumental coordinate system] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – No. 1. – P. 40–51. – DOI 10.48081/VYTH5824.

15 Bychkovsky, V. S., Filippenko, N. G., Popov, S. I., Karapoltsev, S. K. [Study of the properties and machinability of welded joints using a combined rotary cutter with a chipbreaker] // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2018. - Т. 57, no. 1. – P. 16–23. – DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57). – P.16–23.

16 Kasenov, A. Zh., Evtushenko, T. L., Musina, Zh. K. et al. Patent for invention of the Republic of Kazakhstan No. 36087 Rotatsionnyy bezvershinnyy povorotnyy tokarnyy rezets so struzhkolomom [Rotary tipless rotary turning cutter with chipbreaker] appl. 12/27/2021: publ. 02/10/2023, bulletin. No. 6.

17 [Electronic resource]. – <https://yandex.ru/patents>.

Received 12.03.2023

Received in revised form 14.03.2023

Accepted for publication 15.03.2023

*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, Т. Л. Луб<sup>1</sup>, Ж. К. Мусина<sup>1\*</sup>, А. С. Янюшкин<sup>2</sup>, Р. Б. Кусаинов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup>И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті,

Чуваш Республикасы, Чебоксары қ.

12.03.2023 ж. баспаға түсті.

14.03.2023 ж. түзетулерімен түсті.

15.03.2023 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **ЖОҢҚАОПЫРҒЫШЫ БАР РОТАЦИЯЛЫҚ ТӨБЕСІЗ БҰРЫЛМАЛЫ ЖОНУ КЕСКІШТІҢ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ БЕТІНІҢ КЕДІР-БҰДЫРЛЫҒЫНА ӘСЕРІ**

*Жоғары өнімді таза токарлық әдістерінің бірі кесу жазықтығындағы кесу жиегі дайындаманың осіне қарай қисайған және жоспардағы бұрыш көбінесе нөлге тең болатын төбесіз кескіштерді қолдануға негізделген. Дайындамамен байланыста төбесі емес, кескіштің кесу жиегінің белгілі бір бөлігі болады, нәтижесінде бұралу еркін кесу жағдайларына жақын жағдайларда жүзеге асырылады.*

*Жоңқаопырғышы бар ротациялық төбесіз бұрылмалы кескіштің құрылымы кемшіліктердің біреуі – төбесінің болуы, қарапайым кескіштердің кесу жиегінің ең әлсіз және тозған бөлігі болып саналатын. Оның айналуына байланысты үнемі жаңартылатын кесу жиегі тозуды, температураны және нақты жүктемелерді біркелкі бөлуге мүмкіндік береді, бұл кесу құралының қызмет ету мерзімін едәуір арттырады.*

*Сыртқы беттерді токарлық өңдеуге арналған жоңқаопырғышы бар айналмалы төбесіз бұрылмалы токарлық кескіш, оның конструкциясында мойынтіректері бар оське орнатылған және айналатын табақша кескіш*

*тіліміше орналасқан. Оның айналуына байланысты құралға өңдеудің жоғары өнімділігін, кесу құралының жұмыс уақыты мен қызмет ету мерзімін арттыруға мүмкіндік береді. Кесу жиегінің реттелетін бұрышы әртүрлі материалдарды өңдеуге мүмкіндік береді. Конструкцияда жоңқаопырғыштің болуы өңделген беттің сапасын жақсартуға және кедір-бұдырлығын азайтуға, сондай-ақ жоңқалардың пайда болу процесін төмендетуге мүмкіндік береді*

*Кілтті сөздер: жону, өздігінен айналатын кескіш, ротациялық кескіш, төбесіз кескіш, тозу, кедір-бұдырлық.*

**А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, Т. Л. Луб<sup>1</sup>, Ж.К. Мусина<sup>1\*</sup>, А. С. Янюшкин<sup>2</sup>, Р. Б. Кусаинов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университет», Республика Казахстан, г. Павлодар.

<sup>2</sup>Чувашский государственный университет имени

Н. Ульянова, Чувашская Республика, г. Чебоксары

Поступило в редакцию 12.03.2023

Поступило с исправлениями 14.03.2023

Принято в печать 15.03.2023

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОТАЦИОННОГО БЕЗВЕРШИННОГО ПОВОРОТНОГО ТОКАРНОГО РЕЗЦА СО СТРУЖКОЛОМОМ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ**

*Один из методов высокопроизводительной чистовой токарной обработки основан на применении безвершинных резцов, режущая кромка которых в плоскости резания наклонена к оси заготовки, а угол в плане чаще всего равен нулю. В контакте с заготовкой находится не вершина, а определенная часть режущей кромки резца, вследствие чего точение осуществляется в условиях, близких к условиям свободного резания.*

*Конструкция ротационного безвершинного поворотного токарного резца со стружколомом лишена одного из конструктивных недостатков – наличия вершины, наиболее слабой и изнашивающейся части режущей кромки обычных резцов. А постоянно обновляемая режущая кромка за счет её вращения позволяет равномерно распределить изнашивание, температурные и удельные нагрузки, что значительно увеличивает срок эксплуатации режущего инструмента.*

*Ротационный безвершинный поворотный токарный резец со стружколомом для токарной обработки наружных поверхностей, в конструкции которой размещена чашечная режущая пластинка, установленная и вращающаяся на оси с подшипниками и за счет её вращения позволяет инструменту обеспечивать высокую производительность обработки, повышение времени эксплуатации и срока*

*службы режущего инструмента за счет регулируемого угла наклона режущей кромки – дает возможность обработки различных материалов, а наличие в конструкции стружколома позволяет улучшить качество и снижение шероховатости обработанной поверхности, а также процесс стружкообразования.*

*Ключевые слова: точение, самовращающийся резец, ротационный резец, безвершинный резец, изнашивание, шероховатость.*

**\*D. Sh. Kossatbekova<sup>1</sup>, S. O. Nukeshev<sup>2</sup>, N. N. Romanyuk<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>S.Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Kazakhstan, Astana

<sup>3</sup>Belarus State Agrarian Technical University, Belarus, Minsk

\*e-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

## **INVESTIGATION OF DEPENDENCE OF HARDNESS OF GRAIN-FERTILIZER-GRASS SEEDER CHISEL ON CHEMICAL COMPOSITION OF THE CLAD LAYER**

*This research work considers the comparison of composite complex alloys as an electrode for hardening of the working body of the seeder – chisel. The task of hardening is to increase the hardness of the material, contributing to the reduction of abrasive wear during the impact of the working body with the soil. According to the results of microstructural analysis of experimental samples were revealed that the initial microstructure with coarse-grained pearlite, surrounded by ferrite after hardening the size of martensitic needles decreases. Measurement of hardness on the Vickers scale allowed to obtain a graphical dependence of hardness on the chemical composition of the alloy, and it was found that the hardness of cladding with electrode T590 with four component alloy Cr25Si2MnB has the highest value of 548÷815HV. Due to the presence of nickel (CS-1) in the composition in compositionally complex alloys, the cost of the hardened part is more expensive, so it was recommended to replace with a four component boron-based alloy (T590).*

*Keywords: Microstructural analysis, hardened steel, complex alloys, chisel opener, grain-fertilizer-grass seeder.*

### **Introduction**

Compositionally complex alloys consisting of three or more basic elements, often referred to as high entropy alloys have received considerable attention in mechanical engineering in the last few years. Examples of such alloys are Cr25Si2MnB and Cr28Ni4Si4, and there are other five alloy components like CoCrFeMnNi, which show a significant increase in yield, strength and ductility with decreasing temperature [1].

Many authors [2; 3; 4; 5; 6] have studied the effect of chromium on the mechanical properties of parts. However, the effect of composite complex alloys on the mechanical properties, such as abrasion resistance, of parts especially working bodies of agricultural machines has not been studied.

Four-component alloy Cr25Si2MnB has boron in its composition, which is a unique micro alloying element. This chemical element is able to affect the properties of steel in ultra-low concentrations (hundredths and thousandths of a percent). The use of boron as a micro alloying additive is due to its positive effect on many of the resulting steels [7]. And in composite complex alloy Cr28Ni4Si4 contains alloying element nickel, which increases corrosion resistance, strength and ductility, but it is an expensive metal, so it is replaced by a cheaper one. Recommended hardnesses from manufacturers of Cr25Si2MnB -57÷63 HRC, and for Cr28Ni4Si4 - 53÷57 HRC.

This paper deals with the comparison of composite complex alloys as an electrode for hardening of the working body of a seeder - the chisel. The purpose of hardening is to

increase the hardness of the material in order to reduce abrasive wear when the implement is exposed to the soil.

The purpose of this study is to reveal the dependence of hardness of chisels of grain–fertilizer–grass seeders made of 65Mn steel and different hardening methods on the chemical composition.

The aim of the research is to increase the wear resistance of anchor chisel openers of grain-fertilizer-grass seeders by substantiating the rational method of their surface hardening.

Hardened samples, microstructural studies and hardness measurement were carried out on the basis of laboratories of the department of "Technological machines and equipment" at S.Seifullin KATRU.

### Materials and methods

Samples of chisels of openers of grain-fertilizer-grass seeders [8; 9], made of structural spring steel 65Mn, which has increased strength, toughness and resistance to wear, high resistance to small plastic deformations and relaxation resistance, has a sufficiently high hardenability, relatively low cost [10], were used for research.



Sample 1 – clad with T590 carbide electrode, sample 3 – HFC-hardened, sample 6 – clad with CS-1 sormite, sample 7 – typical (factory) heat treatment method

Figure 1 – Tested samples for microstructures and microhardness determination, hardened by different methods.

To determine the microstructural analysis and the influence of chemical composition on microhardness, chisel samples hardened by the following method were selected: typical (factory) heat treatment method (Figure 1, sample 7), HFC-hardened at temperature within 800 - 820°C in hardening medium - in oil (Figure 1, sample 3), clad with T590 carbide electrodes (Mn 1,0-1,5%, Si 2,0-2,5%, C 2,9-3,5%, P ≤ 0,04, S ≤ 0,035, Cr22,0- 27,0, B 0,5-1,5) of E-320Cr25Si2MnB type (figure 1, sample 1) and CS-1 (Sormite No.1) of E-300Cr28N4Si4 type (Cr=27.5%, Ni=2.98-4.0% and Si2.0-4.0%) with a diameter of 5.0 mm (Figure 1, sample 6).

**Microstructural analysis.** Microstructural analysis of experimental samples of the coulter working organ was carried out.



Figure 2 – Machine for preliminary grinding of metallographic specimens

Polishing of the specimen surface was performed with SOI paste manually and afterwards on the M-2 Pre-grinder machine (Figure 2) using a cloth in the machine for preparation of metallographic slides. To reveal the microstructure, the microslides were etched with tsar vodka in the proportion of 3 parts of hydrochloric acid and 1 part of nitric acid, aged for 20-30 hours before use.

A Biomed MMR-1 microscope (Figure 3), which has a magnification range of 40 to 1250 $\times$ , was used for microstructural analysis.

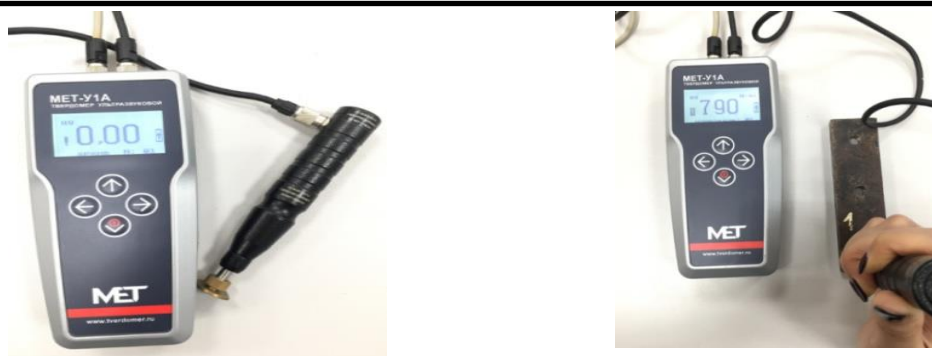


Figure 3 – Biomed MMP-1 microscope

**Vickers hardness measurement.** Hardness tester MET-U1A (Figure 4a) is designed for local measurement of hardness of various products by ultrasonic contact impedance (UCI) by Brinell (HB), Rockwell (HRC), Vickers (HV), Shore "D" (HSD) scales.

At the moment of measurement with an ultrasonic sensor, a constant vertical force is provided on the sensor body (at least 1.5 kg for 3-4 seconds) until a sound signal is sounded (Figure 4b).





a) Portable ultrasonic hardness tester MET-U1A      b) Vickers hardness measurement process

Figure 4 – Vickers hardness measurement

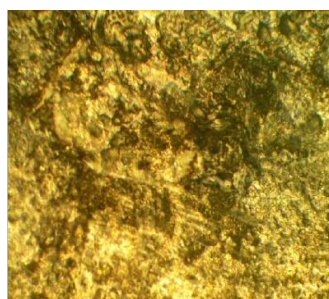
### Results and discussion

**Microstructural analysis.** Metallographic analysis showed that in the initial state the surface of steel 65Mn consists of ferrite and lamellar pearlite, cementite (Figure 5). Figure 5,b gives the microstructure of the diffusion layer of samples of steel 65Mn after heat treatment, where it can be seen that in the structure of the cross section of steel 65Mn after surface hardening on the surface is observed dark-etched hardened layer of martensitic structure and a layer of thermal influence. After heat treatment the formation of martensite grains is observed, along the boundary of which there are small particles of carbides of alloying elements.



×100

a) before etching



×100

b) after etching

Figure 5 – Microstructure of diffusion layer on 65Mn steel by factory technology (sample 7)

The initial microstructure of the specimens before hardening was a coarse-grained pearlite surrounded by ferrite (Figure 6), with uniform grain diameter. After hardening with T590 wire and Sormite, the structure is significantly refined.

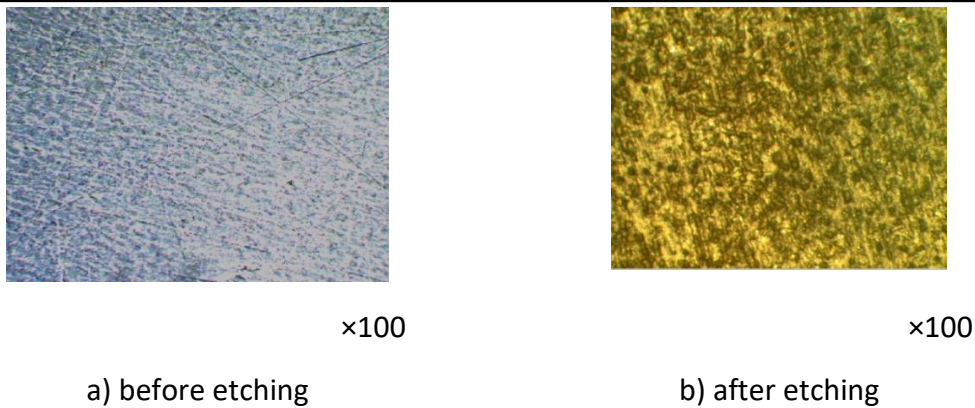


Figure 6 – Microstructure of diffusion layer of 65Mn steel after heat treatment (sample 3)

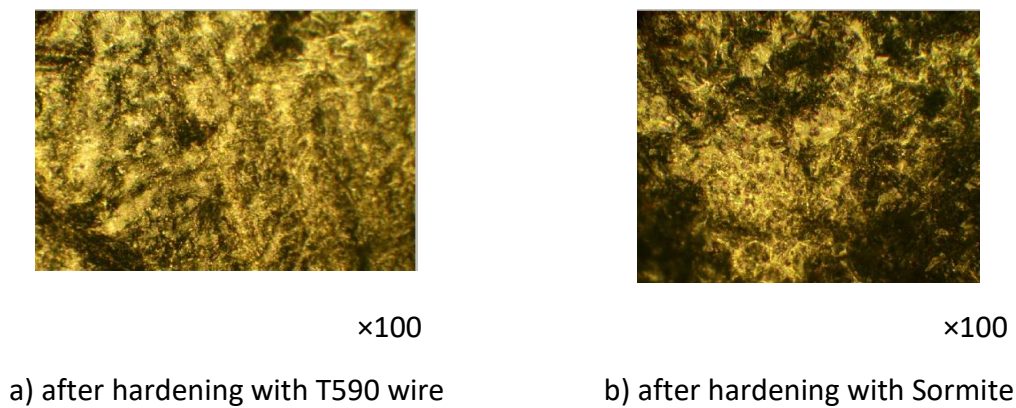


Figure 7 – Microstructure of diffusion layer of 65Mn steel samples after hardening

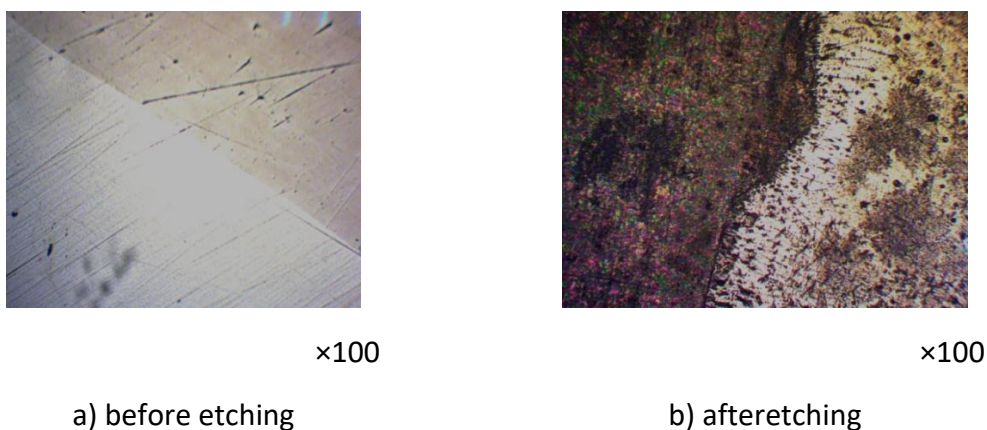


Figure 8 – Cladding boundary microstructure Sample 1 before and after etching

The size of martensite needles decreases, the sormaites have larger martensite needles (Figure 7, b), and the surface hardened with T590 wire has finer needle martensite, which is formed in the diffusion layer due to secondary cementite and pearlite cementite in the structure (Figure 7, a).

Figures 8 and 9 show photos of the microstructure of the cladding boundary before and after etching of sample number 1, the light part is 65Mn steel and the dark part is hardened T590. Small particles of chromium, manganese, silicon and boron carbides can be

seen on the boundary. In the figure 9 light part belongs to steel 65Mn, dark part – hardened T590.

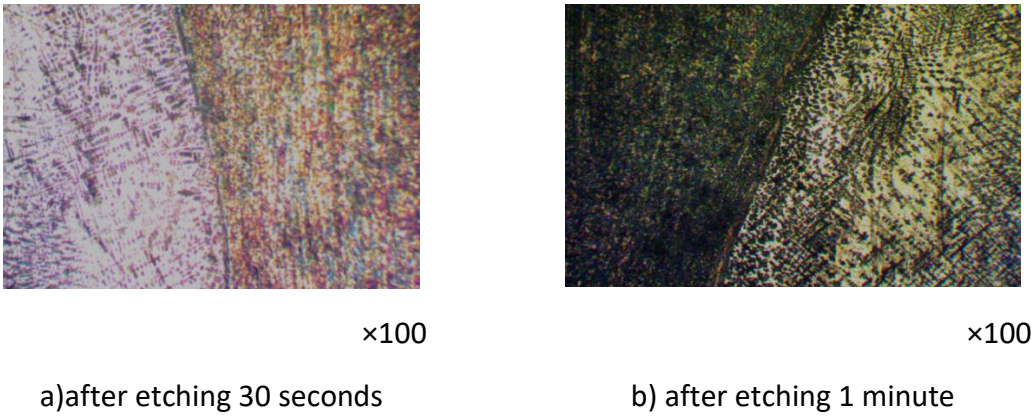


Figure 9 – Microstructure of Sample 1 after 30 sec and 1 minute in tsar vodka

For most steels with a large amount of carbon, especially spring-spring steels, it is recommended to carry out the etching process in several stages in order to obtain bright structures, so during the experiment the samples were etched first for 30 seconds, then for 1 minute. The results show that the martensitic structure with pearlitic base is clearly revealed after 1 minute etching in tsar vodka.

**Hardness measurement.** Local hardness measurement of these specimens (Figure 1) by MET-U1A hardness tester (Figure 4a) by dynamic ultrasonic contact impedance (UCI) method on Vickers scale (HV) was performed with 20 repetitions and the experimental results are summarized in Table 1.

The results show that the microhardness of bit number 1 on Vickers scale varies between 815÷548HV, sample 3 – 391÷112HV, sample 6 – 657÷305 HV and sample 7 – 333÷100HV. Consequently, sample 1, clad with T590 carbide electrode has almost 2.5 times more hardness than sample 7. At the same time, HFC-hardened sample number 3 has almost similar hardness measurement results with sample 7, heat treated according to the standard method. And the sample numbered 6 clad with CS-1 Sormite has 1.2 times less hardness than sample 1, but almost 2 times more hardness compared to sample 7.

The chemical compositions by the GOST of the selected samples indicate that the high values of chisel hardness from the Vickers measurement results (Table 1) depend on the complex composition of the clad layer. The electrode based on Manganese-Silicon-Boron-Chromium has the highest readings than in the electrode based on Manganese-Silicon-Nickel-Chromium with low chromium content, i.e. T590 has 22,0÷27,0% chromium, while CS-1 has 25,0÷31,0% chromium.

Table 1 – Hardness measurements of experimental specimens on the Vickers scale, (HV)

Experience number	Sample 1	Sample 3	Sample 6	Sample 7
1	815	243	382	308
2	790	356	305	164
3	736	229	557	228

---

---

4	624	183	466	331
5	548	359	385	237
6	775	223	555	149
7	679	320	657	287
8	733	245	520	206
9	724	289	560	169
10	598	391	474	180
11	575	138	380	126
12	763	118	613	105
13	628	153	584	147
14	661	178	359	133
15	709	154	523	117
16	644	320	577	167
17	740	112	518	331
18	739	185	649	333
19	709	135	494	327
20	713	149	534	100

The content of alloying elements in steel 65Mn is 1.76÷2.46%, in T590 electrode - 28.47÷36.07% and in CS -1 electrode - 34.3÷44.6%. Taking into account the data of measurement experiments and the total percentage of alloying elements in the composition of electrodes, it is possible to construct a graph of dependence (Figure 10) in Matlab of only two samples 1 and 6, since during HFC hardening of the material (sample 3), the composition of alloying elements remains the same as in the original sample 7.

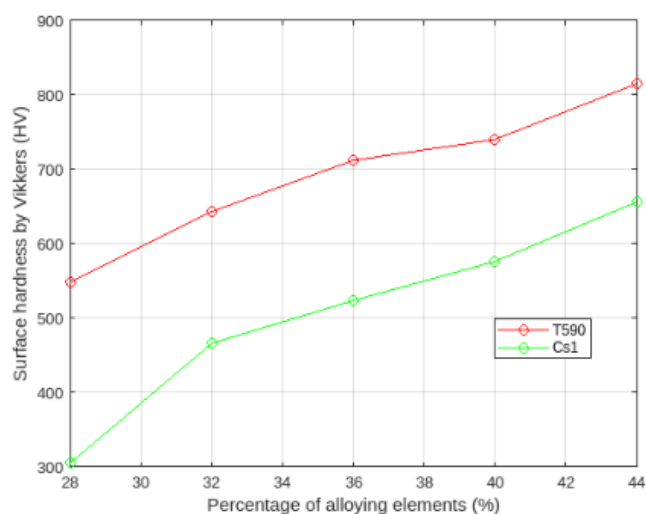


Figure 10 – Graph of surface hardness dependence on alloying elements composition

According to the graph of dependence (Figure 10) it is possible to confirm that despite the high content of alloying elements in the alloy is of great importance, for example, having in its composition boron hardness in the electrode T590 is greater than that of sormite, which contains expensive metal nickel in its composition.

As a result, from Table 1 and Figures 1-10 it can be noted that the sample No.1, hardened full working surface by surfacing of T590 electrode, is resistant to abrasive impact due to hardness 815HV and uniform martensitic-perlitic microstructure.

### Conclusions

1. According to the results of microstructural analysis of hardened samples, it was found that the samples hardened by surfacing with T590 and Sormite electrodes, as well as heat-treated samples have secondary cementite and pearlite cementite in the final structure, which increase the hardness of the material.

2. The composition of alloying elements in composite complex alloys, especially boron and nickel, significantly affects hardness. However, the presence of nickel (CS-1) increases the cost of the hardened part, so it is recommended to replace it with a four component boron-based alloy (T590).

3. T590 clad with carbide electrode has almost 2.5 times more hardness  $815 \div 548$  HV than sample 7, heat treated according to the typical method. The HF-hardened sample has almost similar results of hardness measurement with sample 7,  $391 \div 112$  HV and  $333 \div 100$  HV respectively. And the sample clad with CS-1 sormite has 1,2 times less hardness ( $657 \div 305$  HV) than T590, but almost 2 times more hardness of comparisons with sample 7.

4. As the most optimal method of bit hardening in coarse abrasive environment for production conditions and agricultural enterprises it is possible to recommend surfacing of working bodies of seed drill coulters with T590 electrodes instead of typical factory heat treatment.

**Funding.** The research was funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, the project AP05134800 «Development of automated grain-fertilizer-grass seeder for differentiated direct sowing of crops under cover crops and in turf with simultaneous application of mineral fertilizers».

### REFERENCES



1 **B. Schuh, F. Mendez-Martin, B. Völker, E.P. George, H. Clemens, R. Pippin, A. Hohenwarter.** Mechanical properties, microstructure and thermal stability of a nanocrystalline CoCrFeMnNi high-entropy alloy after severe plastic deformation. *Acta Materialia*. – 2015.– № 96. – P. 258–268.

2 **Odhiambo John Gerald, Li Wenge, Zhao Yuan Tao, Li Cheng Long, Li Qiang.** Influence of plasma spraying current on the microstructural characteristics and tribological behaviour of plasma sprayed Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio*. – 2021. – № 60. – P. 338–346.

3 **G. Laplanche, A. Kostka, C. Reinhart, J. Hunfeld, G. Eggeler, E.P. George.** Reasons for the superior mechanical properties of medium-entropy CrCoNi compared to high-entropy CrMnFeCoNi. *Acta Materialia*. – 2017. – №128. – P. 292–303.

4 **Engin Kocaman, Bülent Kılınc, Mustafa Durmaz, Saduman Sen, Ugur Sen.** The influence of chromium content on wear and corrosion behavior of surface alloyed steel with Fe<sub>(16x)</sub>Cr<sub>x</sub>(B,C)<sub>4</sub> electrode. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2021. – № 24. – P. 533–542.

5 **Kedar Mallik Mantrala, Mitun Das, Vamsi Krishna Balla, Ch. Srinivasa Rao, V. V. S. KesavaRao.** Additive manufacturing of Co-Cr-Mo alloy: influence of heat treatment on microstructure, tribological, and electrochemical properties. *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2015. – № 1. – P. 1–7.

6 **L. F. S Vieira, H. J. C. Voorwald, M. O. H. Cioffi.** Fatigue Performance Of AISI 4340 Steel Ni-Cr-B-Si-Fe HVOF Thermal Spray Coated. *Procedia Engineering*. – 2015. – № 114. – P. 606 – 612.

7 **I. N. Kel', V. I. Zhuchkov, A. V. Sy`chev.** Primenenie borsoderzhashhix materialov v chernoj metallurgii [Application of boron-containing materials in ferrous metallurgy]. *Staleplavil'noe proizvodstvo [Steel melting production]. Byulleten' «Chernaya metallurgiya» [Bulletin «Ferrous metallurgy»]*. – 2018.– № 5. – P. 48–53.

8 **Nukeshev S. O., Eskhozhin D. Z., Kossatbekova D. SH.** Obosnovanie tekhnologii i konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy zernotukotravyanoj seyalki [Justification of technology and constructive-technological scheme of grain-fertilizer-grass planter]. *Bajkalskij Vestnik DAAD [Baikal Bulletin DAAD]. Irkutskij gosudarstvennyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo [Irkutsk State University named after A. A. Ezevsky]*. – 2018. – № 1. – P. 88–92.

9 **Nukeshev, S., Yeskhozhin, K., Akhmetov, Y., Kossatbekova, D., Tleumbetov, K., Tanbayev, K.** Traction force investigation of the new working body of the sod seeder. *International Journal of Technology (IJTech)*. – 2023. – № 14(3). – P. 536–548.

<https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6008>

10 **Nukeshev S. O., Eskhozhin D. Z., Ahmetov E. S., Tleumbetov K. M., Kossatbekova D. SH.** Rabochij organ zernotukotravyanoj seyalki [Working organ of grain-fertilizer-grass seeder]. *Issledovanie, rezul'taty [Research, results]*, ISSN 2304-3334. – 2020. – № 2 (86). – P. 327–337, 2020.

Received 12.06.2023

Received in revised form

Accepted for publication 12.01.2024

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **B. Schuh, F. Mendez-Martin, B. Völker, E.P. George, H. Clemens, R. Pippan, A. Hohenwarter.** Mechanical properties, microstructure and thermal stability of a nanocrystalline CoCrFeMnNi high-entropy alloy after severe plastic deformation. *Acta Materialia*. – 2015. – № 96. – P. 258–268.

2 **Odhiambo John Gerald, Li Wenge, Zhao Yuan Tao, Li Cheng Long, Li Qiang.** Influence of plasma spraying current on the microstructural characteristics and tribological behaviour of plasma sprayed Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio*. – 2021. – № 60. – P. 338–346.

3 **G. Laplanche, A. Kostka, C. Reinhart, J. Hunfeld, G. Eggeler, E. P. George.** Reasons for the superior mechanical properties of medium-entropy CrCoNi compared to high-entropy CrMnFeCoNi. *Acta Materialia*. – 2017. – № 128. – P. 292–303.

4 **Engin Kocaman, Bülent Kılınc, Mustafa Durmaz, Saduman Sen, Ugur Sen.** The influence of chromium content on wear and corrosion behavior of surface alloyed steel with Fe<sub>(16x)</sub>Cr<sub>x</sub>(B,C)<sub>4</sub> electrode. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2021. – № 24. – P. 533–542.

5 **Kedar Mallik Mantrala, Mitun Das, Vamsi Krishna Balla, Ch. Srinivasa Rao, V. V. S. Kesava Rao.** Additive manufacturing of Co-Cr-Mo alloy: influence of heat treatment on microstructure, tribological, and electrochemical properties. *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2015. – №1. – P. 1–7.

6 **L. F. S Vieira, H. J. C. Voorwald, M. O. H. Cioffi.** Fatigue Performance Of AISI 4340 Steel Ni-Cr-B-Si-FeHVOF Thermal Spray Coated. *Procedia Engineering*. – 2015. – № 114. – P. 606 – 612.

7 **И. Н. Кель, В. И. Жучков, А. В. Сычев.** Применение борсодержащих материалов в черной металлургии. *Сталеплавильное производство. Бюллетень «Черная металлургия»*. 2018. – № 5. – С. 48–53.

8 **Нукешев С. О., Есхожин Д. З., Косатбекова Д. Ш.** «Обоснование технологии конструктивно-технологической схемы зернотукотравяной сеялки». *Байкальский Вестник ДААД. Иркутский государственный университет имени А. А. Ежовского*. – 2018. – № 1. – С. 88–92.

9 **Nukeshev, S., Yeskhozhin, K., Akhmetov, Y., Kossatbekova, D., Tleumbetov, K., Tanbayev, K.** Traction force investigation of the new working body of the sod seeder. *International Journal of Technology (IJTech)*. – 2023. – №14(3). – P. 536–548.

<https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6008>

10 **Нукешев С. О., Есхожин Д. З., Ахметов Е. С., Тлеумбетов К. М., Косатбекова Д. Ш.** Рабочий орган зернотукотравяной сеялки. *Исследование, результаты*. ISSN 2304-3334. – 2020. – № 2 (86). – С.327–337.

**\*Д. Ш. Косатбекова<sup>1</sup>, С. О. Нукешев<sup>2</sup>, Н. Н. Романюк<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>3</sup>Белорус мемлекеттік аграрлық техникалық университет, Беларусь, Минск қ.

\*e-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

12.06.2023 ж. баспаға түсті.

түзетулерімен түсті.

12.01.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **Астық-тыңайтқыш-шөп сепкіш қашауының қаттылығының балқытылған қабаттың химиялық құрамына тәуелділігін зерттеу**

*Бұл зерттеу жұмысы сепкіштің жұмыс органының, сіңіруші қашауының, қаттылығын арттыруда электрод түріндегі композициялық күрделі қорытпаларды салыстыруды қарастырады. Қатайту міндеті - топырақпен жұмыс органының әсерінен абразивті тозуды азайтуға көмектесетін материалдың қаттылығын арттыру. Эксперименттік үлгілерді микроқұрылымдық талдау нәтижелері бойынша ферритпен қоршалған ірі түйіршікті перлиті бар бастапқы микроқұрылым қатайтылғаннан кейін мартенсит инелерінің мөлшері азаятыны анықталды. Викерс шкаласы бойынша қаттылықты өлшеу қаттылықтың қорытпаның химиялық құрамына графикалық тәуелділігін алуға мүмкіндік берді, төрт компонентті X25C2ГР қорытпасы бар Т590 электродының беткі қаттылығының ең үлкен мәні 548÷815HV екенін анықталды. Композициялық күрделі қорытпаларда никельдің (ЦС-1) болуына байланысты қатайтылған бөлшектің құны қымбатырақ, сондықтан бор негізіндегі төрт компонентті қорытпаға (Т590) ауыстыру ұсынылды.*

*Кілтті сөздер. Микроқұрылымдық талдау, қатайтылған болат, күрделі қорытпалар, сіңіруші қашауы, астық-тыңайтқыш-шөп сепкіші.*

**\*Д. Ш. Косатбекова<sup>1</sup>, С. О. Нукешев<sup>2</sup>, Н. Н. Романюк<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени

С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>3</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Беларусь, г. Минск

\*e-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

Поступило в редакцию 12.06.2023

Поступило с исправлениями

Принято в печать 12.01.2024

### **Исследование зависимости твердости долота зернотукотравяной сеялки от химического состава наплавленного слоя**

*В данной исследовательской работе рассматривается сравнение композиционно сложных сплавов в качестве электрода для упрочнения рабочего органа сеялки - долота сошника. Задачей упрочнения является увеличение твердости материала, способствующего снижению*



---

*абразивного износа при воздействии рабочего органа с почвой. По результатам микроструктурного анализа экспериментальных образцов были выявлены, что исходная микроструктура с крупнозернистым перлитом, окруженный ферритом после упрочнения размер мартенситных игл уменьшается. Измерение твердости по шкале Виккерса позволило получить графическую зависимость твердости от химического состава сплава, при этом установлено, что твердость наплавки электродом T590 с четырех компонентным сплавом X25C2GP имеет наибольшее значение  $548 \div 815HV$ . Из-за присутствия в составе никеля (ЦС-1) в композиционно сложных сплавах стоимость упрочненной детали получается дороже, поэтому была рекомендована замена на четырехкомпонентный сплав на основе бора (T590).*

*Ключевые слова. Микроструктурный анализ, упрочненная сталь, сложные сплавы, долото сошника, зернотукотравяная сеялка.*

**Р. Т. Сахыбаев, \*Б. А. Койайдаров**

Таразский региональный университет имени

М. Х. Дулати, Республика Казахстан, г. Тараз.

\*e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

### **РАЗРАБОТКА КЛИНОРЕМЕННОГО ВАРИАТОРА ДЛЯ МНОГОРЕЖИМНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*Многорежимные технологические машины имеют сложные кинематические конструкции, например, металлорежущие станки, так как технологические скорости их изменяют, в основном, ступенчато. С целью упрощения кинематических конструкций многорежимных технологических машин рекомендуется использовать ступенчатый и бесступенчатый способы изменения скорости одновременно. Бесступенчатое регулирование скорости выгодно будет осуществлять при помощи клиноременного вариатора, так как имеет такие существенные преимущества, как простота конструкции, достаточный диапазон регулирования, доступная стоимость, надежность и бесшумность работы. Однако, выпускаемый заводом, существующий клиноременный вариатор со специальным широким клиновым ремнем имеет такие существенные недостатки, как зависимость диапазона регулирования от ширины ремня, недостаточная долговечность ремня, относительная высокая стоимость специального клинового ремня. В связи с этим, предложен клиноременный вариатор со стандартным приводным клиновым ремнем для бесступенчатого регулирования рабочих скоростей многорежимных технологических машин. Клиноременный вариатор снабжен многосекторным шкивом, скомпонованным из отдельных одинаковых секторов стандартного шкива. Диаметр многосекторного шкива изменяют, синхронно перемещая секторы по радиальным направлениям. Определены такие важные характеристики многосекторного шкива, как число секторов, тяговая способность, диаметр, силы нормального давления ремня, необходимые для проектирования вариатора со стандартным клиновым ремнем.*

*Ключевые слова: вариатор, скорость, регулирование, клиновый ремень, сектор, угол, натяжение, нагрузка.*

**Введение**

Рабочие скорости многорежимных технологических машин изменяются в различных диапазонах, предусмотренных технологией. При этом, в основном, применяют ступенчатый способ регулирования скорости. Поэтому многорежимные технологические машины имеют сложные кинематические конструкции [1; 2].

В связи с этим, для регулирования скорости рекомендуется одновременно использовать ступенчатый и бесступенчатый способы изменения скорости [3; 4; 5].

Бесступенчатое регулирование скорости более выгодно осуществлять при помощи клиноременного вариатора, так как, он, по сравнению с другими способами, имеет следующие преимущества: простота конструкции; достаточный диапазон регулирования; доступная стоимость; надежность и бесшумность работы [6].

Однако, клиноременный вариатор со специальным широким клиновым ремнем имеет существенные недостатки: зависимость диапазона регулирования от ширины специального клинового ремня; недостаточная долговечность ремня, так как шкивные конусы при регулировании сжимают ремень по ширине; относительно высокая стоимость специального клинового ремня [7; 8].

В связи с этим, для многорежимных технологических машин предложен клиноременный вариатор со стандартным приводным клиновым ремнем [9].

**Материалы и методы**

Принципиальная схема предложенного клиноременного вариатора со стандартным приводным клиновым ремнем приведена на рисунке 1: 1-ведущий шкив с постоянным диаметром; 2-стандартный приводной клиновым ремнем; 3-сектор ведомого шкива с переменным диаметром.

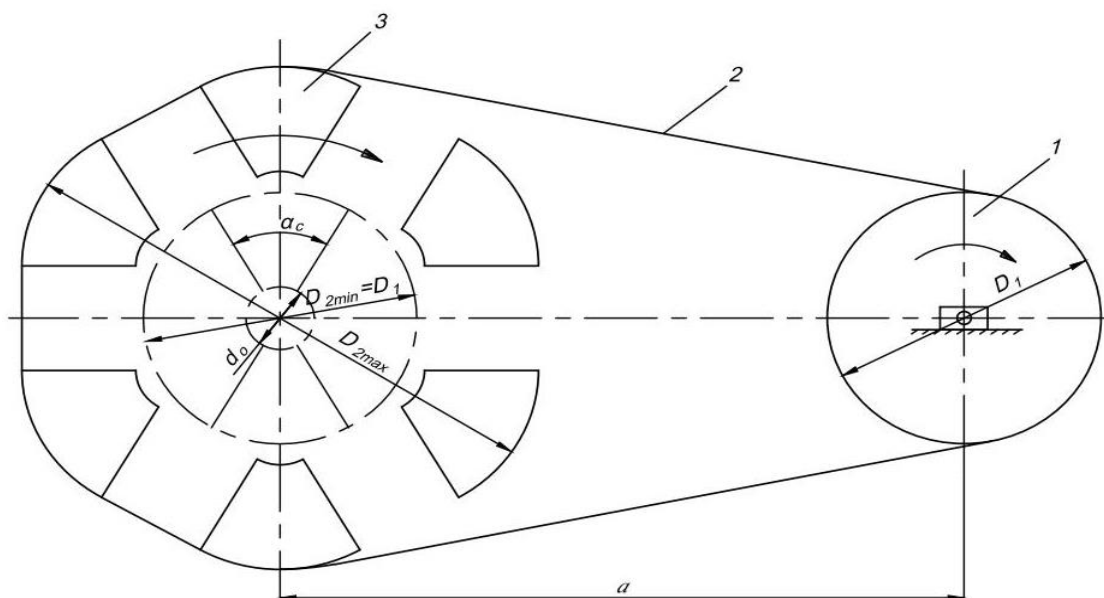


Рисунок 1 – Принципиальная схема клиноременного вариатора со стандартным приводным клиновым ремнем

Преимущества предложенного клиноременного вариатора: работает со стандартным приводным клиновым ремнем; шкивы стандартные; диаметр ведомого

шкива можно изменять до разумного диапазона регулирования вариатора, т. е. до верхнего передаточного отношения клиноременного вариатора.

Недостатки предложенного клиноременного вариатора: наличие механизмов для синхронного перемещения секторов ведомого шкива; сложность конструкции регулируемого шкива из-за секторных механизмов.

При конструировании клиноременного вариатора со стандартным приводным клиновым ремнем и многосекторным шкивом необходимо знать оптимальное число секторов и тяговую способность многосекторного шкива, сил нормального давления клинового ремня на рабочие секторы многосекторного шкива.

Номинальная мощность клиноременного вариатора со стандартным приводным клиновым ремнем и многосекторным шкивом зависит от тяговой способности многосекторного шкива, которая в свою очередь зависит, во-первых, от числа рабочих секторов, взаимодействующих с ремнем, во-вторых, от характера охвата ремнем дуг секторов.

Угол охвата ремнем многосекторного ведомого шкива [10]

$$\alpha_p = z_{cp} \cdot \alpha_c \quad (1)$$

где:  $\alpha_c$  - угол сектора многосекторного ведомого шкива, град;

$z_{cp}$  - число рабочих секторов, обхватываемых ремнем.

Минимальное число рабочих секторов многосекторного ведомого шкива можно определить из условия равенства углов охвата ремнем шкивов:

$$\alpha_p = \alpha_1; z_{cp} \alpha_c = \alpha_1; z_{cp} = \frac{\alpha_1}{\alpha_c} \quad (2)$$

Это условие выполняется тогда, когда ремень обхватывает секторные углы всех рабочих секторов многосекторного ведомого шкива.

Расчетная схема, составленная для определения характера охвата ремнем рабочих секторов многосекторного ведомого шкива, представлена на рисунке 2: 1 - схема деления ведомого шкива на одинаковые секторы; 2 - окружность рабочего диаметра ( $D_2$ ) многосекторного шкива; 3,4 - соседние рабочие секторы многосекторного шкива.

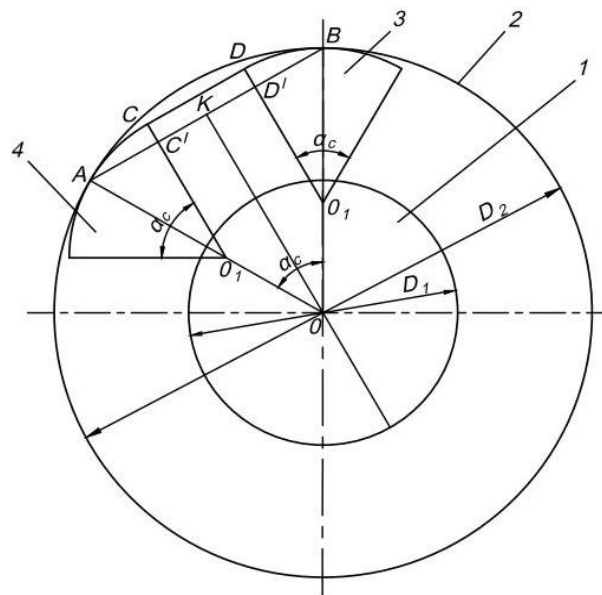


Рисунок 2 – Расчетная схема многосекторного шкива

Для изменения диаметра ведомого шкива синхронно перемещают все секторы многосекторного шкива по радиальным направлениям.

Соединив серединные точки  $A$  и  $B$  дуг соседних секторов (3 и 4) прямой линией  $AB$ , определим положение (линию) натянутого ремня между соседними секторами (рисунок 2).

Если линия  $AB$  расположена внутри соседних секторов (3 и 4), тогда ремень охватывает секторные углы ( $\alpha_c$ ) и натягивается между секторами по линии  $CD$ .

Параметры секторов:  $\alpha_c$  - угол сектора;  $D_1$  - диаметр сектора.

Угловой шаг секторов равен секторному углу

$$\angle AOB = \alpha_c.$$

Треугольник  $OAB$  равнобедренный

$$OA = OB.$$

Линия  $AB$  - хорда диаметральной окружности ( $D_2$ ) многосекторного ведомого шкива

$$AB = 2 \cdot AK.$$

$OKA$  прямоугольный треугольник, так как  $OK \perp AB$ :

$$\frac{AK}{OA} = \sin \frac{\alpha_c}{2}; \quad OA = 0,5 \cdot D_2; \quad AK = 0,5 \cdot D_2 \cdot \sin \frac{\alpha_c}{2},$$

тогда

$$AB = D_2 \cdot \sin \frac{\alpha_c}{2} \quad (3)$$

С увеличением диаметра ( $D_2$ ) многосекторного ведомого шкива, секторы удаляются друг от друга.

Глубина входа линии  $AB$  во внутрь секторов (рисунок 2)

$$CC' = DD' = O_1C - O_1C'$$

$O_1C'A$  прямоугольный треугольник, так как  $O_1C \perp OK$ :

$$\frac{O_1C'}{O_1A} = \cos \frac{\alpha_c}{2}; \quad O_1A = 0,5 \cdot D_1; \quad O_1C = 0,5 \cdot D_1; \quad O_1C' = 0,5 \cdot D_1 \cdot \cos \frac{\alpha_c}{2}.$$

Поэтому

$$CC' = DD' = 0,5 \cdot D_1 - 0,5 \cdot D_1 \cdot \cos \frac{\alpha_c}{2};$$
$$CC' = DD' = 0,5 \cdot D_1 \cdot (1 - \cos \frac{\alpha_c}{2}) \quad (4)$$

Формула (4) показывает, что глубина входа линии  $AB$  во внутрь секторов величина постоянная и не зависит от диаметра ( $D_2$ ) многосекторного ведомого шкива.

Расположение сечения клинового ремня в канавке шкива показано на рисунке 3.

Если, глубина входа линии  $AB$  во внутрь секторов будет больше высоты сечения клинового ремня ниже диаметральной окружности ( $D$ ) шкива, тогда ремень полностью обхватывает канавки секторов:

$$CC' = DD' > h - y_o;$$

с учетом формулы (4)

$$0,5 \cdot D_1 \cdot (1 - \cos \frac{\alpha_c}{2}) > h - y_o \quad (5)$$

здесь  $D_1 \gg h$ , поэтому клиновый ремень всегда будет полностью обхватывать канавки рабочих секторов.

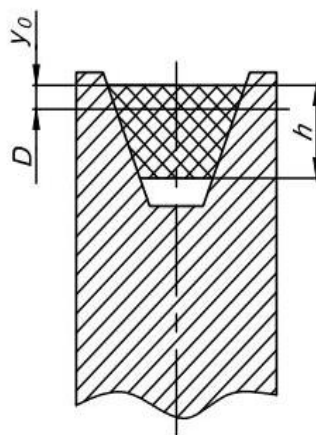


Рисунок 3 – Расположение клинового ремня в канавке шкива

С увеличением передаточного отношения вариатора геометрическая форма многосекторного ведомого шкива изменяется, от круглой формы переходит на правильный многоугольник. При этом секторы образуют углы, а ремень межугловые стороны многоугольника.

С ростом передаточного отношения вариатора длина сторон многоугольника увеличивается.

В связи с этим, число секторов многосекторного ведомого шкива следует выбирать с учетом следующих условий:

1. Форма многосекторного ведомого шкива должна быть правильный многоугольник, близко вписываемый в окружность.
2. Число секторов многосекторного ведомого шкива должно быть четное число, тогда число секторов обхватываемые ремнем будет постоянным, неизменным при вращении шкива.
3. Синхронное радиальное перемещение секторов осуществляются при помощи специальных механизмов, поэтому, с ростом числа секторов растет число механизмов, это усложняет конструкцию многосекторного ведомого шкива.

Правильный многоугольник с четным числом углов, близко вписываемый в окружность - шестиугольник.

Пятиугольник имеет нечетное число углов, а четырехугольник образует квадрат, который плохо вписывается в окружность.

Поэтому, многосекторный ведомый шкив должен иметь шесть одинаковых секторов, это минимальное число

$$z_c=6 .$$

Клиноременный вариатор, в основном, применяют для снижения скорости, поэтому, передаточное отношение вариатора изменяется в интервале

$$U_{\epsilon} = 1 \div U_{\epsilon \max},$$

где  $U_{\epsilon \max} = \frac{D_{2\max}}{D_1}$  - максимальное передаточное отношение вариатора.

Минимальное передаточное отношение вариатора

$$U_{\epsilon \min} = \frac{D_{2\min}}{D_1} = 1.$$

Поэтому, минимальный диаметр многосекторного ведомого шкива равен диаметру ведущего шкива

$$D_{2\min} = D_1.$$

Диаметр ведущего шкива принимают в зависимости от типа сечения клинового ремня и проектной мощности вариатора [5].

### Результаты и обсуждение

Синхронное радиальное перемещение секторов изменяет диаметр многосекторного ведомого шкива

$$D_2 = D_1 + 2 \cdot x, \quad (6)$$

где:  $x$  - радиальное перемещение сектора.

С увеличением диаметра ( $D_2$ ) многосекторного ведомого шкива увеличивается передаточное отношение вариатора

$$U_{\epsilon} = \frac{D_2}{D_1}. \quad (7)$$

Многосекторный ведомый шкив снабжается секторными механизмами для синхронного перемещения секторов. При конструировании секторного механизма необходимо знать его рабочую нагрузку. Рабочей нагрузкой секторного механизма является сила нормального давления ремня на сектор.

Силу нормального давления ремня на сектор можно определить из дифференциального уравнение Эйлера [8]

$$dN = S \cdot d\alpha, \quad (8)$$



здесь  $S = S_1 \cdot e^{f\alpha}$  - текущее значение натяжения ремня на ведомом шкиве.

С учетом текущего натяжения ремня на ведомом шкиве дифференциальное уравнение (8) можно записать в виде

$$dN = S_1 \cdot e^{f\alpha} \cdot d\alpha \quad (9)$$

Интегрируя уравнение (9) можно определить силу нормального давления ремня на шкив:

$$\int_0^N dN = \int_0^\alpha S_1 \cdot e^{f\alpha} \cdot d\alpha ;$$

откуда

$$N = \frac{S_1}{f} \cdot e^{f\alpha} - \frac{S_1}{f} ; \quad N = \frac{S_1}{f} \cdot (e^{f\alpha} - 1) \quad (10)$$

Натяжение ведомой ветви ремня [8]

$$S_1 = S_0 - 0,5 \cdot F_t \quad (11)$$

где:  $S_0 = \sigma_0 \cdot A$  - предварительное натяжение ремня, Н;

$\sigma_0 = 1,2 \div 1,5$  Н/мм<sup>2</sup> - напряжение от предварительного натяжения ремня;

$A$  - площадь поперечного сечения клинового ремня, мм<sup>2</sup>;

$F_t$  - окружное усилие шкива (нагрузка передачи), Н.

Сила нормального давления ремня на шкив величина переменная, увеличивается в сторону вращения шкива, т. е. от ведомой ветви ремня к ведущей ветви ремня.

Поэтому на рабочие секторы многосекторного ведомого шкива действуют различные по величине силы нормального давления ремня. Секторный механизм надо рассчитывать на максимальную нагрузку.

Как видно из формулы (10), сила нормального давления ремня на шкив увеличивается с увеличением угла обхвата ( $\alpha$ ) его ремнем. Поэтому, сила нормального давления принимает наибольшее значение при  $\alpha = \alpha_p$

$$N_{\max} = \frac{S_1}{f} (e^{f\alpha_p} - 1) \quad (12)$$

### **Выводы**

1 Предложен клиноременный вариатор со стандартным приводным клиновым ремнем и многосекторным ведомым шкивом, диаметр которого изменяется при синхронном перемещении одинаковых секторов по радиальным направлениям.

2 Рекомендуется компоновать многосекторный шкив из шести одинаковых секторов шкива стандартного приводного клинового ремня.

3 При синхронном перемещении секторов геометрическая форма шестисекторного шкива от исходной круглой формы переходит на правильный многоугольник, близко вписываемый в окружность.

4 Число рабочих секторов шестисекторного шкива, взаимодействующих с клиновым ремнем, не изменяется при вращении шкива.

5 Клиновый ремень во всех диаметрах многосекторного шкива полностью обхватывает канавки рабочих секторов.

6 Диаметр многосекторного шкива зависит от диаметра исходного шкива и величины радиального перемещения сектора.

7 Тяговая способность многосекторного шкива достаточна для передачи расчетной нагрузки вариатора.

8 Определена закономерность распределения силы нормального давления ремня на поверхность шкива и ее максимальное значение выбрано как рабочая нагрузка секторного механизма.

9 Изученный многосекторный шкив позволяет конструировать понижающий клиноременный вариатор со стандартным приводным клиновым ремнем.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Podgornyj, Y., Martynova, T., Skeebe V.** On the issue of limiting the irregular motion of a technological machine within specified limits. *Metal Working and Material Science*, 24(2), P. 66–77.

2 **Черпаков, Б. И., Альперович, Т. А.** *Металлорежущие станки: учебник для нач.проф.образования.* – 4-е изд., стер. – М. : издательский центр «Академия», 2010. – 368 с.

3 **Койайдаров, Б. А., Койайдаров, А. А., Джакияев, Д. К.** Регулируемый механический привод для технологических машин. *Журнал «Технология текстильной промышленности» (Россия)*, № 3, 2020 г., г. Иванова.

4 **Қойайдаров, Б. А., Сапарова, Н. Ж., Қойайдаров, А. А.** Технологиялық машиналарға реттелетін механикалық жетек. *Журнал «Механика және технологиялар»*, № 2, 2020 ж.

5 **Койайдаров, Б. А., Койайдаров А. Б.** Способ регулирования числа оборотов шпинделя металлорежущего станка. *Инновационный патент № 20998.*

6 **Podrigalo, M. et al.** Energy Efficiency of Vehicles with Combined Electromechanical Drive of Driving Wheels. – SAE Technical Paper, 2020. – №. 2020-01-2260.

Проектирование механических передач : учеб. пособие для вузов / Чернавский С. А., Снесарёв Г. А., Козинцов Б. С. и др. ; общ. ред. Козинцов Б. С., Козинцова М. Б. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Инфра-М, 2013. - 535 с.

7 **Койайдаров, Б. А., Жунисбеков, Т. М., Бекенов, Р. М.** Клиноременный вариатор. Инновационный патент № 21597.

8 **Койайдаров Б. А., Койайдаров А. А., Кошкарбай Ж. К.** Клиноременный вариатор. Инновационный патент № 2116.

9 Детали машин и основы конструирования: Учеб. для вузов / В.В.Гурин, В.М.Замятин, А.М.Попов.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 427 с., ил.

## REFERENCES

1 **Podgornyj, Y., Martynova, T., Skeebe, V.** On the issue of limiting the irregular motion of a technological machine within specified limits. Metal Working and Material Science, 24(2), pp. 66-77.

2 **Cherpakov B. I., Al'perovich T. A.** Metallorzhushhie stanki : uchebnik dlja nach.prof.obrazovaniya [Metal-cutting machines : a textbook for the beginning prof.education]. – 4th ed., erased. – Moscow : publishing center «Academy», 2010. – 368 p.

3 **Koiaidarov B. A., Koiaidarov, A. A., Dzhakiyaev, D. K.** Reguliruemyj mehanicheskij privod dlja tehnologicheskikh mashin [Adjustable mechanical drive for process machines]. Zhurnal “Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti (Rossiya) «[Textile Industry Technology Magazine (Russia)»], № 3, 2020, Ivanova.

4 **Koiaidarov, B. A., Saparova, N. Zh., Koiaidarov, A. A.** Tehnologijalyq mashinalarga retteletin mehanikalyq zhetek [Adjustable mechanical drive to process machines.]. Zhurnal «Mehanika zhəne tehnologijalar» [Journal «mechanics and technologies»], № 2, 2020.

5 **Koiaidarov, B. A., Koiaidarov, A. B.** Spособ regulirovaniya chisla oborotov shpindelja metallorzhushhego stanka [A method for regulating the number of revolutions of the spindle of a metal-cutting machine]. Innovation Patent № 20998.

6 **Podrigalo, M. et al.** Energy Efficiency of Vehicles with Combined Electromechanical Drive of Driving Wheels. – SAE Technical Paper, 2020. – №. 2020-01-2260.

7 Proektirovanie mehanicheskikh peredach [Design of mechanical gears] : ucheb. posobie dlja vtuzov / Chernavskij S. A., Snesarjov G. A., Kozincov B. S. i dr.; obshh. red. Kozincov B. S., Kozincova M. B. –7-e izd., pererab. i dop. –Moscow : Infra-M, 2013. – 535 p.

8 **Koiaidarov, B. A., Zhunisbekov, T. M., Bekenov, R. M.** Klinoremennyj variator [V-belt variator]. Innovation Patent № 21597.

9 **Koiaidarov B. A., Koiaidarov A. A., Koshqarbai Zh. K.** Klinoremennyj variator [V-belt variator]. Innovation Patent № 2116.

10 Detali mashin i osnovy` konstruirovaniya [Machine parts and design basics]: Ucheb. dlya vuzov / V. V. Gurin, V. M. Zamyatin, A. M. Popov.– Tomsk : Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2010. – 427 p., il.

Поступило в редакцию 13.11.2023

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 02.03.2024

**Р. Т. Сахыбаев, \*Б. А. Қойайдаров**

М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

Поступило в редакцию 13.11.2023

Поступило с исправлениями

Принято в печать 02.03.2024

## **КӨПРЕЖИМДІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАРҒА СЫНА БЕЛДІКТІ ВАРИАТОР ҚҰРУ**

*Көпрежимді технологиялық машиналардың кинематикалық құрылысы күрделі, мысалы, металл кесетін станоктар, себебі, оларда технологиялық жылдамдықты, негізінен, сатылап өзгертеді. Көпрежимді технологиялық машиналардың кинематикалық құрылысын жеңілдету мақсатында жылдамдықты сатылап және сатыламай өзгерту әдістерін біруақытта қолдану ұсынылған. Жылдамдықты сатыламай сына белдікті вариатормен атқару тиімді болады, себебі, оның келесідей артықшылықтары бар: құрылысы қарапайым, реттеу арнасы жеткілікті, құны қолжетімді, сенімді және жұмысы шусыз. Бірақ, завод шығаратын, қазіргі, кең енді арнайы сына белдікті вариатордың келесідей кемшіліктері бар: реттеу арнасы сына белдіктің еніне тәуелді, белдік тез тозады, кең енді арнайы сына белдіктің құны жоғары. Осыған байланысты, көпрежимді технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтарын сатыламай реттеуге стандартты жетектік сына белдікті вариатор құру ұсынылған. Сына белдікті вариатор, стандартты шкивтің бөлінген бірдей секторларымен құрамдалған, көпсекторлы шкивпен жабдықталған. Көпсекторлы шкивтің диаметрін секторларды радиальды бағыттарға синхронды жылжытумен өзгерту әдісі ұсынылған. Көпсекторлы шкивтің секторлар саны, тарту қабілеті, диаметрі, секторларға белдіктен түсетін қысым күші сияқты маңызды параметрлері анықталған, стандартты жетектік сына белдікті вариаторды жобалауға қажетті.*

*Кілтті сөздер: вариатор, жылдамдық, реттеу, сына белдік, сектор, бұрыш, керілу, жүктеу.*

**R. T. Sakhybayev, \*B. A. Koiaidarov**

Taraz Regional University named after H. Dulati,

Republic of Kazakhstan, Taraz.

Received 13.11.2023

Received in revised form

Accepted for publication 02.03.2024

## **DEVELOPMENT OF A V-BELT VARIATOR FOR MULTI-MODE TECHNOLOGICAL MACHINES**

*Multi-mode technological machines have complex kinematic structures, for example, metal-cutting machines, since their technological speeds are changed mainly stepwise. In order to simplify the kinematic designs of multi-mode technological machines, it is recommended to use stepwise and stepless methods of changing the speed simultaneously. Stepless speed control will be advantageous to carry out with the help of a V-belt variator, since it has such significant advantages as simplicity of design, sufficient range of regulation, affordable cost, neediness and noiselessness of operation. However, the existing V-belt variator manufactured by the plant with a special wide V-belt has such significant disadvantages as the dependence of the adjustment range on the belt width, insufficient belt durability, and the relative high cost of a special V-belt. In this regard, a V-belt variator with a standard V-belt drive is proposed for stepless regulation of operating speeds of multi-mode technological machines. The V-belt variator is equipped with a multi-sector pulley composed of separate identical sectors of a standard pulley. The diameter of the multi-sector pulley is changed by synchronously moving the sectors in radial directions. Such important characteristics of a multi-sector pulley as the number of sectors, traction capacity, diameter, and normal belt pressure forces necessary for designing a variator with a standard V-belt are determined.*

*Keywords: variator, speed, regulation, V-belt, sector, angle, tension, load.*

**R. A. Sovetbayev<sup>1</sup>, Y. Nugman<sup>1</sup>, \*Y. Y. Shayakhmetov<sup>2</sup>, A. Kawalek<sup>3</sup>**

1K.I. Satbayev Kazakh National Research Technological University,

Republic of Kazakhstan, Almaty

2Shakarim University of Semey city, Republic of Kazakhstan, Semey

3Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland

\*e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

## **OBTAINING THE NECESSARY MECHANICAL PROPERTIES OF BLANKS OF PARTS MADE OF ALUMINUM ALLOY 7075 BY PHYSICAL MODELING**

*The article considers physical modeling for aluminum alloy 7075, widely used in mechanical engineering, in particular for elements of aircraft structures. This alloy differs from other rolled aluminum-based alloys not only by high values of strength properties, but also by the presence of a large number of intermetallic compounds of alloying elements. The workpiece for the parts is a round rolled product with regulated mechanical properties.*

*Thus, the purpose of this work was to determine the effect of the deformation pattern that occurs in metal during bar rolling on the mechanical properties of blanks of parts made of aluminum alloy 7075.*

*The present study draws attention to the importance of physical modeling in determining the characteristics of materials necessary for effective management of plastic processing processes. Analyzing the results of physical modeling, we identify the optimal parameters of material processing, such as microstructure, mechanical properties and chemical composition.*

*The results obtained allow a deeper understanding of the physical mechanisms underlying the production of blanks (rods) from aluminum rods of alloy 7075 by rolling, as well as optimizing it to achieve the required technical characteristics of products. Thus, as a result of physical modeling of the rolling process of bars made of aluminum alloy 7075, it was found that when the samples are deformed at a temperature of 250 ° C, the value of the plasticizing stress decreases by about 18%, and a more uniform distribution of microhardness over the transverse and longitudinal sections was obtained compared with deformation at a temperature of 200 ° C.*

*The research is of practical importance for the metalworking industry, and can also be used for educational purposes to train specialists in the field of materials science and metalworking.*

*Keywords: workpiece parts, physical modeling, aluminum alloy 7075, metalworking, aluminum alloy microstructure, deformation of samples.*

---

---

### **Introduction**

Physical modeling methods used with great success both in fundamental research and in applied research aimed at transferring the results of laboratory research to a real industrial facility. Of particular importance are the methods of physical modeling used in plastic processing and materials science [1; 2].

Physical modeling allows, among other things, to very accurately determine the characteristics of materials, knowledge of which is necessary for the development of new or modernization of currently used production technologies. The use of physical modeling can be a determining condition for microstructure and mechanical influences, as well as conditions for plastic restoration. Another important goal of physical modeling of plastic recycling processes is to provide a description of the behavior of the material during these processes, allowing the development of modern technologies for rolling new materials. Physical modeling also makes it possible to determine the optimal conditions for plastic processing and select the chemical composition of the material based on the results of laboratory studies.

### **Materials and methods**

Based on the results of physical modeling of the rolling process, it is possible to determine, for example, the values of the plasticizing voltage in each passage, making it possible to accurately calculate the energy and power parameters necessary for its implementation on an industrial scale. It is also possible to evaluate changes in the microstructure of the deformable material and its mechanical properties during the entire cycle of sequential deformation occurring during the rolling process [3]. The dimensions of the samples used in the simulation allow you to track the changes occurring in the microstructure of the simulated material. Thus, the physical modeling of real technological processes allows you to choose the optimal process parameters in order to obtain the desired microstructure of the plastically processed material [4].

The use of physical modeling methods in research preceding the process of introducing new technologies is associated with the use of modern simulators of plastic alteration processes, including taking into account thermal and plastic issues. With the help of simulation, it is possible to accurately record the reaction of the material to the applied heat release loads. This, in turn, allows us to determine the parameters of the technological process that ensure the production of products with a strictly defined microstructure and, consequently, the expected mechanical properties [5].

The growing range of research capabilities of simulators is also of great importance in the development of physical modeling methods.

### **Results and discussion**

This section presents the results of physical modeling of obtaining blanks for further processing from alloy 7075 in a three-roll radial shear mill. These studies were carried out in a complex state of deformation using the STD 812 torsion plastometer equipped with the

laboratory of Plastometric Research at the Institute of Plastic Processing and Safety Engineering of the Czestochowa Technical University.

Samples with the dimensions of the working part were used for testing: diameter  $d = 6$  mm and length  $l = 10$  mm. Temperature control was carried out using a type K thermocouple (NiCr-NiAl). The test material was heated at a rate of  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec.}$ , then kept at this temperature for 10 seconds, after which the samples were deformed and then cooled at a rate of  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec.}$  The general scheme of thermal and plastic processing in the physical modeling of the workpiece production process is shown in Fig. 1.

Due to the complex state of deformation, physical modeling studies were conducted using a complex state of deformation (simultaneous twisting with compression) [6].

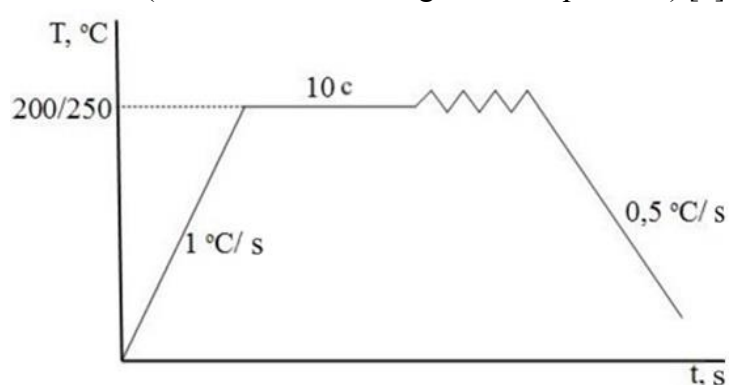


Figure 1 – The scheme of thermal plastic processing in the physical modeling of the process of obtaining blanks by rolling from aluminum alloy 7075

The deformation parameters were adopted based on the analysis of the results of numerical modeling of the process of obtaining blanks using the FORGE 2011 computer program while considering the research capabilities of the STD 812 torsion plastometer and were accordingly:

- compression deformation:  $\varepsilon = 0,29$ ;
- torsional deformation  $\varepsilon = 3,12$ ;
- the rate of deformation during compression  $\dot{\varepsilon} = 0,80$ ;
- the rate of deformation during torsion  $\dot{\varepsilon} = 9,00$ ;

Physical modeling studies were carried out at constant temperatures of deformed samples, which, in accordance with the conditions of numerical modeling, were 200 and 250 °C. changes in sample sizes during physical modeling of the workpiece production process are shown in Figure 2 [7].



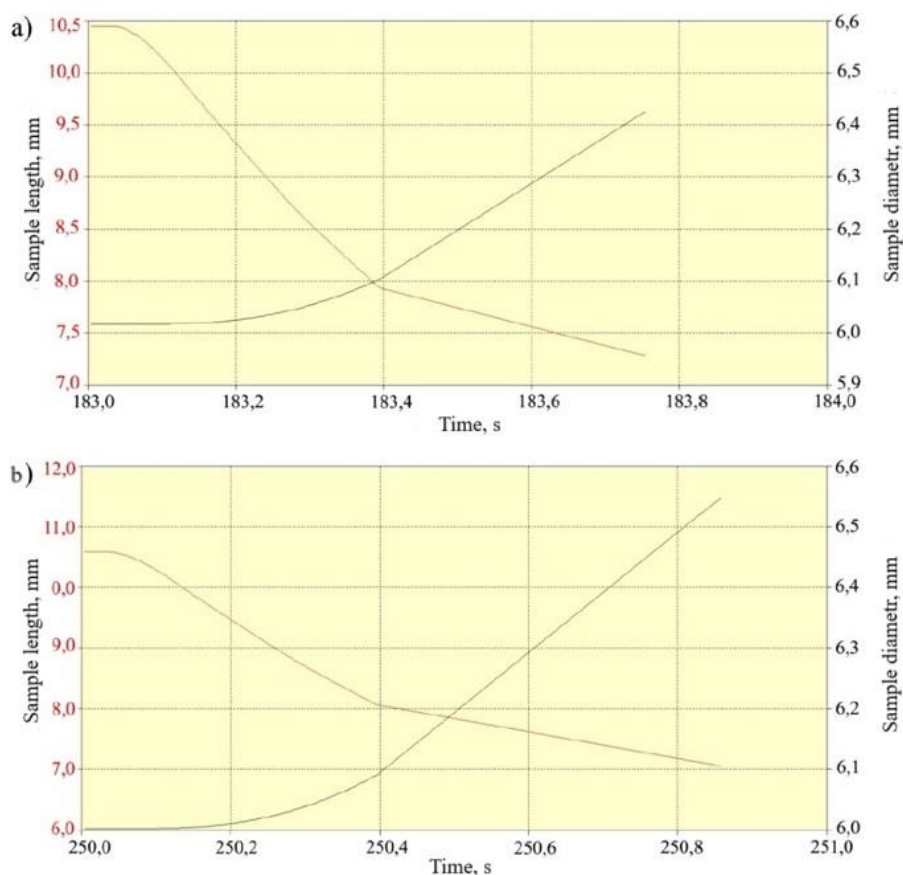


Figure 2 – Changes in sample sizes during physical modeling of the process of obtaining blanks by rolling from aluminum alloy 7075:

a) - Charge temperature 200 °C; b) - Charge temperature 250 °C

Figure 3 shows the change in the value of the plasticizing stress depending on the applied deformation for samples heated to temperatures of 200 °C and 250 °C.

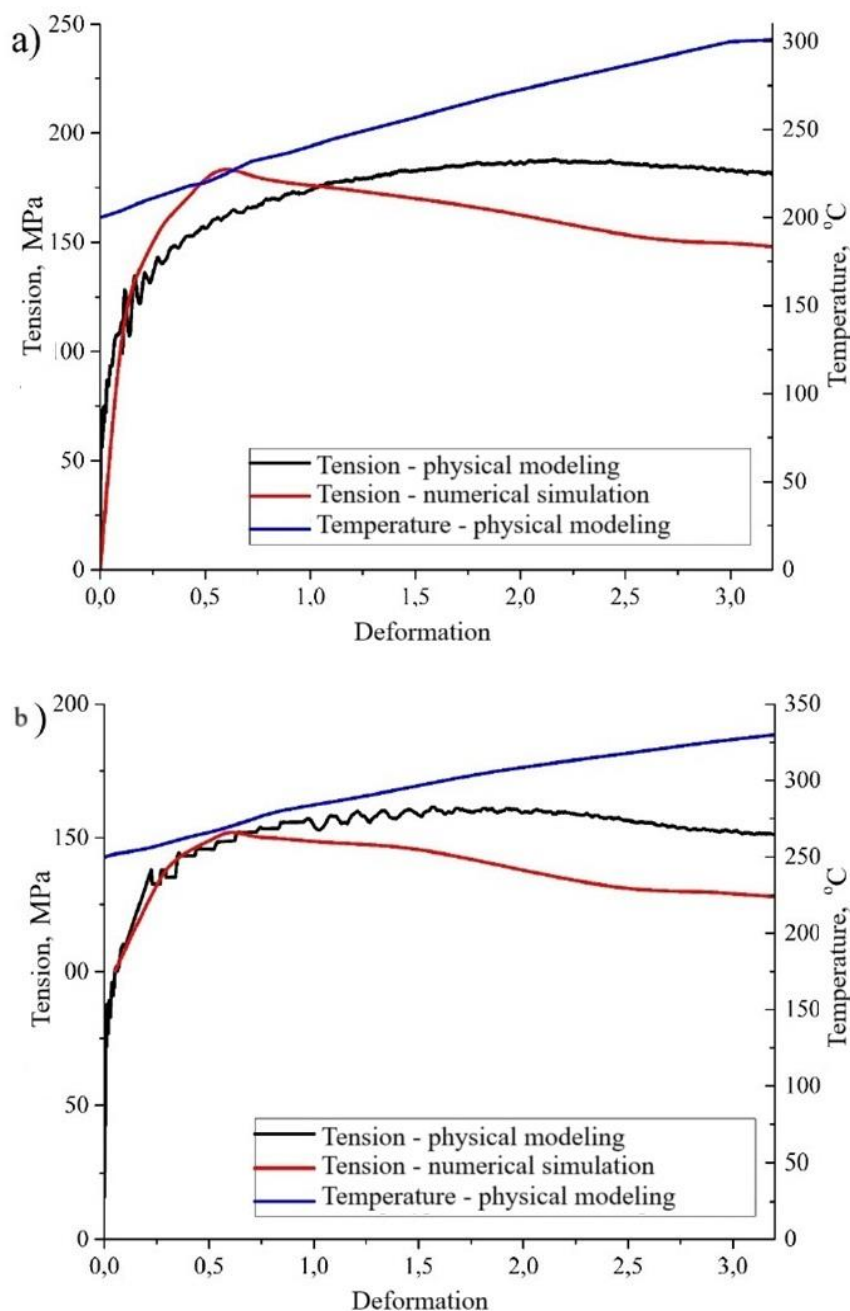


Figure 3 – The course of voltage changes of aluminum alloy 7075 in the physical simulation of the rolling process at temperatures of 200 (a) and 250 °C (b)

Based on the analysis of the test results presented in Figure 3, it can be concluded that the values of the plasticizing stress of the alloy under study, obtained as a result of physical modeling, are close to the values obtained as a result of numerical modeling. The greatest correspondence of the values of the plasticizing stress occurs at the initial stage of the deformation process [8]. At high strain values, the differences between the values of plasticizing stress obtained as a result of physical and numerical modeling increase. The values of the plasticizing stress of the material under study obtained by physical modeling are

greater than the values obtained by numerical modeling. This may be due to the influence of the temperature of the alloy under study on the value of the plasticizing stress [9]. During the numerical simulation of the rolling process of workpieces in a three-roll radial shear mill, the temperature of the studied rods increased with an increase in the applied plastic deformation. On the contrary, the process of physical modeling of the analyzed rolling process was carried out at a constant temperature of the deformable sample.

In the physical simulation of the process of obtaining blanks at a temperature of 200 °C (Fig.3 a), the maximum plasticizing stress was 180 MPa. In turn, for samples deformed at a temperature of 250 °C (Fig.3b), the maximum value of the plasticizing stress was about 160 MPa. From the analysis of the data shown in Figure 2 (a), it can be seen that an increase in the temperature of the deformable aluminum alloy 7075 from 200 to 250 °C leads to a decrease in the values of plasticizing stress by about 18% in both physical and numerical modeling. Samples were taken from the material after physical modeling to study the distribution of microhardness (Fig. 4) in the transverse and longitudinal sections. A Future-Tech microhardness meter was used to measure microhardness. These studies were carried out by the Vickers method at a load of 2.94 N with an iteration time of 5 seconds [10].



Figure 4 – Samples of aluminum alloy 7075 for microhardness test

The distribution of microhardness of samples from the alloy under study after physical modeling at temperatures of 200 and 250 °C in the transverse and longitudinal sections is shown in Figure 5.

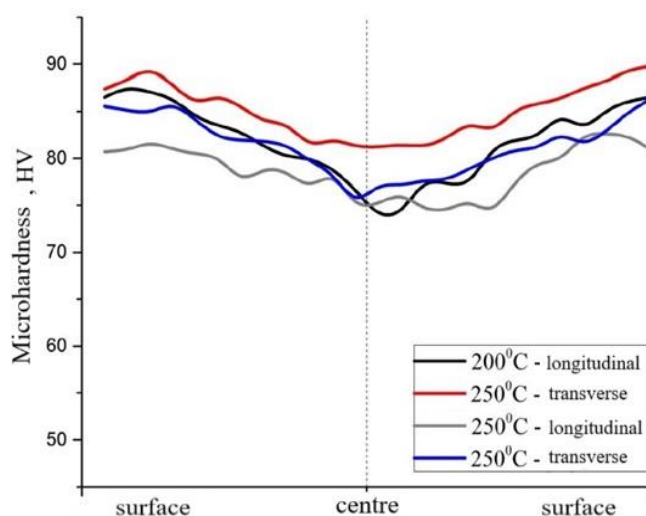


Figure 5 – Microhardness distribution of 7075 aluminum alloy samples deformed at temperatures of 200 °C and 250 °C

### Conclusion

Based on the analysis of the microhardness distribution of aluminum alloy 7075 samples, it can be concluded that the highest microhardness was characterized by areas lying near the surface of the workpieces (rolled products), and the lowest was in the center of the workpieces. This distribution of microhardness was due, characteristic of the twisting process, to the distribution of deformation across the cross-section of the deformable material. The greatest deformation occurs in the near-surface areas, and the smallest in the axis of the deformable material. For samples deformed at a temperature of 200 °C, the maximum microhardness values were 87 HV in the cross section of the currant and 89 HV in the longitudinal section. The lowest values of the microhardness of the alloy under study were 71 HV in cross section and 81 HV in longitudinal section. A similar nature of the microhardness distribution of aluminum alloy 7075 was also observed for samples deformed at 250 °C. In this case, the maximum values of microhardness were 82 HV in the cross section of the currant and 86 HV in the longitudinal section. The lowest values of the microhardness of the alloy under study in this case were 74 HV in cross section and 75 HV in longitudinal section.

Analyzing the results of physical modeling of the process of obtaining blanks from aluminum alloy 7075, it was found that when the samples are deformed at a temperature of 250 °C, the value of the plasticizing stress decreases by about 18%, and a more uniform distribution of microhardness over the transverse and longitudinal sections was obtained compared with deformation at a temperature of 200 °C.

## REFERENCES

1 **Kareva, N. T., Koryagin, Yu. D.** Thermomechanical treatment of aging aluminium alloys. *Metal Science and Heat Treatment* // – 2015. – № 9–10. – P. 483–488.

2 **Morel, A., Mróz, S., Stefanik, A., Szota, P., Dyja, H.** Teoretyczno-doświadczalna analiza procesu walcowania prętów aluminiowych w trójwalcowej walcierce skośnej // *Rudy i Metale Nieżelazne*// – 2013. – № 11. – P. 794–798.

3 **Korbel, A., Bochniak, W., Borowski, J., Błaż, L., Ostachowski, P., Łagoda, M.** Anomalies in precipitation hardening process of 7075 aluminum alloy extruded by KOBO method // *Journal of Materials Processing Technology* // – 2015. – P. 160–168.

4 **Laber K., Kawalek A., Sawicki S., Dyja H., Borowski J., Leśniak D., Jurczak H.** Investigations of plasticity of hard-deformed aluminium alloys of 5xxx series using torsion plastometer // *Archives of Metallurgy and Materials* // – 2016. – № 4. – P. – 1853–1860. – Vol. 61.

5 **Liddicoat, P. V., Liao, X-Zh., Zhao, Y., Zhu, Y., Murashkin, M. Y., Lavernia, E. J., Valiev, R. Z., Ringer, S. P.** Nanostructural hierarchy increases the strength of aluminium alloys // *Nature Communications* // – 2010. – № 7. – P. 1–7.

6 **Лопатин, Н. В., Галкин, С. П.** Влияние комбинированной прокатки на структуру и свойства прутков титана BT1-0 // *Обработка металлов давлением* // – 2013. – С. 39–46. – № 2.

7 **Koczurkiewicz, B.** Podstawy technologii wytwarzania blach grubych ze stali niskowęglowych z mikrododatkami przeznaczonych na rury przewodowe // *Wyd. Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa* // – 2016.

8 **Galkin, S.P.** Radial shear rolling as an optimal technology for lean production // *Steel in Translation*// – 2014. – № 44 (1). – P. 61–64.

9 **Gryc, A., Bajor, T., Dyja, H., Sawicki, S., Laber, K.** Physical modelling of plastic deformation conditions for the rolling process of AZ31 bars in a three high skew rolling mill // *Metallurgia* // – 2014. – № 53. – P. 489–492.

10 **Колобов, Р., Иванов, М. Б., Голосов, В.** Формирование наноструктурных состояний и связанных с ними улучшенных свойств материалов медицинского и технического назначения. // *Наносистемы, Наноматериалы, Нанотехнологий* // – 2011. – № 2. – С. 489–498.

## REFERENCES

1 **Kareva, N. T., Koryagin, Yu. D.** Thermomechanical treatment of aging aluminium alloys. *Metal Science and Heat Treatment* // – 2015. – № 9–10. – P. 483–488.

2 **Morel, A., Mróz, S., Stefanik, A., Szota, P., Dyja, H.** Teoretyczno-doświadczalna analiza procesu walcowania prętów aluminiowych w trójwalcowej walcierce skośnej // *Rudy i Metale Nieżelazne*// – 2013. – № 11. – P. 794–798.

3 **Korbel, A., Bochniak, W., Borowski, J., Błaż, L., Ostachowski, P., Łagoda, M.** Anomalies in precipitation hardening process of 7075 aluminum alloy extruded by KOB method // *Journal of Materials Processing Technology* // – 2015. – P. 160–168.

4 **Laber K., Kawalek A., Sawicki S., Dyja H., Borowski J., Leśniak D., Jurczak H.** Investigations of plasticity of hard-deformed aluminium alloys of 5xxx series using torsion plastometer // *Archives of Metallurgy and Materials* // – 2016. – № 4. – P. – 1853–1860. – Vol. 61.

5 **Liddicoat, P. V., Liao, X-Zh., Zhao, Y., Zhu, Y., Murashkin, M. Y., Lavernia, E. J., Valiev, R.Z., Ringer, S. P.** Nanostructural hierarchy increases the strength of aluminium alloys // *Nature Communications* // – 2010. – № 7. – P. 1–7.

6 **Lopatin, N. V., Galkin, S. P.** Vliyanie kombinirovannoj prokatki na strukturu i svojstva prutkov titana VT1-0 // *Obrabotka metallov davleniem* // – 2013. – P. 39–46. – № 2.

7 **Koczurkiewicz, B.** Podstawy technologii wytwarzania blach grubych ze stali niskowęglowych z mikrododatkami przeznaczonych na rury przewodowe // *Wyd. Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa* // – 2016.

8 **Galkin, S. P.** Radial shear rolling as an optimal technology for lean production // *Steel in Translation* // – 2014. – № 44 (1). – P. 61–64.

9 **Gryc, A., Bajor, T., Dyja, H., Sawicki, S., Laber, K.** Physical modelling of plastic deformation conditions for the rolling process of AZ31 bars in a three high skew rolling mill // *Metallurgia* // – 2014. – № 53. – P. 489–492.

10 **Kolobov, R., Ivanov, M. B., Golosov, V.** Formirovanie nanostrukturny`x sostoyanii i svyazanny`x s nimi uluchshenny`x svojstv materialov medicinskogo i texnicheskogo naznacheniya. // *Nanosistemy`, Nanomaterialy`, Nanotexnologij* // – 2011. – № 2. – P. 489–498.

Received 02.03.2024

Received in revised form 03.03.2024

Accepted for publication 04.03.2024

***P. A. Советбаев<sup>1</sup>, E. З. Нугман<sup>1</sup>, E. Я. Шаяхметов<sup>2\*</sup>, A. Kawalek<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>2</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
Қазақстан Республикасы, Семей қ.;

<sup>3</sup>Czestochowa University of Technology, Польша, Ченстохова қ.

02.03.2024 ж. баспаға түсті.

03.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

04.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

**ФИЗИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ АЛЮМИНИЙ 7075  
ҚОРЫТПАСЫ ДАЙЫНДАМАЛАРЫНАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ  
ҚАЖЕТТІ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АЛУ**

Мақалада машина жасауда кеңінен қолданылатын 7075 алюминий қорытпасының физикалық модельдеуі, атап айтқанда авиациялық конструкциялар элементтері үшін қарастырылған. Бұл қорытпа алюминий негізіндегі басқа қорытпаларынан беріктік қасиеттерінің жоғары мәндерімен ғана емес, сонымен қатар легирлеуші элементтердің көптеген металлралық қосылыстарының болуымен де ерекшеленеді. Бөлшектерге арналған дайындама реттелетін механикалық қасиеттері бар дөңгелек прокат болып табылады.

Осылайша, бұл жұмыстың мақсаты 7075 алюминий қорытпасынан жасалған бөлшектер дайындамаларының механикалық қасиеттеріне шыбықтарды илемдеу кезінде металда пайда болатын деформация схемасының әсерін анықтау болды.

Бұл зерттеу пластикалық қайта өңдеу процестерін тиімді басқару үшін қажетті материалдардың сипаттамаларын анықтауда физикалық модельдеудің маңыздылығына назар аударады. Физикалық модельдеу нәтижелерін талдай отырып, біз микроқұрылым, механикалық қасиеттер және химиялық құрам сияқты материалдарды өңдеудің оңтайлы параметрлерін анықтаймыз.

Алынған нәтижелер 7075 алюминий қорытпасының өзектерінен дайындамаларды илемдеу арқылы алудың негізінде жатқан физикалық механизмдерді тереңірек түсінуге, сондай-ақ бұйымдардың қажетті техникалық сипаттамаларына қол жеткізу үшін оны оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сонымен, 7075 алюминий қорытпасынан жасалған шыбықтарды илемдеу процесін физикалық модельдеу нәтижесінде 250°C температурада үлгілердің деформациясы кезінде пластификация кернеуінің мәні шамамен 18% – га төмендейтіні анықталды және 200 °C температурадағы деформациямен салыстырғанда көлденең және бойлық қимада микроқаттылықтың біркелкі таралуы алынды.

Кілтті сөздер: бөлшектерді дайындау, физикалық модельдеу, 7075 алюминий қорытпасы, металл өңдеу, алюминий қорытпасының микроқұрылымы, үлгілердің деформациясы.

**Р. А. Советбаев<sup>1</sup>, Е. З. Нугман<sup>1</sup>, \*Е. Я. Шаяхметов<sup>2</sup>, А. Kawalek<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қазақский национальный научно-исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Университет имени Шакарима г. Семей, Республика Казахстан, г. Семей;

<sup>3</sup>Czestochowa University of Technology, г. Ченстохова, Польша

Поступило в редакцию 02.03.2024

Поступило с исправлениями 03.03.2024

Принято в печать 04.03.2024

---

---

**ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА  
7075 ПУТЕМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*В статье рассмотрено физическое моделирование для алюминиевого сплава 7075, широко используемого в машиностроении, в частности для элементов авиационных конструкций. Этот сплав отличается от других прокатных сплавов на основе алюминия не только высокими значениями прочностных свойств, но и наличием большого количества интерметаллических соединений легирующих элементов. Заготовкой для деталей является круглый прокат, с регламентируемыми механическими свойствами.*

*Таким образом, целью настоящей работы было определение влияния схемы деформации, возникающей в металле при прокатке прутков на механические свойства заготовок деталей из алюминиевого сплава 7075.*

*Настоящее исследование обращает внимание на значимость физического моделирования в определении характеристик материалов, необходимых для эффективного управления процессами пластической переработки. Анализируя результаты физического моделирования, мы выявляем оптимальные параметры обработки материалов, такие как микроструктура, механические свойства и химический состав.*

*Полученные результаты позволяют более глубоко понять физические механизмы, лежащие в основе получения заготовок (прутков) из алюминиевых стержней сплава 7075 прокаткой, а также оптимизировать его для достижения требуемых технических характеристик изделий. Так в результате физического моделирования процесса прокатки прутков из алюминиевого сплава 7075, было обнаружено, что при деформации образцов при температуре 250°C значение пластифицирующего напряжения снижается примерно на 18%, и было получено более равномерное распределение микротвердости по поперечному и продольному сечению по сравнению с деформацией при температуре 200 °C.*

*Ключевые слова: заготовки деталей, физическое моделирование, алюминиевый сплав 7075, металлообработка, микроструктура алюминиевого сплава, деформация образцов.*



**Г. Таттимбек<sup>1</sup>, \*К. Т. Шеров<sup>1</sup>, Б. Т. Мардонов<sup>2</sup>,  
Г. Б. Абдикаримова<sup>3</sup>, С.И. Мендалиева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялар университеті,  
Өзбекістан Республикасы, Науайы қ.

<sup>3</sup>Қарағанды медициналық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

\*e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

## **ЦИЛИНДРЛІ ТІСТІ ДОҒАЛАҚТАРДЫ ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЖӘНЕ ТОЗУ СЕБЕПТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Бұл мақалада цилиндрлік берілістерді, атап айтқанда, үлкен модульді доңғалақтарды өндірудің қолданыстағы технологияларын зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасының машина жасау кәсіпорындары жағдайында жүргізілді және техникалық әдебиеттерге шолу жасалып, осы бағытта орындалған ғалымдардың ғылыми еңбектеріне талдау жасалды. Тік тісті цилиндрлік доңғалақтарды дайындау технологиясын зерттеу нәтижелері тіс қуыстарын өңдеудің дәлдігі мен сапасын қамтамасыз ету мәселесінің бар екенін көрсетті. Бұл әсіресе үлкен модульді цилиндрлік берілістерді жасауда айқын байқалады. Сондай-ақ, механикалық өңдеудің технологиялық процесінің жоғары күрделілігі доңғалақтарды дайындау құнының күрт өсуіне әкелетіні анықталды. Цилиндрлік тісті доңғалақ тістерінің жұмыс беттерінің зақымдануы мен тозу түрлері зерттелді. Тісті берілістердің өнімділігіне беріліс моменттерін және берілістердің айналу сипатын анықтайтын сыртқы факторлар да, механизмнің техникалық жағдайына байланысты ішкі факторлар да әсер ететіні анықталды. Мәселенің бұл күйі үлкен модульді цилиндрлік берілістердің дәлдігін, сенімділігін және ұзақ мерзімділігін арттыру үшін ресурсты үнемдейтін өңдеу әдістерін әзірлеу қажеттілігін талап ететіндігі анықталды. Тік тісті цилиндрлік доңғалақтардың тіс биіктігі бойынша эвольвентті профильдердің радиустарының ауытқуына технологиялық факторлардың әсерін зерттеу жүргізілді.*

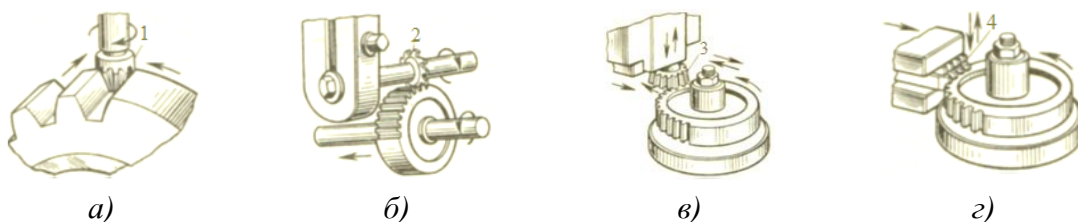
*Кілтті сөздер: Үлкен модульді доңғалақ, тісті цилиндрлік доңғалақ, дәлдік, сапа, тіс тозуы, сыну, абразивті тозу.*

### Кіріспе

Тісті доңғалақ өндірісі машина жасауды дамытуда үлкен рөл атқарады. Тісті доңғалақтар көптеген заманауи машиналар мен механизмдердің негізін құрайды (автомобильдер, ауылшаруашылық машиналары, металл кескіш білдектер, редукторлар, электр пойыздарының тартым берілістері және т. б.) [1; 2]. Көптеген жағдайларда тісті доңғалақтар машина жасау өнімдерінің техникалық параметрлерін анықтайды: салмағы, өлшемдері, сенімділігі және ұзақ мерзімділігі. Шағын модульді тісті доңғалақтар қолданылатын автомобиль, авиация және басқа салаларда жоғары өнімділікте тісті доңғалақтардың сенімділігі мен беріктігін арттырудың көптеген техникалық шешімдері бар. Алайда, үлкен модульді цилиндрлі тісті доңғалақтар өндірісінде олардың тәжірибесін қазіргі нарықтық қатынастарда тарату қиын. Үлкен модульді цилиндрлі тісті доңғалақтарды өндірудің күрделілігі жоғары. Сондай-ақ, үлкен модульді цилиндрлі берілістерді өңдеудің дәстүрлі әдістері әрдайым қажетті дәлдік пен шеберлікті қамтамасыз ете бермейді. Осыған байланысты үлкен модульді цилиндрлі тісті доңғалақтардың дәлдігін, сенімділігі мен беріктігін арттыруға мүмкіндік беретін ресурстарды үнемдейтін өңдеу әдістерін әзірлеу өзекті болып табылады.

### Материалдар мен әдістер

Қазақстан Республикасының машина жасау кәсіпорындары жағдайында сыртқы тістері бар доңғалақтарды өндірудің қолданыстағы технологияларын зерттеу және техникалық әдебиеттерге шолу [2; 3; 4; 5; 6] олардың негізінен әмбебап жону және арнайы білдектерде (жону) жону әдістері арқылы дайындалатынын көрсетті. Жоғарыда айтылғандай, цилиндрлі доңғалақтардың тістері көшірмелеу әдісімен немесе домалату әдісімен жонылады. 1-суретте көшірмелеу арқылы тісті доңғалақтарды дайындау әдістері көрсетілген.



*a, б* – жонғыштардың көмегімен өңдеу; *в, з* – қашауыш пен тарақтың көмегімен домалату; 1 - саусақты жонғыш; 2 - дискілі жонғыш; 3 - қашауыш; 4 – тарақ

Сурет 1 – Тісті доңғалақтарды көшірмелеу арқылы дайындау

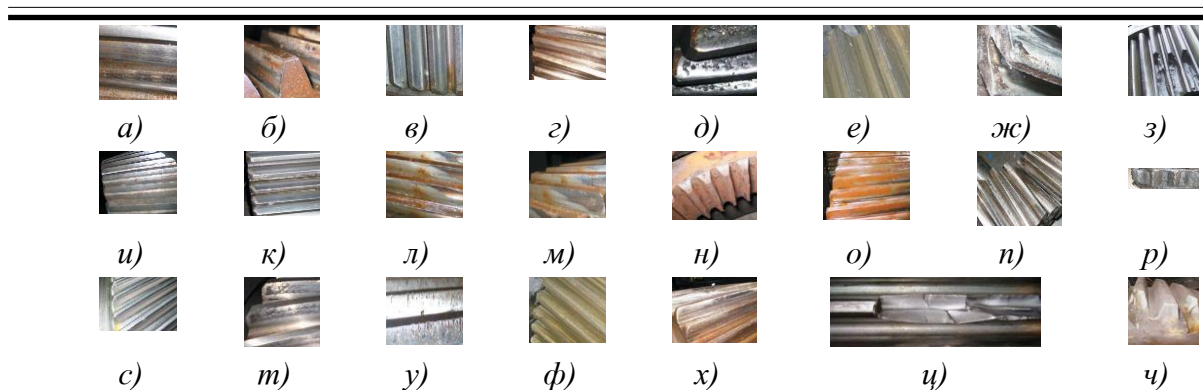
Көшірмелеу әдісін қолданған кезде тістердің арасындағы ойық арнайы пішінделген кескіш құралмен - жонғышпен, тартажонғышпен, ажарлағыш шарықпен (1-сурет, *a, б*) ойылып алынады. Көшірмелеу әдісінің негізгі кемшілігі – пішінді құралды пайдалану

(қисық сызықты кескіш жиек). Оны пайдалану кезінде қателіктер жонылған дөңгелекке ауыстырылады. Тістерді көшірмелеу әдісімен жону өнімділігі төмен (жонғыштармен, кескіштермен). Тісті доңғалақтарды домалату әдісімен жасау жиі кездеседі. Ол үшін арнайы кескіш құралы - рейка, қашауыш (1-сурет, в, г); тістері бар бұрамдық жонғыш - өндіруші (аспаптық) рейка. Оның параметрлері мен дайындамаға қатысты орналасуы тісті доңғалақтың геометриясын анықтайды. Арнайы білдектердегі құрал мен жонылған доңғалақ нақты іліністегідей салыстырмалы қозғалысты беріледі. Бұл дайындау әдісінің басты артықшылығы – жоғары дәлдік. Қажетті беріліс сапасын қамтамасыз ету үшін дәлдік көрсеткіштері жасалды. Сонымен, МЕСТ 1643-81  $m=1...50$ мм модульдері бар цилиндрлі тісті доңғалақтарға беріліс дәлдігінің 12 дәрежесін қамтамасыз ететін, шақтаманы анықтайды (дәлдіктің ең төменгі дәрежесі - он екінші). Қажетті дәлдік доңғалақтардың жылдамдығы мен жұмыс жүктемесінің деңгейімен анықталады. Жоғары жылдамдықты берілістер (доңғалақтың айналмалы жылдамдығы м/с) жоғары дәлдікпен жасалады (дәлдік дәрежесі 6; 5).

#### **Нәтижелер және талқылау**

Зерттеу нәтижелері [7; 8; 9; 10] тісті доңғалақтардың тозу себептері мен мерзімінен бұрын істен шығуы тісті берілістердің жұмыс қабілеттілігіне айналу сәті мен тісті доңғалақтардың айналу сипатын анықтайтын сыртқы факторлар да, механизмнің техникалық жағдайына байланысты ішкі факторлар да әсер ететіндігін көрсетті. Сыртқы және ішкі факторлардың өзара әрекеттесуі тісті берілістерге әртүрлі ықтимал зақым келтіреді. Тісті берілістің беріліс қатынасын пайдалану процесіндегі тұрақтылыққа қарамастан, аталған факторлар өзгеріп, тозу мен зақымданудың басым болуына алып келеді.

2-суретте цилиндрлі тісті доңғалақтардың тіс беттерінің зақымдану және тозу түрлері көрсетілген [7; 8; 9; 10]. Қолданылатын күш жүктемесінің мәні жұмыс бетіндегі зақымданудың келесі сипатын анықтайды: номиналды жүктеме тістің пішінінің өзгеруіне әкелмейді және тіс берілісінің жұмыс бетінде айтарлықтай деформация іздерін қалдырмайды (2- суретті қараңыз, а, б).



*а* – тістердің жұмыс бетінің зақымдануы; *б* -тістердің бүйірлік бетінің зақымдануы; *в, г, д* – тістердің жұмыс бетін бояу; *е, ж* - тістердің жұмыс бетіндегі пластикалық ығысулар; *з* - тістердің омырылуы; *и, к, л, м* – тістің жұмыс бетіндегі түйісу дағы; *н, о* - тістер бетіндегі коррозия; *п, р* – қажақты тозу; *с* - тотығу тозуы; *т* - шекаралық үйкелістің белгісі; *у* -тістердің ұшындағы металдың жергілікті тілігі; *ф, х* – жарықшақтар; *ц, ч* - тістердің жергілікті бұзылуы

#### С – Цилиндрлі тісті доңғалақтар тістерінің жұмыс беттерінің зақымдану және тозу түрлері

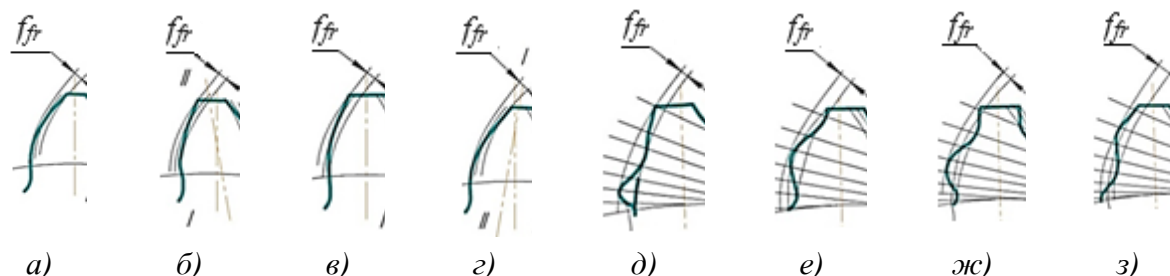
Ауыспалы немесе айналытаңба күштері, түйіспе алаңдарында материалдың төзімділік шегінен асатын кернеулердің пайда болуына әкеледі, жұмыс бетінде материалдың тозуынан туындаған шешек ойықтарын қалдырады (2- суретті қараңыз, *в, г, д*). Материалдың төзімділік шегінен асып кетуі жұмыс бетінің шешек тәрізді боялуына әкеледі: бастапқы кезең (2-суретті қараңыз, *в*), одан әрі даму (2-суретті қараңыз, *г*), шекті күй (2-суретті қараңыз, *д*). Пластикалық ығысулар (2-суретті қараңыз, *е, ж*) тісті берілістің жұмыс бетінде аққыштық шегі бар түйіспелердің кернеулері асып кеткен кезде пайда болады, металдың беткі қабаты дөңес құрай отырып бөлу диаметрінен тістің ұшына ауысады.

Қолданылатын күш жүктемесінің сипаты айналу жиілігінің тұрақтылығымен немесе тұрақсыздығымен, айналу бағытының өзгеруімен, динамикалық құраушының мәнімен байланысты екені белгілі. Динамикалық соққылар көбінесе тістердің омырылуына алып келеді (2-суретті қараңыз, *з*). Реверсивті емес берілістерде тістің кері (жұмыс істемейтін) бетін міндетті түрде тексеру керек. Онда дайындау немесе монтаждау қателері пайда болуы мүмкін. Мысалы, тістің артқы бетіндегі кішкене бүйірлік саңылауға байланысты жанасу белгілері пайда болуы мүмкін (2-суретті қараңыз, *и, к, л, м*). Абразивті бөлшектердің немесе коррозияны тудыратын заттардың болуы қажақты тозуына, тіс бетінің коррозиясына әкеледі, газ немесе сұйықтық эрозиясының пайда болуына ықпал етеді. Коррозияның негізгі себебі – майлау материалында судың болуы - тістердің бетіндегі тоттың біркелкі (2-суретті қараңыз, *н*) немесе біркелкі емес қабаты (2-суретті қараңыз, *о*) түрінде көрінеді.

Қажакты тозудың бастапқы көрінісі - абразивті материалдың қозғалыс бағытында жұмыс бетінде сызаттардың немесе қауіптің пайда болуы (2-суретті қараңыз,  $n, p$ ). Бұл жағдайда тістегерішті май сорғысының жұмыс дөңгелегінің беті майлау материалындағы тозу өнімдерімен зақымдалған. Қажакты тозудың дамуына абразивті бөлшектердің аккумуляторы болып табылатын илемді немесе ластанған майлауды қолдану ықпал етеді. Болашақта тозған берілістерде ілінісу саңылаулары артады, шу, діріл және динамикалық шамадан тыс жүктемелер күшейеді; тістің пішіні бұрмаланады; көлденең қиманың мөлшері мен тістің беріктігі төмендейді. Жанасатын беттердің өзара әрекеттесу сипаты жанасатын беттердегі үйкеліс түрімен анықталады. Егер минимум үйкеліс коэффициентін қамтамасыз ететін сұйық үйкеліс басым болса және жанасатын беттердің май қабатымен толық бөлінуі орын алса, онда жағдай жақсы деп бағаланады. Бұл жағдайда тотығудан тозу басым болады (2-суретті қараңыз,  $c$ ). Шекаралық үйкелістің пайда болуы тісті берілістердің жұмыс бетін жылтыратуда көрінетін екі бөліктің жанасуына әкеледі (2-суретті қараңыз,  $m$ ). Көбінесе шекаралық үйкеліс жаңа тісті доңғалақтарды өңдеудің бастапқы кезеңінде көрінеді. Жанасатын беттер арасында майлаушының болмауы температураның жоғарылауына, тотықтардың беткі қатты қабықтарының бұзылуына және жанасатын тістер арасында адгезиялық байланыстардың пайда болуына әкеледі. Түйіспе алаңдарындағы күштер тотықтардың қатты қабықшаларын жою үшін жеткілікті болуы керек. Ауыр жүктелген жоғары жылдамдықты тісті берілістер үшін тән көрініс – тістердің ұштарындағы металдың жергілікті тілімдері (2-сурет,  $y$ ), сондай-ақ, сынулар (2-сурет,  $\phi, x$ ) және тістердің қираулары (2 - сурет,  $z, c$ ).

Тісті доңғалақтар олардың геометриялық пішінінің күрделілігімен ғана емес, сонымен қатар өлшемдік параметрлердің өзара тәуелділігімен сипатталады, олар жоғары дәлдікпен орындалуы керек. Сондықтан оларды жасауда ең көп еңбекті қажет ететін және жауапты нақты операция - тістерді қалыптастыру процесі. Бұл бағытта Навоий мемлекеттік тау-кен-технологиялық университетінің машина жасау технологиясы кафедрасының ғалымдарымен бірлескен ғылыми зерттеулер жүргізілуде [3,4,5,8,10,11]. Тік тісті цилиндрлік доңғалақтардың тіс биіктігі бойынша эвольвентті профильдердің радиустарының ауытқуына технологиялық факторлардың әсерін зерттеу жүргізілді. Тіс биіктігі бойынша  $V_{pfr}$  эвольвентті радиустардың ауытқуы профиль қатесін профильдің белсенді қимасындағы экстремалды мәндердің  $V_{pfr}$  айырмашылығы ретінде анықтауға мүмкіндік береді. Тіс биіктігі бойынша эвольвентті радиустардың  $V_{pfr}$  ауытқуы профиль қатесін профильдің белсенді қимасындағы экстремалды мәндердің  $V_{pfr}$  айырмашылығы ретінде анықтауға мүмкіндік береді. Оны биіктіктегі  $V_{pfr}$  тіс профилінің дәлдігін бағалау критерийі ретінде қарастырайық. Беріліс стандарттарында беріліс профилінің дәлдігі профиль қателігінің ауытқуымен бағаланады  $f_{fr}$ .

3-ші суреттен профиль қателігінің ауытқуының бірдей тағайындауларымен тісті доңғалақ  $f_{fr}$  тісінің биіктігі бойынша эвольвентті радиустардың ұзындығының ауытқуының басқа сипаты болуы мүмкін екенін көруге болады.

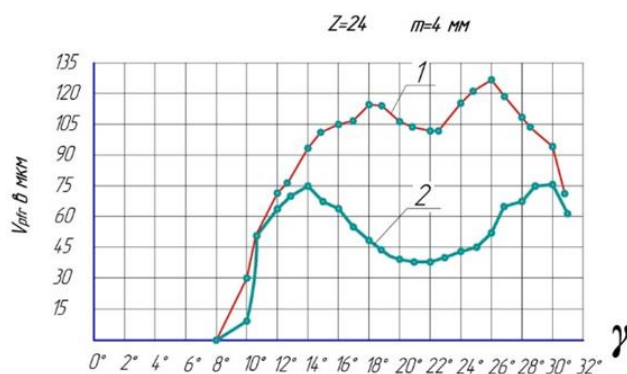


$f_{fr}$  - тіс профилінің қателік ауытқуы; *a, б, в, г* - тісті доңғалақ тісінің биіктігі бойынша ауытқулар өзгерістерінің сызықтық заңдылықтары бар эвольвентті ауытқуларды қалыптастыру; *д, е, ж, з* - доңғалақ тістерінің биіктігінің  $V_{pfr}$  өзгеруінің синусоидалы заңдылықтары бар эвольвентті ауытқуларды қалыптастыру:

*a, в, д, ж* – симметриялық; *б, г, е, з* – асимметриялық

Сурет 3 – Эвольвенттердің радиустарының ауытқуларының өсуінің сызықтық және синусоидалы өзгеру заңына сәйкес доңғалақ тістерінің профильдеріндегі ауытқулардың пайда болуы

Эксперименттік зерттеулер 1К62 бұрандалы кескіш білдегінде домалау құралымен (ұстара-ролик) тісті доңғалақтарды өңдеу  $V_{pfr}$  кезінде жүргізілді [11]. Ауытқулар  $\pm 1$  мкм дәлдікпен әмбебап жұдырықшалы  $V_{pfr}$  эвольвентті өлшегіштің көмегімен анықталды. 4-ші суретте  $m = 4$  мм дөңгелектердің тістері профильдерінің эвольвентті радиустарының ауытқуы  $z = 24$  тістер санымен, эвольвентті радиустардың  $V_{pfr}$  ауытқулары ордината осі бойымен және айналу бұрыштарымен сипатталатын график көрсетілген, тіс профилі абсцисса осі бойымен сызылады.



Сурет 4 – Доңғалақ тіс профилінің эвольвенттерінің радиустарының ауытқуын сипаттайтын график

1- симметриялық; 2 - асимметриялық

Графиктен тісті доңғалақтарды өңдеу кезінде және домалау құралымен (ұстара-шығыршық) өңдеу кезінде тіс биіктігінің сызықты емес өзгерісі болатыны көрсетілген. Сондай-ақ, эксперименттік зерттеулер арқылы бір атаулы тісті дөңгелектер профилдерінің өзгеру сипатының ұқсастығы, олардың мәндерінің тарқалу шамасы бойынша анықталды: доңғалақ тістерінің айналу бұрышы  $V_{pfr}$  бірдей нүктелердегі ауытқулар; экстремалды мәндері бар профильді нүктелерді орналастыру бұрышы  $V_{pfr}$ .

Зерттеулер көрсеткендей, экстремалды мәндері бар профиль нүктелерінің айналу бұрыштарының  $V_{pfr}$  дисперсиялық өрісі тісті доңғалақты өңдеу кезінде  $10 \div 20$  және домалату құралымен (ұстара-ролик) өңдеу кезінде  $20 \div 30$  диапазонында болады.

### Қорытынды

1. Тік тісті цилиндрлік доңғалақтарды дайындау технологиясын зерттеу нәтижелері тіс ойықтарын өңдеудің дәлдігі мен сапасын қамтамасыз ету мәселесінің бар екенін көрсетті. Бұл әсіресе үлкен модульді цилиндрлік берілістерді жасауда байқалады.

2. Тісті берілістердің тозуының және мерзімінен бұрын істен шығуының себептерін зерттеу нәтижелері берілістердің жұмысына беріліс моменттері мен берілістердің айналу сипатын анықтайтын сыртқы факторлар да, техникалық механизм жағдайға байланысты ішкі факторлар да әсер ететінін көрсетті.

3. Өңдеудің дәлдігі мен сапасын қамтамасыз ету, өзіндік құнын төмендету және тік тісті дөңгелектердің тістерінің тозуға төзімділігін арттыру мәселесінің бұл жағдайы үлкен модульді цилиндрлік тісті дөңгелектің дәлдігін, сенімділігін және ұзақ мерзімділігін арттыруға мүмкіндік беретін ресурсты үнемдейтін өңдеу әдістерін әзірлеу қажеттілігін талап етеді.

4. Тісті берілістердің дәлдігін эвольвентті радиустардың  $V_{pfr}$  ауытқулары арқылы анықтауға болатыны анықталды. Дегенмен, берілістердің қателіктерін қарастыруға және олардың дәлдігін анықтауға мұндай көзқарас МЕСТ-те көзделген дәлдік стандарттарына сәйкес берілістердің дәлдігін анықтаудың қолданыстағы әдістемесін ешбір жағдайда жоққа шығармайды.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Пегашкин, В. Ф.** Обработка зубчатых колес: учебн. пособие / М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.

2 **Калашников, С. Н., Калашников, А.С.** Изготовление зубчатых колес. – М. : Высшая школа, 1980. – 303 с.

3 **Шеров, К.Т., Бузауова, Т.М., Таттимбек, Г., Альжанова, А.Г.** Проблемы обеспечения качества изготовления зубчатых колес / Наука и техника Казахстана. – Павлодар : Изд-во «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2019. – № 1. – С. 33–43.

4 **Шеров, К. Т., Мардонов Б. Т., Қуанов, И. С., Шеров, А. К., Изотова, А .С., Альжанова, А. Г.** Исследование микротвердости зубьев цилиндрических зубчатых колес после финишной обработки / Механика и технологии. – Тараз: Изд-во «Тараз университеті» ТарГУ им. М.Х. Дулати, 2019. – № 3 (65). – С. 6–12.

5 **Sherov, K., Mardonov, M., Kurmangaliyev, T., Elemes, D.E., Tusupova, S. O., Izotova, A. S., Smakova, N. S., Gabdysalik, R., Buzauova, T. M.** The research of micro-hardness of side surfaces of teeth cylindrical wheels processed by «shaver-rolling device» / Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, Vol. 50 No.1. – 2020. – P. 50–56. doi: <https://doi.org/10.7546/JTAM.50.20.01.05>

6 **Гулида, Э. Н.** Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес. – Львов : Высшая школа, 1983. – 136 с.

7 Классификация повреждений зубчатых передач. – [Электронный ресурс]. – <https://eam.su/klassifikaciya-povrezhdenij-zubchatykh-peredach.html>

8 **Шеров, К. Т., Мардонов, Б. Т., Бузауова, Т. М., Таттимбек, Г.** Вопросы обеспечения точности обработки цилиндрических зубчатых колес // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» Ч.3. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2019. – С. 234–236.

9 **Исаева, И. Н.** Исследование технологических методов повышения качества изготовления тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровых мельниц. Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071200 – Машиностроение. – Алматы : КазНТУ, 2020, 185 с.

10 **Шеров, К. Т., Мардонов, Б. Т., Таттимбек, Г. З., Ержанова, А. Б.** Вопросы обеспечение точности обработки крупномодульных цилиндрических зубчатых колес // Proceedings of the international conference on integrated innovative development of Zarafshan region : Achievements, challenges and prospects. V.2 – 2022. Navoi, Publishing house «HUMO PRINT 2020» – С. 10–19.

11 **Мардонов, Б. Т.** Повышение точности обработки прямозубых цилиндрических зубчатых колес обкатным инструментом. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.05-Технологии и процессы механической и физико-технической обработки. Станки и инструменты – Ташкент : ТашГТУ, 2018 – 215с.



## REFERENCES

1 **Pegashkin, V.F.** Obrabotka zubchatykh koles: uchebn. posobiye [Machining of gears: textbook. allowance] / M-vo obrazovaniya i nauki RF: FGAOU VO «UrFU im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. Yel'tsina», Nizhnetagil. tekhnol. in-t (fil.). – Nizhniy Tagil: NTI UrFU, 2016. – 132 p.

2 **Kalashnikov, S. N., Kalashnikov, A. C.** Izgotovleniye zubchatykh koles [Manufacturing of gears]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1980. – 303 p.

3 **Sherov, K. T., Buzauova, T. M., Tattimbek, G., Al'zhanova, A. G.** Problemy obespecheniya kachestva izgotovleniya zubchatykh koles [Problems of ensuring the quality of manufacturing gears] / Nauka i tekhnika Kazakhstana. – Pavlodar: Izd-vo «KEREKU» PGU im. S. Toraygyrova, 2019. – №1. – P. 33–43.

4 **Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Kuanov, I. S., Sherov, A. K., Izotova A. S., Al'zhanova, A. G.** Issledovaniye mikrotverdosti zub'yev tsilindricheskikh zubchatykh koles posle finishnoy obrabotki [Study of microhardness of teeth of cylindrical gears after finishing] / Mekhanika i tekhnologii. – Taraz: Izd-vo «Taraz universiteti» TarGU im. M.KH. Dulati, 2019. – № 3(65) – P. 6–12.

5 **Sherov, K., Mardonov, M., Kurmangaliyev, T., Elemen, D. E., Tusupova S. O., Izotova A. S., Smakova N. S., Gabdysalik R., Buzauova T. M.** The research of microhardness of side surfaces of teeth cylindrical wheels processed by «shaver-rolling device» / Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, 2020. – Vol. 50. – No.1 – P. 50–56. doi: <https://doi.org/10.7546/JTAM.50.20.01.05>

6 **Gulida, E. N.** Upravleniye nadezhnost'yu tsilindricheskikh zubchatykh koles [Reliability management of spur gears]. – L'vov: Vysshaya shkola, 1983. – 136 p.

7 Elektronnyy resurs. Klassifikatsiya povrezhdeniy zubchatykh peredach [Classification of gear damage]. – [Electronic resource]. – <https://eam.su/klassifikaciya-povrezhdenij-zubchatyx-peredach.html>

8 **Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Buzauova, T. M., Tattimbek, G.** Voprosy obespecheniya tochnosti obrabotki tsilindricheskikh zubchatykh koles [Issues of ensuring the accuracy of processing of cylindrical gears] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» CH.3. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2019. – P. 234–236.

9 **Isayeva, I. N.** Issledovaniye tekhnologicheskikh metodov povysheniya kachestva izgotovleniya tyazhelonagruzhennykh zubchatykh peredach privoda sharovykh mel'nits [Research of technological methods for improving the quality of manufacturing of heavily loaded gear drives of ball mills]. Dissertatsiya na soiskaniye stepeni doktora filosofii (PhD) po spetsial'nosti 6D071200 – Mashinostroyeniye. – Almaty : KazNTU, 2020, 185 p.

10 **Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Tattimbek, G. 3., Yerzhanova, A. B.** Voprosy obespecheniya tochnosti obrabotki krupnomodul'nykh tsilindricheskikh zubchatykh koles [Issues of ensuring the accuracy of processing of large-module cylindrical gears] //

Proceedings of the international conference on integrated innovative development of Zarafshan region : Achievements, challenges and prospects. V.2- 2022. Navoi, Publishing house «HUMO PRINT 2020». – P. 10–19.

11 **Mardonov, B. T.** Povysheniye tochnosti obrabotki pryamozubykh tsilindricheskikh zubchatykh koles obkatnym instrumentom [Improving the accuracy of machining spur spur gears with rolling tools]. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk po spetsial'nosti 05.02.05-Tekhnologii i protsessy mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki. Stanki i instrumenty – Tashkent : TashGTU, 2018 – 215 p.

25.01.2024 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Г. Таттимбек<sup>1</sup>, \*К. Т. Шеров<sup>1</sup>, Б. Т. Мардонов<sup>2</sup>,**

**Г. Б. Абдикаримова<sup>3</sup>, С.И. Мендалиева<sup>1</sup>**

<sup>1,2,5</sup>Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғарғы Білім және Ғылым Министрлігінің Қазақстан Республикасының Агротехникалық Исследовательский Университетінің Имені С. Сейфуллина, Республика Қазақстан, г. Астана

<sup>2</sup>Навоийский государственный горно-технологический университет, Республика Узбекистан, г. Навои

<sup>3</sup>Қарағандық медициналық университет, Республика Қазақстан, г. Қарағанда,

Поступило в редакцию 25.01.2024

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 27.02.2024

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИЧИНЫ ИЗНОСА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

*В данной статье приводятся результаты исследования существующих технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес, в частности крупномодульных прямозубых цилиндрических колес. Исследования проведены в условиях машиностроительных предприятий РК и выполнено обзор технической литературы и анализ научных трудов ученых. Результаты исследования технологии изготовления прямозубых цилиндрических зубчатых колес показали, что существует проблема обеспечения точности и качества обработки впадин зубьев. Особенно это ощутимо при изготовлении крупномодульных цилиндрических зубчатых колес. Также выявлено, что высокая трудоемкость технологического процесса механической обработки приводит к повышению себестоимости изготовления прямозубых цилиндрических зубчатых колес. Было исследовано виды повреждений и износа рабочих поверхностей зубьев*

*цилиндрических зубчатых колес. Установлено, что на работоспособность зубчатых передач влияют как внешние факторы, определяющие передаваемые крутящие моменты и характер вращения зубчатых колес, так и внутренние, зависящие от технического состояния механизма. Данное состояние проблемы диктует необходимость разработки ресурсосберегающих способов обработки позволяющие повышение точности, надежности и долговечности крупномодульных цилиндрических зубчатых колес. Выполнены исследование влияния технологических факторов на отклонения радиусов эвольвент профилей по высоте зуба прямозубых цилиндрических зубчатых колес.*

*Ключевые слова: Крупномодульное зубчатое колесо, прямозубые цилиндрическое колесо, точность, качество, износ зубьев, излом, абразивный износ.*

**G. Tattimbek<sup>1</sup>, \*К. Т. Sherov<sup>1</sup>, В. Т. Mardonov<sup>2</sup>,**

**G. B. Abdikarimova<sup>3</sup>, S. I. Mendaliev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana,

<sup>2</sup>Navoi State Mining and Technological University, Republic of Uzbekistan, Navoi

<sup>3</sup>Karaganda Medical University, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 25.01.2024

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 27.02.2024

## **RESEARCH OF MANUFACTURING TECHNOLOGY AND CAUSES OF WEAR OF CYLINDRICAL GEARS**

*This article presents the results of a study of existing technologies for the manufacture of cylindrical gears, in particular large-module spur gears. The research was carried out in the conditions of mechanical engineering enterprises of the Republic of Kazakhstan and a review of technical literature and an analysis of scientific works of scientists were carried out. The results of a study of the manufacturing technology of spur gears showed that there is a problem of ensuring the accuracy and quality of processing of tooth cavities. This is especially noticeable in the manufacture of large-module cylindrical gears. It was also revealed that the high complexity of the technological process of machining leads to an increase in the cost of manufacturing spur gears. The types of damage and wear of the working surfaces of the teeth of cylindrical gears were investigated. It has been established that the performance of gears is influenced by both external factors that determine the transmitted torques and the nature of rotation of the gears, as well as internal ones, which depend on the technical*

*condition of the mechanism. This state of the problem dictates the need to develop resource-saving processing methods to improve the accuracy, reliability and durability of large-module cylindrical gears. A study was carried out of the influence of technological factors on the deviations of the radii of involute profiles along the tooth height of spur gears.*

*Keywords: Coarse gear, spur gear, accuracy, quality, tooth wear, fracture, abrasive wear.*

**И. А. Шумейко, \*С. М. Нуркимбаев, Г. Т. Итыбаева**

Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [nurkimbayev.sagynysh@gmail.com](mailto:nurkimbayev.sagynysh@gmail.com)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО КОЛЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА БУРЕВОЙ ЗАЩИТЫ**

*Ветроэнергетические установки нуждаются в механизме защиты от ураганных порывов ветра. Для написания статьи изучены различные механизмы: центробежные регуляторы, виндрозный механизм, поворот лопасти при помощи стабилизатора, хвостового стабилизатора и другие.*

*В данной статье рассмотрен процесс действия механизма буревой защиты, предназначенного для снижения частоты вращения ветрового колеса при повышенных скоростях ветра, путём поворота лопастей от номинального угла установки лопастей и вплоть до флюгерного положения ( $90^0$ ).*

*На основании опыта эксплуатации и ранее проведенных предварительных исследований зависимости частоты вращения ветрового колеса от угла установки лопастей относительно плоскости ветрового колеса, установлено, что чем больше угол установки лопастей, тем меньше частота вращения ветрового колеса.*

*В данной статье рассмотрено влияние факторов уменьшения суммарной площади лопастей, воспринимающей прямой поток воздуха, и увеличение сопротивления вращению ветрового колеса вследствие увеличивающейся площади лопастей.*

*Доказано, что падение частоты вращения ветрового колеса происходит за счет уменьшения ометаемой ветровым колесом площади и почти не зависит от тормозящего эффекта воздуха с увеличением площади лопастей при их повороте на угол от  $15^0$  до  $90^0$ .*

*Ключевые слова: крутящий момент, частота вращения, механизм ветрового колеса, механизм буревой защиты, ветровое колесо, лопасть, буревая защита.*

### **Введение**

Казахстан имеет значительные ресурсы возобновляемой энергии, которые с успехом могли бы быть использованы для энергоснабжения подходящих регионов. С географических и метеорологических точек зрения Республика Казахстан является одной из наиболее подходящих стран в мире для развития ветроэнергетики. Однако,

наличие избыточной генерирующей мощности и централизация выработки электроэнергии на крупных угольных электростанциях, а также низкие тарифы на электроэнергию, сдерживают использование возобновляемых источников энергии.

Энергия ветра может быть преобразована в различные формы механического движения (вращение, поступательное или колебательное движение).

Малые ветроэнергетические установки (ВЭУ) представляют собой привлекательную альтернативу автономной электрификации и перекачиванию воды как в качестве автономных установок, так и в сочетании с другими энергетическими технологиями, такими как фотоэлектрические, малые гидро- или дизельные двигатели [1].

Согласно Закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» от 1 июля 2021 года, объектом по использованию возобновляемых источников энергии – признаются технические устройства, предназначенные для производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии, и взаимосвязанные с ними сооружения, и инфраструктура, технологически необходимые для эксплуатации объекта по использованию возобновляемых источников энергии [2].

Большой интерес к маломощным проектам ВИЭ и у удаленных сельскохозяйственных объектов. Министерство сельского хозяйства РК в рамках мероприятий по созданию инфраструктуры обводнения пастбищ и обеспечению водой животноводческих хозяйств (колодцы, скважины) субсидирует до 80% вложений на создание инфраструктуры пастбищ, в том числе стимулирование использования ВИЭ, а именно покупку солнечных станций от 2 кВт и ветряных насосов. Согласно данным портала [qoldau.kz](http://qoldau.kz) [3], предоставляющему информацию о субсидиях со стороны Министерства сельского хозяйства РК в 2020 году подано 13 288 заявок, а оплачено 9700 заявок на сумму 23,2 млрд тенге. По наблюдениям экспертов, установки ВИЭ внедрены на почти 10 000 пастбищах страны.

Необходимо отметить и интерес со стороны бизнеса к малым установкам ВИЭ с целью экономии на операционных затратах. Прежде всего, это неэнергоёмкие отрасли: сельское хозяйство, пищевая промышленность, легкая промышленность, сфера услуг, туризм и т.д.

Непостоянство энергии ветра чрезвычайно усложняет технику использования этой энергии. Если скорость ветра изменяется в течение минуты в 2 – 3 раза, то энергия при этом изменяется в 8 – 27 раз. По записям анемографов известны случаи, когда скорость ветра изменялась в течение одной минуты больше чем в 4 раза, следовательно, энергия ветра изменялась больше чем в 64 раза. Вместе с тем некоторые рабочие механизмы, подключаемые к ветродвигателю (электрогенератор, насос и т.д.), требуют определённой мощности и числа оборотов, которые должны оставаться постоянными во всё время работы этих машин. Для выполнения этого требования ветродвигатель должен

регулироваться, т. е. иметь при заданной мощности постоянные число оборотов, независимо от скорости ветра [4].

Регулирование ВЭУ заключается в изменении положения ветроколеса или его лопастей в воздушном потоке с целью получения постоянной мощности и частоты вращения.

Системы регулирования мощности ветродвигателей подразделяются на 3 класса: поворот лопасти или ее части, изменение угла атаки, вывод ветроколеса. Данные классы рассмотрены в работе [5; 6]. Наиболее близким решением к предлагаемому является техническое решение [7]. Таким образом автоматически меняется угол заклинения в зависимости от скорости ветра. С увеличением скорости ветра угол заклинения уменьшается, с уменьшением скорости ветра угол заклинения увеличивается. При этом скорость вращения ветродвигателя остается практически постоянной.

#### Материалы и методы

Из проведенных ранее исследований [7] видно, что при скорости ветра равной 8 м/с, расчетная сила на тяге, обеспечивающей поворот лопастей через систему рычагов, равная  $F_T = 6$  Н, превышает действительную  $F_{ТД} = 4$  Н, что соответствует началу поворота лопастей на угол до  $21^\circ$ , начиная с номинального угла (рисунок 1).

Далее значение угла поворота лопастей растет, частота вращения ВК при этом падает. Резкое падение частоты вращения ВК будет иметь место при скорости ветра 18-20 м/с, при которой  $F_T$  расчетное значительно превышает действительное  $F_{ТД}$ , а угол поворота лопастей достигает предельных значений  $72^\circ-90^\circ$ . При скорости ветра 21-22 м/с угол поворота достигает значения  $\alpha = 90^\circ$ , т.е. лопасти устанавливаются во флюгерное положение и ВК останавливается.

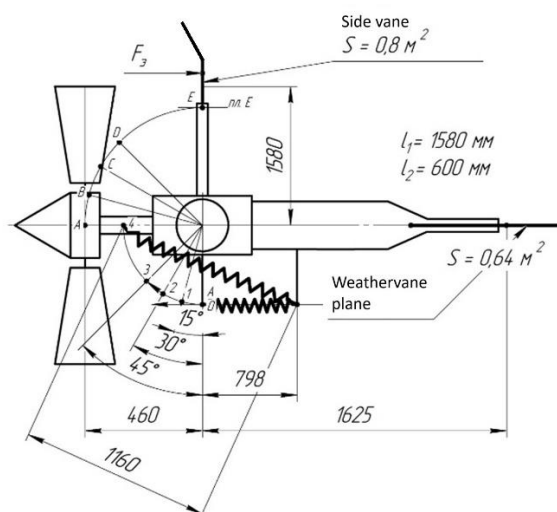


Рисунок 1 – Схема расчета поворота лопастей

Как показали ранее выполненные расчёты выбранная площадь экрана  $S_3 = 0,35$  м<sup>2</sup> обеспечивает правильное управление частотой вращения ВК [7].

На основании опыта эксплуатации и ранее проведенных предварительных исследований [8; 9] зависимости частоты вращения ВК от угла установки лопастей относительно плоскости ВК, установлено, что чем больше угол установки лопастей, тем меньше частота вращения ВК. Эта закономерность может определяться двумя признаками:

- во-первых, при увеличении угла установки уменьшается суммарная площадь лопастей, воспринимающая прямой поток воздуха;
- во-вторых, увеличивается сопротивление вращению ВК вследствие увеличивающейся площади лопастей, воспринимающих это сопротивление.

Влияние указанных факторов в первом приближении может быть оценено расчётным путем. Первоначально выполним расчет снижения частоты вращения от влияния изменяющейся площади лопастей при их повороте при помощи описанного выше механизма буревой защиты.

#### Результаты и обсуждения

Проанализировав конструкции ветровых колес малых ВЭУ, в качестве исходного (номинального) угла установки лопастей принят угол  $\alpha$ , равный  $15^0$  [10]. Расчет будем вести применительно к опытному образцу с диаметром ВК, равным 1,3 м и с обтекателем диаметром 0,320 м.

С целью возможности расчета частоты вращения ВК в зависимости от угла поворота лопастей, расчет частоты будем вести исходя из площади, ометаемой ветровым колесом. Последняя определяется как произведение первоначальной площади лопасти ( $F_l = 0,093 \text{ м}^2$ ) на ее число ( $i = 8$ ) и на косинус угла установки  $\alpha$ . (рисунок 2).

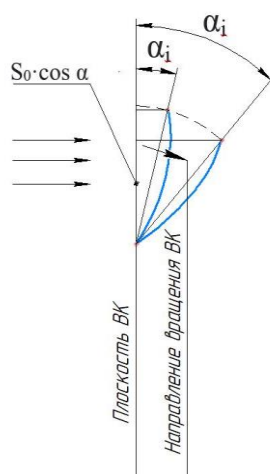


Рисунок 2 – Схема к определению частоты вращения ВК с увеличением угла  $\alpha$

С увеличением угла  $\alpha$  ометаемая ВК площадь уменьшается, частота вращения ( $n$ ) ВК снижается. Считаем, что первоначальный угол установки лопастей  $\alpha=15^0$  остается неизменным при росте скорости ветра до  $v = 8 \text{ м/с}$ .



Площадь лопасти с учетом первоначального номинального угла установки равном  $\alpha = 15^0$  составляет:

$$S_{л} = S \cdot \cos 15^0 = 0,093 \cdot \cos 15^0 = 0,09 \text{ м}^2,$$

Общая площадь лопастей ВК составила

$$S_0 = 0,09 \cdot 8 = 0,72 \text{ м}^2.$$

Если на  $1 \text{ м}^2$  секундная мощность при скорости ветра  $8 \text{ м/с}$  составляет  $310 \text{ Вт}$  (таблица 1) [10], то мощность, оказывающая воздействие на площадь  $0,695 \text{ м}^2$  окажется равной

Таблица 1 - Секундная мощность, заключенная в воздушном потоке, имеющем сечение  $1 \text{ м}^2$  при различной скорости ветра

Номер п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость	4	6	8	9	1	1	1	1	2
ветра					0	2	4	8	2
$\vartheta$ , м/с									
Мощность	0	0	0	0	0	1	1	3	6
потока	,04	,13	,31	,46	,61	,14	,67	,6	,85
N, кВт/м <sup>2</sup>									

$$N = 0,695 \cdot 310 = 215 \text{ Вт}$$

Полученному значению мощности, согласно соотношению

$310 \text{ Вт} - 8 \text{ м/с}$

$215 \text{ Вт} - \vartheta_3$ ,

будет соответствовать скорость ветра

$$\vartheta_3 = \frac{215 \cdot 8}{310} = 5,55 \text{ м/с},$$

тогда частота вращения ВК согласно формуле (5) [7] составит

$$n_3 = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 5,55}{\pi \cdot 1,3} = 57 \text{ об/мин}$$

Примечание: здесь и в последующем при расчёте действительной частоты вращения не учитывалось влияние обтекателя как составляющей, увеличивающей частоту вращения ВК на 8-12% [9]. Такое допущение возможно, т. к. запас по частоте вращения  $n_{\text{доп}} = 100$  об/мин значителен и будет сохраняться, как покажут последующие расчеты для всех углов поворота лопастей.

При расчете частоты вращения начиная со скорости ветра  $\vartheta = 8$  м/с начинается поворот лопастей, т.е. угол установки лопастей принимает значение  $\alpha = 21^{\circ}$ . Площадь лопастей принимает значение

$$S_3 = 0,744 \text{ м}^2 \cdot \cos 21^{\circ} = 0,744 \cdot 0,9336 = 0,695 \text{ м}^2 \text{ и т. д.}$$

Полученные результаты расчетов заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет момента ВК при повороте лопастей в зависимости от угла поворота лопастей при различной скорости ветра

№ п.п.	$\vartheta$ , м/с	$\alpha$ , град	Площадь ВК м <sup>2</sup> (уменьшается)	$N_i$ , Вт	$\vartheta_i$ , м/с	$n_i$ , об/мин
1	4	15 <sup>0</sup>	0,719	29	2,9	30
2	6	15 <sup>0</sup>	0,719	94	4,34	45
3	8	21 <sup>0</sup>	0,695	215	5,55	57
4	9	25 <sup>0</sup>	0,674	310	6,07	63
5	10	28 <sup>0</sup>	0,675	401	6,57	68
6	12	38 <sup>0</sup>	0,586	668	7,03	72
7	14	46 <sup>0</sup>	0,517	868	7,27	75
8	18	75 <sup>0</sup>	0,193	695	3,48	36
9	22	85-90 <sup>0</sup>	0,065	445	1,43	15-0

Полученный ряд частот вращения ВК при повороте лопастей вплоть до  $\alpha = 90^{\circ}$  : 45, 57, 63, 68, 72, 75, 36, 0, где все значения ниже предельно допустимого

$$n_{max} = 100 \text{ об/мин,}$$

определяющего номинальную частоту вращения якоря генератора  $n_{ГН} = 600$  об/мин.

Однако, как было указано ранее, частота вращения снижается не только за счет уменьшения площади лопастей при их повороте, но также за счет увеличения сопротивления вращению воздуха: чем больше угол поворота лопастей вплоть до  $\alpha = 90^\circ$ , тем больше сопротивление вращению ВК (рисунок 3). Выполним расчет снижения частоты вращения ВК с увеличением площади сопротивления при последовательном увеличении угла  $\alpha$ .

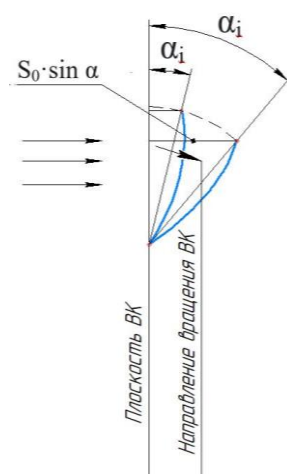


Рисунок 3 – Схема к определению силы сопротивления вращению ВК и влияния ее на частоту вращения

Для расчета влияния сопротивления воздуха на частоту вращения ВК воспользуемся рекомендациями «Работа силы сопротивления воздуха. Формула. Силы сопротивления движению. Сила сопротивлению воздуха» [11] по формуле

$$P = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot F \cdot v \cdot n, \quad (1)$$

где  $C_x$  – коэффициент, характеризующий форму тела и его аэродинамическое качество (коэффициент аэродинамического сопротивления). Для обтекаемых тел принимается  $C_x = 0,3$ , для тел с большим сопротивлением движению в воздушном пространстве принимается близким к единице.

В нашем случае лопасть выпуклой слегка дугообразной формой двигается вперед. Поэтому  $C_x$  можно принять равным  $C_x = 0,85$ . Однако  $C_x$  меняется, т.к. при малых

углах поворота сопротивление движению мало, при увеличении угла увеличивается  $C_x$  и достигает максимума при  $\alpha = 85-90^0$ .

Окончательно примем значение  $C_x$  равным  $\alpha = 15^0 - 0,3$ ;  $\alpha = 21^0 - 0,35$ ;  $\alpha = 25^0 - 0,38$ ;  $\alpha = 28^0 - 0,4$ ;  $\alpha = 38^0 - 0,45$ ;  $\alpha = 46^0 - 0,5$ ;  $\alpha = 75^0 - 0,7$ ;  $\alpha = 85^0-90^0 - 0,85$ ;

$\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – плотность воздуха;

$F$  – лобовая площадь лопастей, которая меняется в зависимости от угла поворота, в  $\text{м}^2$ , первоначальная площадь лопасти  $0,093 \text{ м}^2$ , площадь восьми лопастей  $F = 0,744 \text{ м}^2$  (без учета номинального  $\alpha = 15^0$ );

$\vartheta$  – скорость движения в м/с. В нашем случае это окружная скорость на радиусе соответствующем центру площади трапеции лопасти, принимаем  $R = 0,49 \text{ м}$ .

$n$  – показатель степени (для реальных скоростей принимается  $n = 2$ ).

Определим значение силы  $P$  и ее действие на изменение частоты вращения для всех значений углов поворота лопастей.

Будем считать, что скорость ветра на силу  $P$  не влияет, т.к. вектор скорости направлен перпендикулярно силе  $P$ . Влияние скорости ветра на частоту вращения уже рассчитано и известна частота вращения ВК для каждого значения угла поворота без учета силы  $P$ . С увеличением угла  $\alpha$  значение силы  $P$  возрастает в связи с увеличением площади лопасти в плоскости, перпендикулярной плоскости колеса.

Для возможности определения силы  $P$  для всех значений скорости ветра прежде всего определим изменяющуюся в сторону увеличения суммарную площадь лопастей ( $F_{\text{л}}$ ), момент ( $M$ ), развиваемый ВК для всех уже известных частот вращения ( $n_1$ ) и окружную скорость на радиусе  $R = 0,49 \text{ м}$  также для всех частот вращения ВК.

При значении  $\alpha = 15^0$  площадь лопасти  $F_{\text{л}} = 0,093 \cdot \sin 15^0 = 0,093 \cdot 0,2588 = 0,024 \text{ м}^2$ .

Суммарная площадь восьми лопастей

$$F_{\text{л}} = 0,024 \cdot 8 = 0,193 \text{ м}^2,$$

Полученные значения площадей, а также исходные значения скоростей ветра, углов поворота лопастей и соответствующие им частоты вращения занесены в таблицу 2.

Текущие значения моментов, развиваемых ВК, могут быть определены по формуле

$$M_i = \frac{30 \cdot N_i}{\pi \cdot n_i}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – текущие значения мощности, развиваемых ВК, [7];

$n_i$  – расчетные значения частот вращения

$$M_1 = \frac{30 \cdot 29}{\pi \cdot 30} = 9,2 \text{ Нм},$$

Аналогично получены значения  $M$  для различных частот вращения ВК. Полученные значения  $M$  занесены в таблицу 3.

Окружная скорость  $v_0$  на радиусе  $R=0,49$  м может быть рассчитана по формуле.

$$v_{0i} = 2\pi R \cdot \frac{n}{60} \quad (3)$$

$$v_{01} = 2\pi \cdot 0,49 \cdot \frac{30}{60} = 0,91 \text{ м/с},$$

Аналогичные расчеты проведены для других частот вращения ВК. Полученные значения  $v_0$  занесены в таблицу 2.

Расчет силы лобового сопротивления, создаваемой воздухом, начнем с третьей позиции, т.е. с угла  $\alpha = 21^0$ , при котором начинается поворот лопастей по формуле 3.

$$P_3 = 0,5 \cdot 0,35 \cdot 1,29 \cdot 0,267 \cdot 2,92 \cdot 2 = 0,35 \text{ Н и т. д.}$$

Значение силы  $P$  занесены в таблицу 3.

Значения текущего тормозного момента ( $M_T$ ) от действия силы  $P$  определены по формуле.

$$M_{Ti} = P \cdot R \quad (4)$$

$$M_{T3} = 0,35 \cdot 0,49 = 0,17 \text{ Нм и т. д.}$$

Полученные значения  $M_T$  занесены в таблицу 3.

Текущие значения мощности  $N_{Ti}$ , развиваемые тормозящим потоком воздуха, определены по формуле

$$N_{Ti} = N_{Mi} \cdot \frac{\pi n}{30} \quad (5)$$

$$N_{T3} = 0,17 \cdot \frac{\pi \cdot 57}{30} = 1 \text{ Вт и т. д.}$$

Полученные значения  $N$  занесены в таблицу 3.

Далее на основе текущих расчётных значений мощности, развиваемой тормозящим потоком воздуха, и соотношений согласно таблицы 1, определены текущие значения скорости тормозящего воздушного потока  $\vartheta_{Ti}$  по формуле 2.

$$\frac{N_{\text{табл}} - \vartheta}{N_{Ti} - \vartheta_{Ti}} = \frac{N_{Ti} \cdot \vartheta}{N_{\text{табл}}} \quad (6)$$

$$\vartheta_{Ti} = \frac{1 \cdot 8}{310} = 0,025 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ и т. д.}$$

Полученные значения  $\vartheta$  занесены в таблицу 3.

По полученным значениям скорости тормозящего воздушного потока выполнен расчет падения частоты вращения ВК  $n_{Ti}$  по формуле

$$n_{Ti} = \frac{60 \cdot x \cdot \vartheta_{Ti}}{\pi \cdot D} \quad (7)$$

$$n_{T3} = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 0,025}{\pi \cdot 1,3} = 0,26 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \text{ и т. д.}$$

Полученные значения  $n_{Ti}$  занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сводная таблица значений показывающих снижение частоты вращения при повороте лопастей ВК

№ п.п.	$\vartheta$ , м/с	$\alpha$ , град.	$F_{Л\Sigma}$ , м <sup>2</sup>	$n_i$ , об/мин	$M_i$ , Нм	$\vartheta_{\text{окр}}$ , м/с	$C_x$	$P$ , Н	$M_{Ti}$ , Нм	$N_{Ti}$ , Вт	$\vartheta_{Ti}$ , м/с	$n_{Ti}$ , об/мин
1	4	15 <sup>0</sup>	0,193	30	9,2	0,91	-	-	-	-	-	-
2	6	15 <sup>0</sup>	0,193	45	20	2,3	-	-	-	-	-	-
3	8	21 <sup>0</sup>	0,267	57	36	2,92	0,35	0,35	0,17	1	0,225	0,26
4	9	25 <sup>0</sup>	0,3144	63	47	3,23	0,38	0,5	0,25	1,7	0,033	0,34
5	10	28 <sup>0</sup>	0,3493	68	56	3,49	0,4	0,63	0,31	2,2	0,036	0,37
6	12	38 <sup>0</sup>	0,4581	72	88	3,69	0,45	0,98	0,48	3,6	0,039	0,4
7	14	46 <sup>0</sup>	0,5352	75	110	3,85	0,5	1,33	0,64	5	0,042	0,43
8	18	75 <sup>0</sup>	0,7186	36	184	1,85	0,7	1,2	0,6	2,3	0,012	0,12
9	22	85-90 <sup>0</sup>	0,741	15-0	283	0,77	0,85	0,63	0,31	0,5	0,002	0,02

**Выводы**

Наибольшее падение частоты вращения в результате действия тормозящего воздушного потока  $n_{T7} = 0,43$  об/мин имеет место для текущего значения скорости ветра  $\vartheta = 14$  м/с.

Частота вращения ВК при скорости  $\vartheta = 14$  м/с без поворота лопастей составила бы

$$n = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 14}{\pi \cdot 1,3} = 144 \text{ об/мин.}$$

В результате поворота лопастей частота вращения ВК снизилась до 75 об/мин, т.е. падение частоты вращения составило 69 об/мин.

$$69 \text{ об/мин} - 100\%$$

$$0,43 \text{ об/мин} - \Delta n\%$$

То есть процент падения частоты вращения от действия тормозящего эффекта воздушного потока по сравнению со снижением частоты вращения за счет поворота лопастей составил

$$\Delta n = \frac{0,43 \cdot 100}{69} = 0,6\%.$$

Таким образом падение частоты вращения ВК происходит за счет уменьшения ометаемой ветровым колесом площади и почти не зависит от тормозящего эффекта воздуха с увеличением площади лопастей при их повороте на угол от  $15^0$  до  $90^0$ .

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Probst O, Martínez J., Elizondo J., Monroy O. Статья Small Wind Turbine Technology. Журнал Wind Turbines. – April 2011. – P. 107–136.

2 Закон Республики Казахстан от 19 апреля 2023 года № 223-VII. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии».

3 Цифровая платформа для бизнеса и граждан. – [Электронный ресурс] <https://qoldau.kz/>

4 Шумейко, И. А., Коваль Ю. А. Инновационный патент Республики Казахстан № 26174. Ветродвижитель с буревой защитой, 2013.

5 Харитонов, В. П. Автономные ветроэлектрические установки. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2006 – 280 с.

6 Ветроагрегат АВЭУ6–4М. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации, 2004. – 48 с., ил.

7 **Нуркимбаев, С. М., Шумейко И. А.** Расчёт механизма автономного регулирования частоты вращения ветрового колеса и буревой защиты. // Вестник Торайгыров университета. Наука и техника Казахстана – 2023. – № 4. С. 90–102.

8 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М., Касенов, А. Ж.** Выбор оптимального варианта формы и относительной площади лопасти ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности. // Республиканский журнал Труды университета – 2023 – № 2. – С. 25–33.

9 **Нуркимбаев, С. М., Шумейко, И. А., Итыбаева, Г. Т.** Исследование и обоснование параметров ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности различного назначения. // Республиканский журнал Труды университета – 2023 – № 3. – С. 72–78.

10 **Muhammad, S., Wang, Y., Muhammad, B.** Сравнение маломасштабных систем преобразования энергии ветра: экономические показатели чистых технологий. – 2020 – № 2. – С. 144–155.

11 **Malliotakis, G., Nikolaidis, N., Baniotopoulos, C.** Малые ветряные турбины: критерии устойчивости, относящиеся к местной застроенной среде. Серия конференций IOP: Наука о земле и окружающей среде. – 2020 – № 4 – С. 1–13.

#### REFERENCES

1 **Probst O., Martinez J., Elizondo J., Monroe O.** Technology of small wind turbines. The magazine of wind turbines. – April 2011. – P. – 107–136.

2 Law of the Republic of Kazakhstan dated 19 April, 2023 No. 223-VII. «On supporting the use of renewable energy sources».

3 A digital platform for businesses and citizens. – [Electronic resource]. – <https://qoldau.kz/>

4 **Shumeiko, I. A., Koval Yu. A.** Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 26174. Wind turbine with storm protection, 2013.

5 **Kharitonov, V. P.** Autonomous wind power plants. – М. : GNU RESH, 2006 – 280 p.

6 AVEU6–4M wind turbine. Technical description. Operating instructions, 2004. – 48 p., ill.

7 **Nurkimbayev, S. M., Shumeyko, I. A.** Calculation of the mechanism of autonomous regulation of the wind wheel rotation frequency and storm protection. // Bulletin of the Toraihyrov University. Science and Technology of Kazakhstan – 2023. – No. 4.

8 **Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M., Kasenov, A. Zh.** Choosing the optimal variant of the shape and relative area of the blade of the wind wheel of a low-power wind power plant. Republican Journal Proceedings of the University – 2023 – No. 2. – P. 25–33.

9 **Nurkimbayev, S. M., Shumeyko, I. A., Itybayeva, G. T.** Investigation and substantiation of the parameters of the wind wheel of a low-power wind power plant for



various purposes. Republican Journal Proceedings of the University – 2023 – No. 3. – P. 72–78.

10 **Muhammad, S., Wang Y., Muhammad B.** Comparison of Small-Scale Wind Energy Conversion Systems: Economic Indexes Clean Technol. – 2020 – vol. 2 – P. 144–155.

11 **Malliotakis, G., Nikolaidis N., Baniotopoulos C.** Small wind turbines: Sustainability criteria related to the local built environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020 – vol. 410 – P. 1–13.

Поступило в редакцию 18.12.2023

Поступило с исправлениями

Принято в печать 26.02.2024

**И. А. Шумейко, \*С. М. Нұркімбаев, Г. Т. Итыбаева**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

18.12.2023 ж. баспаға түсті.

түзетулерімен түсті.

26.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **БҰРҒЫЛАУДАН ҚОРҒАУ МЕХАНИЗМІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЖЕЛ ДӨҢГЕЛЕГІНІҢ АЙНАЛУ ЖИІЛІГІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

*Жел электр станциялары дауылдың екпінінен қорғау механизмін қажет етеді. Мақала жазу үшін әртүрлі механизмдер зерттелді: орталықтан тепкіш реттегіштер, жел механизмі, қалақты тұрақтандыргышпен, құйрық тұрақтандыргышымен бұру және басқалар.*

*Бұл мақалада желдің жоғары жылдамдығында жел дөңгелегінің айналу жиілігін төмендетуге арналған бұрғылау механизмінің жұмыс процесі қарастырылады.*

*Жел дөңгелегінің айналу жиілігінің жел дөңгелегінің жазықтығына қатысты қалақтарды орнату бұрышына тәуелділігін пайдалану тәжірибесі мен бұрын жүргізілген алдын ала зерттеулерге сүйене отырып, қалақтарды орнату бұрышы неғұрлым үлкен болса, жел дөңгелегінің айналу жиілігі соғұрлым аз болатыны анықталды.*

*Бұл мақалада пышақтардың жалпы ауданын азайту факторларының әсері, тікелей ауа ағынын қабылдау және пышақтардың ұлғаюына байланысты жел дөңгелегінің айналуына төзімділіктің жоғарылауы қарастырылады.*

*Осылайша, жел дөңгелегінің айналу жиілігінің төмендеуі жел дөңгелегі белгілейтін аумақты азайту арқылы жүретіні дәлелденді және олар 15<sup>0</sup>-ден 90<sup>0</sup>-ге дейін бұрылған кезде қалақтардың ауданын ұлғайта отырып, ауаның тежегіш әсеріне тәуелді емес.*

*Кілтті сөздер: айналу моменті, айналу жиілігі, жел дөңгелегі механизмі, бұрғылау механизмі, жел дөңгелегі, қалақ, бұрғылау қорғанысы.*

---

*I.A. Shumeiko, \*S.M. Nurkimbaev, G.T. Itybaeyva*

Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 18.12.2023

Received in revised form

Accepted for publication 26.02.2024

## **DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING THE SPEED OF ROTATION OF A WIND WHEEL USING A STORM PROTECTION MECHANISM**

*Wind power plants need a protection mechanism against hurricane gusts. To write the article, various mechanisms have been studied: centrifugal regulators, windscreen mechanism, blade rotation using a stabilizer, tail stabilizer, and others.*

*This article discusses the process of the storm protection mechanism, designed to reduce the speed of rotation of the wind wheel at increased wind speeds.*

*Based on operational experience and previously conducted preliminary studies of the dependence of the rotation frequency of the wind wheel on the angle of installation of the blades relative to the plane of the wind wheel, it was found that the greater the angle of installation of the blades, the lower the rotation frequency of the wind wheel.*

*This article examines the influence of factors reducing the total area of the blades, which perceives a direct air flow and an increase in the resistance to rotation of the wind wheel due to the increasing area of the blades.*

*Thus, it is proved that the decrease in the rotation frequency of the wind wheel occurs due to a decrease in the area swept by the wind wheel and almost does not depend on the braking effect of the air with an increase in the area of the blades when they turn at an angle from  $15^{\circ}$  to  $90^{\circ}$ .*

*Keywords: torque, rotation speed, wind wheel mechanism, wind protection mechanism, wind wheel, blade, wind protection.*

**\*Л. Е. Юсупова<sup>1</sup>, А. М. Жабәдиев<sup>1</sup>, А. Т. Ержанова<sup>1</sup>,  
А. Д. Нұрман<sup>1</sup>, А. Б. Калмағамбет<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қорқыт ата атындағы Қызылорда Университеті, Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

<sup>2</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

\*e-mail: [L.Yussupova@mail.ru](mailto:L.Yussupova@mail.ru)

## **КӘСІПШІЛІК ҚҰБЫР ЖЕЛІСІНІҢ ТОТТАНУҒА ТӨЗІМДІЛІК ҚАБІЛЕТІЛІГІН ТАЛДАУ**

*Бұл мақалада мұнай және газ кен орындарын игеру кезінде мұнай газ және су арасындағы тепе-теңдіктің бұзылуынан, минералдар мен көмірсутектердің тоттығуынан өндірілетін шикізаттардың химиялық құрамы өзгеріп, қондырғылардың тоттанып бұзылуна әкеледі. Тоттануға төзімді құбырларды енгізуді іске асыру бірінші кезектегі міндет болып табылады. Өнеркәсіптерінде тоттануға төзімді құбыр жолдардың істен шығуын талдауы түрлі себептердің бұзылуын анықтайды. Қазіргі уақытта тоттануға-төзімді құбырлар табысты өндіріледі және компания өнеркәсіптерінде, қолданыстағы құбыр жолдары паркінің үштен бірін құрап, қолданылады. Тоттануға төзімді құбырларды енгізу бойынша қадағалауды іске асыратын мамандар құбыр жолдарының өндірісі, пайдаланылуы және апаттығы туралы мәліметтерді жинау және талдау жүйелі жүргізіледі. Осы жағдайлардың алдын алу үшін конструктивті кемшіліктерді жоюдан басқа болат құбырлардың металл сыйымдылығын құлдырауынан маңызды экономикалық әсерге қол жеткізілді. Тоттануға төзімді құбырлардың істен шығуының себептерін талдай отырып, келесідей қорытындылар жасауға болады.*

*Сондай-ақ аталған кемшіліктерді құбыр құрылымынан жою мүмкін емес. Мұнда аяқталмаған түйіндерді ауыстырудың балама нұсқаларын ескере отырып, осы мақала аясында икемді полимерлі металл құбырлары болған жағдайда тұжырымдамасы жасалады. Тоттануға төзімді құбырлардың бұзылуы және істен шығуының барлық жағдайлары бойынша техникалық тергеу жүргізіледі: техникалық құжаттамаларды зерттеу және талдау, істен шығу жерлерін қарау, үлгілерді жинау және зерттеуге жіберу, зертханалық зерттеулер, бұзылыстың сипаты мен себебі туралы мәліметтерді талдау.*

*Кілтті сөздер: тоттануға төзімді, құбырлар, икемді полимерлі-металды, тасымалдау желілері, істен шығу.*

Мұнай газ кәсіпшілігінің құбыр жолдары жүйелерінің жоғары беріктігін қамтамасыз ету ең тиімді үдемелі құрал ретінде тоттануға төзімді орындалған құбырларды қолдану болып табылады [1]. Жаңа буын құбырлар немесе жоғары қысымды құрама құбырлар деп аталады.

Бұл құбырлардың жоғары тоттануға беріктігі олардың жұмыс беті полиэтиленнен орындалумен қамтамасыз етіледі. Құрама құбырларға полимерлік-металды құбырлар, металлопластикті және биопластикті құбырлар, және де полиэтиленмен қапталған болатты құбырлар жатады [2].

Мұнай кен орындарына тоттануға төзімді құбырларды енгізуді іске асыра отырып, өз таңдауын полимерлі арқауланған (иілгіш полимерлі-металды және металды-пластикті) және полиэтиленмен қапталған болатты үш құбырлы секциялары құралған.

### **Материалдар мен әдістер**

Кәсіпшілік құбыр желісінің тоттануға төзімділік қабілетілігін талдау әдістеріне тоқталайық.

Қазіргі уақытта тоттануға-төзімді құбырлар табысты өндіріледі және компания өнеркәсіптерінде, қолданыстағы құбыр жолдары паркінің үштен бірін құрап, қолданылады (сурет 1). Олардың енуі құбыр жолдар жүйесінің беріктігін едәуір көтеруге мүмкіндік берді, мысалы, апаттың нақты деңгейінің көрсеткіші жеті еседен де артық төмендеді (сурет 2).

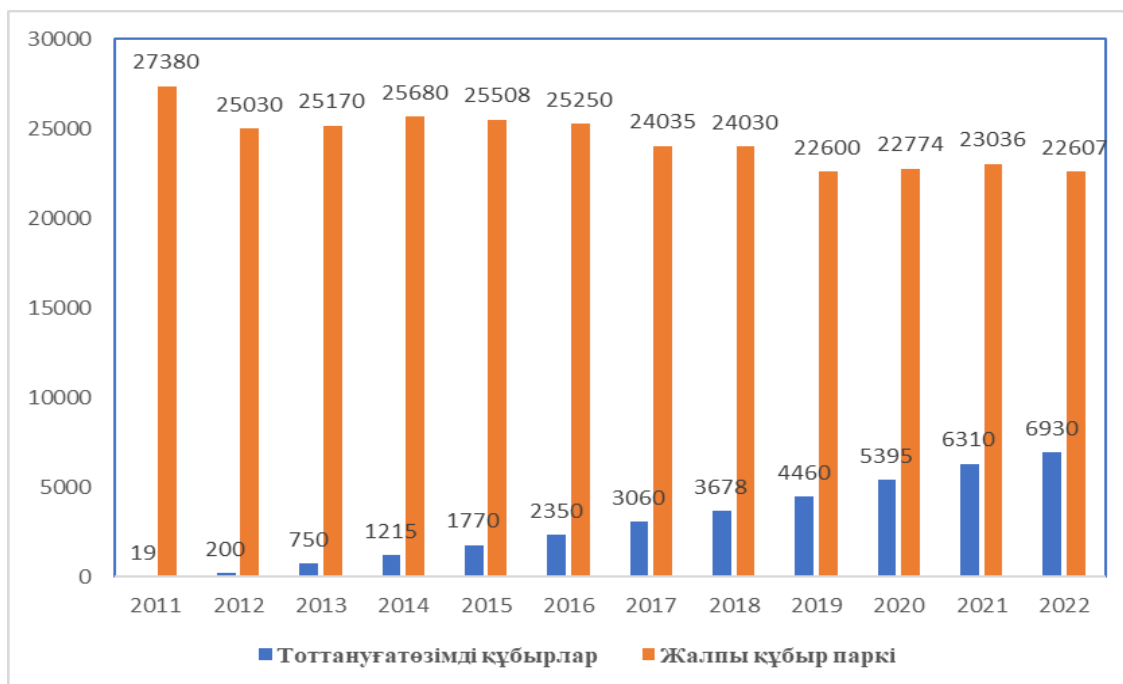
Тоттану процестері құбырлардың механикалық беріктігінің төмендеуіне, нәтижесінде құбырлардың істен шығуына әкеледі. Мұнай тасымалдау желілерінің істен шығуының шамамен 90 % - ы тоттану және зақымдану салдары болып табылады[3]. Апаттардың жалпы санының 50-55% - ы мұнай жинау жүйелерінің үлесіне және 30-35% - ы қабат қысымын ұстап тұру құбырларының үлесіне тиесілі.[5]. Құбырлардың шамамен 42% - ы бес жылға шыдай алмайды пайдалану, ал 17% - тіпті екі жыл.

Өнеркәсіптік нормативтік құжаттарға сәйкес тоттануға төзімді құбыр жолдардың қызмет мерзімі 20 жылдан кем емес болуы қажет. Алайда құбырлардың болжамды өнімділігінебірқатар объективті және субъективті факторлар әсер етеді. Өнеркәсіптерінде тоттануға төзімді құбыр жолдардың істен шығуын талдауы түрлі себептерді анықтады, оларды екі топқа жіктеуге болады – конструктивті кемшіліктер және технологиялық үдерістің бұзылуы.[5]

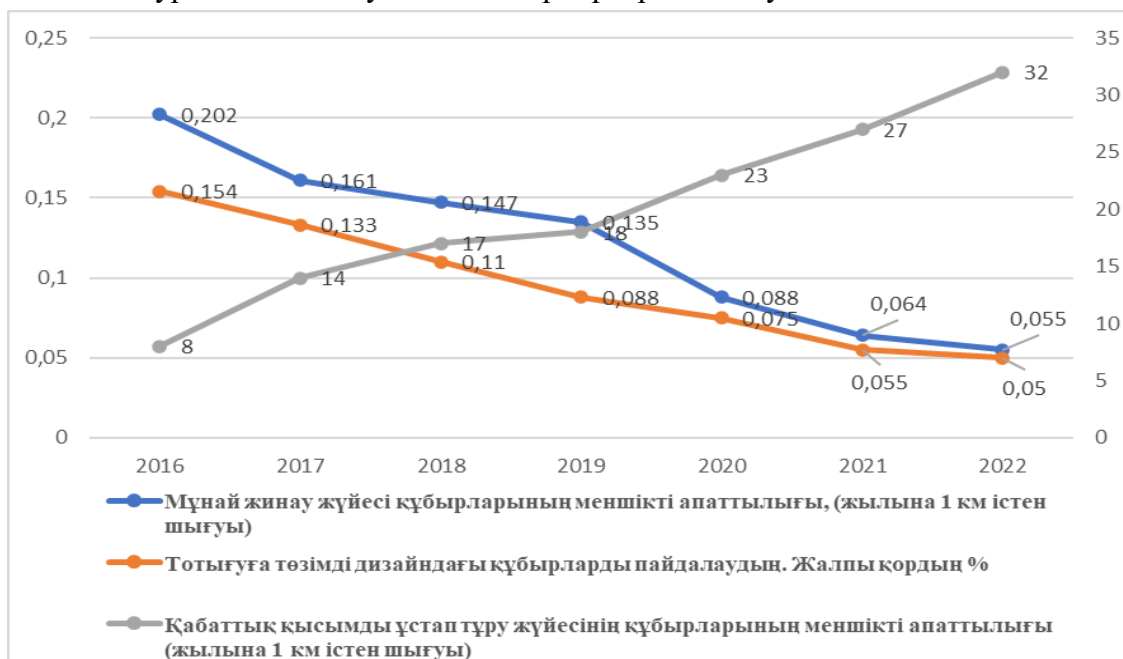
Тоттануға төзімді құбырларды енгізу бойынша қадағалауды іске асыратын мамандар құбыр жолдарының өндірісі, пайдаланылуы және апаттығы туралы мәліметтерді жинау және талдау жүйелі жүргізіледі. Тоттануға төзімді құбырлардың бұзылуы және істен шығуының барлық жағдайлары бойынша техникалық тергеу жүргізіледі: техникалық құжаттамаларды зерттеу және талдау, істен шығу жерлерін қарау, үлгілерді жинау және зерттеуге жіберу, зертханалық зерттеулер, бұзылыстың сипаты мен себебі туралы мәліметтерді талдау.

2022 жылдың басында протекторлардың істен шығуы салдарынан полиэтиленмен қапталған диаметрі 114x8 мм болат құбыр секцияларынан құрастырылған. Қабат

қысымын ұстаудың жоғары арынды су жүйесінде жеті мәрте апатты жағдай орын алды. Құбыр жүйесінің жұмыс жасауы 4 айдан 15 айға дейін құрады. Жұмыс қысымы 13,2 ден 15,1 МПа дейін. Жату тереңдігі 0,6-дан 1,5 м дейін құрады. Полиэтиленмен қапталған болат құбырлардың зақымдануының барлық жағдайлары бірдей және болат құбыр денесінің бойында түйісуден 230-380мм қашықтықта калибрленген бөлікте қалыптасқан жарылулар болып табылады. Ақаудың ені 10-нан 50мм дейін [6].



Сурет 1 – Тоттануға төзімді құбырларды енгізу динамикасы



Сурет 2 – Құбыр жүйесінің апаттылығын талдау

Зерттеу барысында полиэтиленмен қапталған болат құбырларды салу мен пайдалануға қойылатын талаптардың сақталмауы қаралды. Мұнда грунттың біркелкі емес деформациясы кезінде механикалық жүкпен сынақталатын құбыр жүйесі тереңдігінің ең кіші нормасына сәйкессіздік бар. Бұл жерде құбыр жүйесінің (берілген профиль бойынша серіпімді иілу) алдын ала шиеленісу; траншеяға орналастыру кезінде құбыр желісінің сынуы; траншея түбінің тегіс болмауынан құбыр желісінің салбырауы және өз салмағы мен грунт салмағы әсерінен кейін бұзылуы орын алуы мүмкін. Құбыр желісі ішкі жоғары қысым кезінде циклдік жүктеулермен айтарлықтай сыналғаны сөзсіз [7].

### **Нәтижелер және талқылау**

Әртүрлі әдістермен алынған нәтижелерді салыстыру келесі қорытындыға әкеледі. Алайда, болат құбырдың калибрленген бөлігінің беріктігі төмен болған кезде, құбырларды салу және пайдалану кезінде пайда болатын сыртқы және ішкі жүктемелер мен әсерлер бұл жағдайда негізгі емес, қосымша фактор болып табылады. Зертханалық талдаулар оның калибрлеу кезінде ұшына әсер ету болат құбырсы металының сынғыштығына әкелетінін көрсетті. Калибрлеу процесінде ұшы айтарлықтай радиалды жүктемелерге ұшырайды, ал «диаметр – қабырға қалыңдығы» пропорционалды емес қатынасы болат құбырдың денесінде микрожарықшақтардың пайда болуына әкеледі. Техникалық тексеру негізінде болат құбыр желісінің қабырғаларының қалыңдық күшін есептеу жүргізілді және қабырға қалыңдығы 6,5 мм диаметрі 114 мм құбырларды қаптау қажет екені шешімін тапты. Конструктивті кемшіліктерді жоюдан басқа болат құбырлардың металл сыйымдылығын төмендетуге байланысты экономикалық тиімділікке қол жеткізілді [8].

Ұзындығы 2670 метр, диаметрі 273x8 мм қапталған мұнай құбырының келесі істен шығуын зерттеу кезінде монтаждау технологиясының кемшіліктері анықталды. Пайдалануға беру кезінде құбыр желісінің өткізу қабілетінің төмендігі анықталды, диагностикалық тексеру құбырдың үш секциясында ағынның төмендеуін көрсетті. Кесіп алынған секцияларды қарау кезінде полиэтилен қабықшасында сақиналы ісінулер анықталды. Құбыраралық бос орында жұмыс сұйықтығы бар болған, бұл полиэтилен қабықшасының тұтастығының бұзылуын көрсетеді, сонымен бірге сапасы қанағаттанарлық болды.

Мұнай құбырының істен шығуының негізгі себебі құбырды монтаждау кезінде полиэтилен қабықшасындағы деформациясы болды.

2022 жылы дәнекерленген қосылыс орны бойынша болат құбырдың жойылуы нәтижесінде полиэтилен қабығының зақымдануының бірінші жағдайы тіркелген.

Зақымданудың себебі - амортизациядан бұрын пайдаланылған протектор, бұл агрессивті тасымалданатын ортаның құбыраралық кеңістікке енуінен ұштың коррозиялық бұзылуынан кейін және болат құбырдың бұзылуына әкелді. Бұл құбылыс – полиэтиленді болатты қаптамасының конструктивті кемшіліктерінің бірі.

Икемді полимерлі металл құбырларының істен шығуы, әдетте, олар 1998 жылға дейін шығарылған құбырлардан орнатылған жағдайларда орын алады. Сол кезде икемді полимерлі металл құбырлар ішкі камерасы жоғары қысымды полиэтиленнен жасалған болатын. Икемді полимерлі металл құбырлар ішкі камерасының үлгілеріне зертханалық зерттеулері бастапқы мәндерімен салыстырғанда материалдың механикалық қасиеттерінің 30–50% нашарлығын көрсетті [9].

Бұл құбырлар пайдалану қызметтері тарапынан жоғары назар аударуды талап етеді. Жұмыс қысымының төмендеуін бақылау үшін ұңғымалардың сағаларына бақылау аппаратурасын (электрмен жанасатын манометрлер) орнату ұсынылады. 1998 жылдың сәуірінен бастап төмен қысымды полиэтиленнен жасалған ішкі камерасы бар икемді полимерлі-металл құбырларының өндірісі жолға қойылды, содан бері құрылыс-монтаж жұмыстары процесінде құбырлардың зақымдануынан басқа, осы шығарылымның құбырларының бірде-бір істен шығуы байқалмады.

Металл құбырларының жарылуы мен істен шығуын тексеру кезінде, апаттың бірнеше себептерін анықтады. Біріншіден, құбырларды дайындаудың технологиялық режимдерінің бұзылуы орын алған кезде зауыттық ақаулар: орау қадамын сақтамау нәтижесінде сым жақтауының жеткіліксіз беріктігі; жақтау сымдарының өртенуі; полимер материалында бөгде қосындылардың болуы; құбыр денесіне ұштарды сапасыз дәнекерлеу. Екіншіден, монтаждалған құбырды төсеу кезінде рұқсат етілген иілу радиусы сақталмаған кезде құрылыс ақауы, бұл құбырлардың түйіскен жеріндегі тығыздықтың бұзылуына әкеледі. Үшіншіден, бұл құбырларды тасымалдау ережелерінің сақталмауы – құбырдың сыртқы бетінде кесулер мен ойықтар түрінде ақаулардың анықталуы [10].

### **Қортындылар**

Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып тоттануға төзімді құбырлардың істен шығуының себептерін талдай отырып, келесідей қорытынды жасауға болады. Бүкіл құбырдың амортизациялық мерзімінен бұрын протекторды өңдеу және полиэтиленмен қапталған полиэтиленді болат қабықтың деформациясы, сондай-ақ жоғары қысымды полиэтиленнен жасалған икемді полимерлі-металл құбырлардың ішкі камерасының бұзылуы сияқты құбылыстар бұйымдардың құрылымдық кемшіліктеріне жатады. Протектордың барлық құбырдың амортизациялық кезеңнен ерте жетілдіруі және полиэтилен қабықшасының деформациялануы, және де жоғары қысымды полиэтиленнен икемді полимерлі металл құбырлар ішкі камерасының бұзылуы секілді құбылыстар бұйымның құрылымдық кемшіліктеріне жатады. Аталған кемшіліктерді құбыр құрылымынан жою мүмкін емес. Мұнда аяқталмаған түйіндерді ауыстырудың балама нұсқаларын қарастыру талап етіледі, икемді полимерлі металл құбырлары болған жағдайда жасалады [8].

Тоттануға төзімді құбырлардың өндіріс технологиясы, тасымалдау, сақтау, құрылыс және пайдалануды бұзу субъективті факторлар болып табылады, олар өндіріс үдерісінде болдырмау немесе максималды төмендетілуі қажет.

Егерде біз жақын арада дәстүрлі қолданылатын металдардың қасиеттерінен түбегейлі ерекшеленетін материалдармен жұмыс жасайтын болсақ, осы ерекшеліктерді – полимерлі құбырлар жасаудан бастап олардың кейінгі пайдалануына дейінгі барлық кезеңдерде ескеруіміз қажет. Сонымен бірге технологиялық үдерістен «адам факторы» секілді тұжырымдаманы мүмкіндігінше алып тастау керек; өндірісте сапаны кезеңмен бақылау жүйесін енгізу; өнеркәсіпке бақылауды ұйымдастыру; монтаждау мен пайдалануға беру кезінде нормативтік-техникалық құжаттамалардың талаптарын қатаң түрде орындау; бұйымдардың құрылымдық және технологиялық сипаттамаларын жақсарту бойынша жүйелі жұмыс жүргізу.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Агапчев, В. И., Виноградов, Д. А., Абдуллин, В. М.** Трубопроводные системы из композиционных материалов в нефтегазовом строительстве // Нефть и газ. Изв. Вузов. – 2003. – № 5. – С. 91–95.

2 **Карабалин, У. С., Маманов, Ф. А., Кабылдин, К. М., Ермеков, М.М.** Транспортировка и хранение нефти, газа и нефтепродуктов. – Алматы : «TST-Company», 2005 – 509с.ил.

3 **Кузьбожев, А. С., Агиней, Р. В., Александров, Ю. В., Саванько, Е. А.** Анализ результатов оценки коррозионного состояния системы конденсатопроводов Вуктыл СГПЗ // Контроль Диагностика. – 2007. – № 7. – С 31–44.

4 **Бирилло, И. Н., Теплинский, Ю. А., Быков, И. Ю., Александров, Ю. В.** Оценка потерь металла в осевом сечении коррозионно-поврежденных труб // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. – № 4. – С. 9–12.

5 **Адилова, Н. Б.** Газмұнай құбырлары және газмұнай сақтағыштарын салу және жөндеудің заманауи технологиялары оқу құралы / Н. Б. Адилова, Л. Т. Шуланбаева, М. Ж. Рыскалиев. – Алматы : Альманах, 2019. – 108 б.

6 **Айтөреева, Г. Қ., Абдукаримов, С. Ә.** Мұнай және газ өндірісінің технологиялық машиналары мен жабдықтары - Алматы: ҚазҰТУ, 2012. – 14 б.

7 **Ивановский В. Н.** Коррозия скважинного оборудования и способы защиты от неё / В. Н. Ивановский // Коррозия «Территория нефтегаз». – 2011. – № 1. – С. 18–25.

8 **Кузнецов, Ю. Н., Вагапов, Р. К., Игошин, Р. В.** Возможности защиты ингибиторами коррозии оборудования и трубопроводов в нефтегазовой промышленности // Коррозия «Территория НЕФТЕГАЗ». – 2010. – № 1. – С. 38–41.

9 **Макаренко, А. В.** Технические требования к насосно компрессорные трубам и повышение эффективности работы и срока их службы // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 4. С. 120.



10 **Хасанов, Д. Х., Сихаев, М. А.** Применение коррозионностойких насосно-компрессорных труб на проблемных добывающих скважинах месторождения Узень Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана № 4 (5) 2020.

## REFERENCES

1 **Agapchev, V. I., Vinogradov, D. A., Abdullin, V. M.** Munai-gaz kurylysyndagy kompozitsiyalyk materialdardan kubyр zhuieleri. – Munai zhane gaz, № 5. – 2003. 91–95.

2 **Karabalin, U. S., Mamanov, F. A., Kabyldin, K. M., Ermekov, M. M.** Transportirovka i hranenie nefti, gaza i nefteproduktov. – Almaty: «TST-Company», 2005 – 509s.il.

3 **Kuz'bozhev, A. S, Aginey, R. V, Aleksandrov YU. V , Savan'ko, E .A.** Analiz rezul'tatov ocenki korrozionnogo sostoyaniya sistemy kondensatoprovodov Vuktyl SGPZ//Kontrol' Diagnostika. – 2007. – No 7. – P. 31–44.

4 **Birillo, I. N., Teplinskii, YU. A., Bykov, I. YU, Aleksandrov, YU. V.** Ocenka poter' metalla v osevom sechenii korrozionno-povrezhdennyh trub // Stroitel'stvo neftyanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. – 2004. – No 4. – P. 9–12.

5 **Adilova, N. B.** Gazmunai kubyrlary zhane gazmunai saktagshtaryn salu zhane zhondeudyn zamanai tekhnologiyalary oku kuraly / N.B. Adilova, L.T. Shulanbaeva, M.ZH. Ryskaliev. - Almaty : Al'manah, 2019. – 108b.

6 **Aytoreeva, G. K., Abdukarimov, S. A.** Munai zhane gaz ondyrysynyn tekhnologiyalyk mashinalary men zhabdyktary – Almaty : KazUTU, 2012. – 14 p.

7 **Ivanovskii, V. N.** Korroziya skvazhinnogo oborudovaniya i sposoby zashchity ot neyo/ V.N. Ivanovskii // Korroziya «Territoriya NEFTEGAZ». – 2011. – № 1. – P. 18–25.

8 **Kuznecov, YU. N.** Vozmozhnosti zashchity inhibitorami korrozii oborudovaniya i truboprovodov v neftegazovoy promyshlennosti /YU.N. Kuznecov, R. K. Vagapov, R. V. Igoshin // Korroziya «Territoriya NEFTEGAZ». – 2010. – № 1. – P. 38–41.

9 **Makarenko A. V.** Tekhnicheskie trebovaniya k nasosno kompressornye trubam i povyshenie effektivnosti raboty i sroka ih sluzhby // Neftyanoe hozyastvo. – 2006. – № 4. P. 120.

10 **Hasanov, D. H., Sihaev, M. A.** Primenenie korrozionnostoikih nasosno-kompressornyh trub na problemnyh dobyvayushchih skvazhinah mestorozhdeniya Uzen' Vestnik neftegazovoi otrasli Kazahstana. – № 4 (5) 2020.

09.02.2024 ж. баспаға түсті.

түзетулерімен түсті.

07.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Л. Е. Юсупова<sup>1</sup>, А. М. Жабазиев<sup>1</sup>,*

*А. Т. Ержанова<sup>1</sup>, А. Д. Нұрман<sup>1</sup>, А. Б. Калмагамбет<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Қызылординский университет имени Көркыт ата, Республика Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный научно-исследовательский технический университет

---

имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 09.02.2024

Поступило с исправлениями

Принято в печать 07.03.2024

## АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПРОМЫСЛОВОГО ТРУБОПРОВОДА

*В данной статье отмечается, что при разработке нефтяных и газовых месторождений происходит изменение химического состава добываемого сырья, из-за нарушения баланса между нефтяным газом и водой, минералов и углеводородов, что приводит к коррозионному разрушению трубопроводного оборудования. Реализация внедрения коррозионностойких труб является первоочередной задачей. Анализ отказов коррозионностойких трубопроводов в промышленности выявляет нарушения различных причин. В настоящее время успешно производятся коррозионно-стойкие трубы и используются в промышленности компании, составляя треть существующего парка трубопроводов. Специалистами, осуществляющими надзор за внедрением коррозионностойких труб, систематически проводится сбор и анализ сведений о производстве, эксплуатации и аварийности трубопроводов. При предотвращении этих ситуаций, помимо устранения конструктивных недостатков, был достигнут значительный экономический эффект от снижения металлоемкости стальных труб. Анализ причины выхода из строя коррозионностойких труб выявил, что указанные недостатки не могут быть устранены из конструкции трубопровода. Здесь с учетом альтернативных вариантов замены разрушенных узлов в рамках данной статьи будет разработана концепция применения гибких полимерных металлических труб. По всем случаям разрушения и выхода из строя коррозионностойких трубопроводов проводится техническое расследование: исследование и анализ технической документации, осмотр мест отказов, сбор и направление образцов на исследование, лабораторные исследования, анализ сведений о характере и причине нарушения.*

*Ключевые слова: коррозионностойкие, трубы, гибкие полимерно-металлические, транспортные линии, отказы.*

**<sup>1</sup>L. E. Yusupova, <sup>1</sup>A. M. Zhabagiev, <sup>1</sup>A. T. Yerzhanova,**

**<sup>1</sup>A. D. Nurman, <sup>2</sup>A. B. Kalmagambet**

<sup>1</sup>Kyzylorda university named after korkyt Ata, The Republic Of Kazakhstan,

<sup>2</sup>K. I. Satbayev Kazakh National Research Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 09.02.2024

Received in revised form

Accepted for publication 07.03.2024

---

---

## CORROSION RESISTANCE ANALYSIS OF A FIELD PIPELINE

*This article notes that during the development of oil and gas fields, the chemical composition of raw materials produced changes due to a violation of the balance between petroleum gas and water, corrosion of minerals and hydrocarbons, which leads to the corrosive destruction of installations. The implementation of the introduction of corrosion-resistant pipes is a top priority. Analysis of failures of corrosion-resistant pipelines in industry reveals violations of various causes. Currently, rust-resistant pipes are successfully produced and used in the company's industries, accounting for a third of the existing pipeline fleet. Specialists overseeing the implementation of corrosion-resistant pipes systematically collect and analyze information about the production, operation and accident rate of pipelines. To prevent these situations, in addition to eliminating design flaws, a significant economic effect has been achieved by reducing the metal consumption of steel pipes. Analyzing the causes of failure of corrosion-resistant pipes, the following conclusions can be drawn. Also, these disadvantages cannot be eliminated from the pipeline design. Here, taking into account alternative options for replacing incomplete assemblies, a concept will be developed within the framework of this article in the case of flexible polymer metal pipes. For all cases of breakdowns and failures of corrosion-resistant pipes, a technical investigation is carried out: study and analysis of technical documentation, inspection of the places of failures, collection and sending of samples for research, laboratory tests, analysis of data on the nature and cause of the breakdown.*

*Keywords: corrosion-resistant, pipes, flexible polymer-metal, transportation lines, failure.*

---

---

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

FTAMP 53.31.21

**А. А. Акбердин<sup>2</sup>, А. С. Ким<sup>2</sup>, Р. Б. Султангазиев<sup>1</sup>,  
О. В. Заякин<sup>3</sup>, \*Г. Х. Адамова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2</sup> Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>3</sup>РФА Урал бөлімшесінің металлургия институті,  
Ресей Федерациясы, Екатеринбург қ.

\*e-mail: [guldenaa@mail.ru](mailto:guldenaa@mail.ru)

**ҚҰРАМЫНДА БОРЫ БАР СИЛИКОХРОМ КӨМЕГІМЕН ТӨМЕНКӨМІРТЕКТІ  
ФЕРРОХРОМДЫ БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

*Аталмыш мақалада қолданыстағы технологиялық процестерді талдау және жаңа технологиялық үрдістердің құралы болып табылатын модельдеуге негізделген зерттеу жұмысы көрсетілген. Өзінің тиімділігіне байланысты ол жаңа процестер мен металдарды игеру үшін кең қолданыс тапты. Бұл жұмыста Толық термодинамикалық талдау әдісін қолдана отырып, феррохромның төменкөміртекті маркаларын балқыту кезінде кешенді қалпына келтіргіш ретінде қолданылатын бордың берілген құрамымен силикохромды балқытудың технологиялық процесін модельдедік. Шихтаның құрамы мен температурасының балқыту өнімдерінің химиялық және фазалық құрамына әсері зерттеліп, шихта элементтерінің металға өту дәрежесі белгіленді, қорытпаны алудың оңтайлы шарттары табылды. Термодинамикалық талдау негізінде сонымен қатар технологиялық температураны таңдау (1750-1800 °С және одан жоғары) балқудың кинетикалық жағдайларымен, алынған металдың және шлактардың балқу температурасымен байланысты екендігі көрсетілген. Жалпы алғанда, есептеу-теориялық талдау және термодинамикалық модельдеу тотықсыздандырғыш ретінде боры бар силиохромды қолданудың тиімділігін көрсетті. Силикохромдағы бордың берілген мөлшері (0,3-0,7%) қожда 0,3-0,5%  $B_2O_3$  болуын қамтамасыз ететіні көрсетілген. Бұл ыдыраудан жоғары негізді шлактарды тұрақтандырудың маңызды мәселесін шешуге жеткілікті. Сонымен бірге олардың физикалық қасиеттерінің де жақсаруы байқалады, бұл ақыр соңында балқу режиміне және шлактан металдың жоғалуына оң әсер етуі керек.*

---

*Кілтті сөздер: TERRA, термодинамикалық модельдеу, бор, математикалық жоспарлау, шлак, хром.*

---

### **Кіріспе**

Модельдеу жобаланған технологиялық процестің оңтайлы параметрлерін табудың тиімді құралы болып табылады. Ол ең күрделі технологияларды жасауға материалдық және уақыт шығындарын ондаған және жүздеген есе азайтуға мүмкіндік береді. Термодинамикалық әдістің артықшылығы оның әмбебап табиғаты болып табылады, ол тек жеке заттардың термохимиялық және термодинамикалық қасиеттері туралы анықтамалық ақпаратқа негізделген ерікті химиялық құрамды жүйелерді зерттеуге мүмкіндік береді - тепе-теңдік компоненттерін. Бұл қасиеттер көптеген инженерлік қолданбаларға сәйкес температура диапазонында газ тәрізді, конденсацияланған және иондалған күйлердегі химиялық қосылыстардың кең ауқымы үшін белгілі. Дегенмен, модельдің физикалық мөлдірлігі жалпыланған алгоритмнің есептеу күрделілігімен, бастапқы мәліметтерді дайындау және әртүрлі нәтижелерді ұсыну қиындықтарымен үйлеседі. Бұл жағдайлар белгілі бір кездерде әдісті практикалық іске асыруды қиындатады, ал коммерциялық модельдеу жүйелеріне жүгіну параметрлерді өзгертудің кең ауқымында нәтиже алудың тиімділігін төмендетеді [1; 2].

Толық термодинамикалық талдау әдісін қолдана отырып, феррохромның төменкөміртекті маркаларын балқыту кезінде кешенді қалпына келтіргіш ретінде қолданылатын бордың берілген құрамымен силикохромды балқытудың технологиялық процесін модельдедік. Шихтаның құрамы мен температурасының балқыту өнімдерінің химиялық және фазалық құрамына әсері зерттеліп, шихта элементтерінің металға өту дәрежесі белгіленді, қорытпаны алудың оңтайлы шарттары табылды.

### **Материалдар мен әдістер**

Процестің термодинамикалық талдануы үшін Бауман атындағы мемлекеттік техникалық университетінен профессор Б. Г. Трусов WINDOWS ортасы үшін және жоғары температуралық процестер үшін әзірленген ASTRA-4 бағдарламасының негізінде жасалған TERRA көпкомпонентті гетерогенді жүйелерді есептеудің әмбебап бағдарламасын пайдаландық [3, 37 б.].

Химиялық термодинамикадағы Гиббс энергиясын, тепе-теңдік константаларын және Голдберг пен Вахенің массалық әсер ету заңын пайдалана отырып, тепе-теңдік параметрлерін есептеудің дәстүрлі әдістерінен айырмашылығы, термодинамикалық есептеулердің әмбебап бағдарламасы TERRA оқшауланған термодинамикалық тепе-теңдік күйіндегі жүйелер үшін максималды энтропия принципіне негізделген [4].

Ол термодинамикалық еркіндік дәрежелеріне қатысты энтропияның максимумымен сипатталады, оған жүйе құраушыларының концентрациялары, температура, қысым және т.б. қатысты. Қарастырылып отырған термодинамикалық жүйелер жабық және оқшауланған болып жіктеледі, яғни, олар қоршаған ортамен жылу алмасуы немесе жұмысы жоқ және материяны тасымалдау үшін өтпейтін шекаралары бар материалдық аймақтардан құралады. Массасы мен элементтік құрамы өзгеріссіз қалатын мұндай жүйелерде қоршаған ортамен тепе-теңдікті орнату алдын ала қол жеткізілді деп есептеледі, демек, диссипативті процестерге байланысты және жүйенің әртүрлі бөліктері арасындағы немесе оның сыртқы шекарасы бойынша жылу алмасуға байланысты жүйе энтропиясының жоғарылау мүмкіндігі алынып тасталады. Жалпы жағдайда зерттелетін жүйе гетерогенді, көрінетін шекаралармен бөлінген бірнеше бір-біріне ұқсамайтын фазалардан тұрады және барлық жеке газ тәрізді заттар газ фазасының бірдей құрамына кіреді. Конденсацияланған компоненттер жеке фазаларды

құра алады. Мұндай жүйелердің тепе-теңдігі термодинамиканың екінші заңына сәйкес термодинамикалық еркіндік дәрежелеріне қатысты энтропияның максимумымен сипатталады, оған температура (Т), қысым (Р) және тепе-теңдік қоспасының құрамдас бөліктерінің концентрациясы  $C_i$  кіреді. . Толық термодинамикалық тепе-теңдікке қол жеткізгеннен кейін қарастырылып отырған жүйелердің фазасы мен химиялық құрамы қалған күй параметрлерімен (Р, Т,  $\rho$ , U) бірегей түрде байланысты болуы керек, мұндағы  $\rho$  және U сәйкесінше жүйенің тығыздығы мен ішкі энергиясы. [3, 8 б.].

TERRA бағдарламасында жеке заттардың термодинамикалық қасиеттерінің жеке мәліметтер базасы бар, ол үнемі жаңартылып, нақтыланып отырады. Қазіргі уақытта деректер банкіде (ДБ) 3200-ден астам заттар үшін термодинамикалық функциялар бар. Бірақ стандартты деректер базасын пайдалану арқылы жүргізілген есептеулердің нәтижелері өнімнің құрамында күтілгеннен айтарлықтай айырмашылықты көрсетті. Осылайша, металда, шлакта және газда көптеген бор қосылыстары болмады. Заттардың жетіспейтін термодинамикалық функцияларын ИВТАНТЕРМО, HSC Chemistry, Factsage мәліметтер базасынан және жұмыстардан алдық [5; 6; 7; 8].

Силикохромды балқыту технологиясы силикохромды балқытудағы проблемалардың сақталатынын көрсетті және негізгі күресу шаралары балқыту режимін, әсіресе қалпына келтіретін заттың мөлшерін және таза материалдарды пайдалануды қатаң бақылау болып табылады. Жоғары маркалы силикохром шлактары (Si – 48-50%) жоғары тұтқырлығымен және балқу температурасымен сипатталады .

Біз аталмыш жұмыста феррохромның төменкөміртекті маркаларын балқыту кезінде кешенді тотықсыздандырғыш ретінде қолданылатын құрамы бекітілген боры бар силикохромды балқыту технологиясын ұсынып отырмыз. Құрамында бор бар материалдардың берілген мөлшері процестің термиялық деңгейін төмендетеді және қождың қасиеттерін жақсартады деп күтілуде, бұл шихта материалдарының ұшуын және пеш түбінің отқа төзімді шлак қалдықтарымен толып кетуін азайтады [9; 10].

Төменкөміртекті феррохром маркаларын өндіру кезінде құрамында боры бар силикохромды қолдану жоғары техникалық-экономикалық балқу көрсеткіштері бар жоғары негізді шлактарды тұрақтандыруды қамтамасыз етеді.

Модельдеу үшін элементтердің балқыту өнімдеріне өтуінің нақты коэффициенттерін ескере отырып, теориялық талдау негізінде белгіленген металл өндірудің нақты технологиялық процесі үшін келесі құрамдағы шихта қабылданды:

- Ферросиликохром – 100 кг
- Хром кені (X) – 244,007 кг
- Әк (У) – 245,846 кг

TERRA бағдарламасы кешеніндегі есептеулер үшін қажетті шихта құрамы (шихта құрамы кг) 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Шихта құрамы (кг)

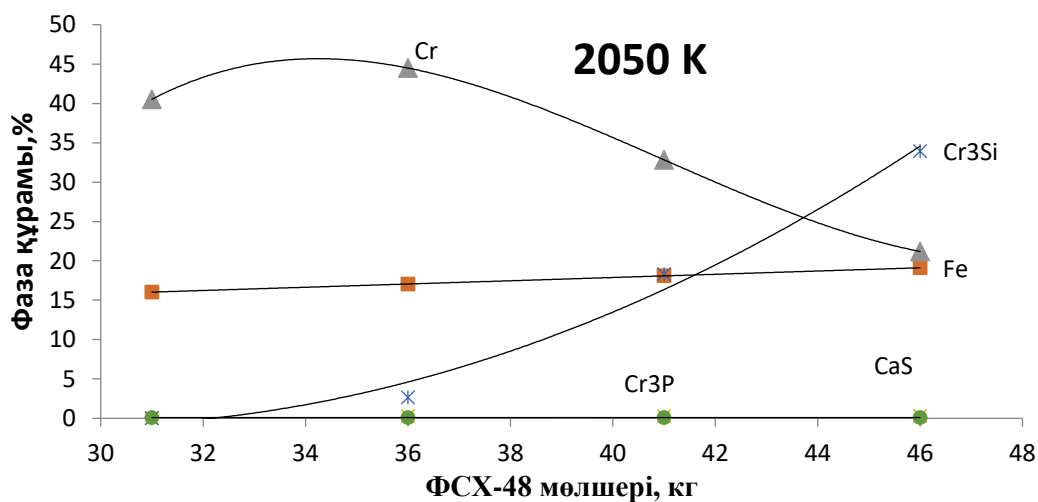
Шихта компоненті	Элементтер мен оксидтердің кірісі							
Хром кені	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–
	51,6	12,36	7,75	7,15	0,3	18,72	0,006	–
Әк	–	0,05	0,48	1,62	90,0	0,46	0,008	

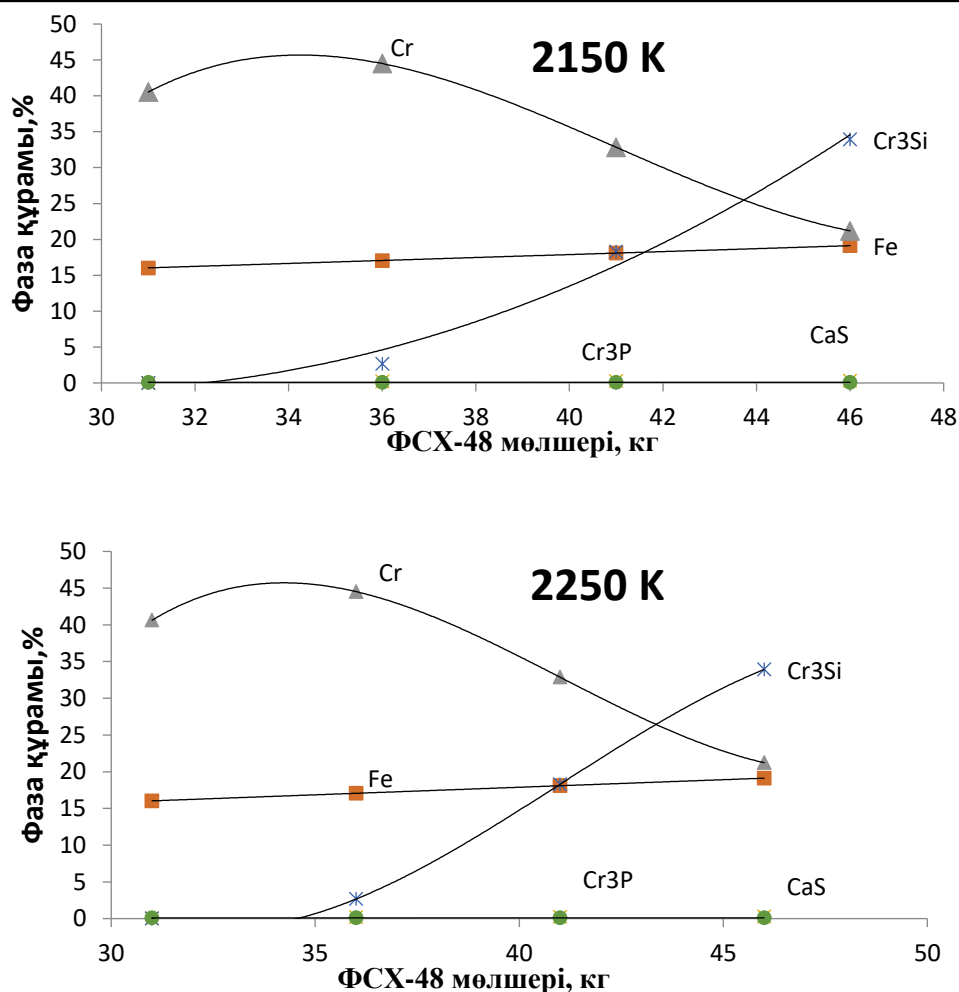
	Cr	Si	C	P	S	Fe	B	O <sub>2</sub>
Силикохром	13,36	19,147	0,0246	0,009	0,041	0,205	5,4705	8,446
	6				44			

Модельдеу нәтижелері бөлме температурасынан 3000 °С-қа дейінгі температура диапазонында металл мен шлактардың түзілуі кезінде шихта материалдарының фазалық құрамының өзгеруін көрсететін 2,3 кестелерде және 1-суретте келтірілген. 1-суретте берілген температурадағы металдың фазалық құрамы көрсетілген. Хром кенін кремниймен тотықсыздандырудың негізгі реакциясы (1) теңдеу:



және бордың тотықсыздану реакциясы келесі теңдеумен сипатталады (2):





Сурет 1 – FeCrX-48 мөлшеріне байланысты металдың фазалық құрамының өзгеруі

Кесте 2 – Төменкөміртекті феррохромды балқыту процесін модельдеу нәтижелері

Силикохром шығыны 31 кг						
Металл						
T°C	Cr <sub>3</sub> P	Fe	Cr	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	CaS	Σ
300	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
400	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
500	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
600	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
700	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
800	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
900	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
1000	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
1100	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
1200	0.078255	16.03283	40.28583	0.20649	0.089186	56.69258
1300	0.078255	16.03283	40.28583	0.206467	0.089186	56.69256
1400	0.078255	16.03283	40.28583	0.206467	0.089186	56.69256
1500	0.078255	16.03283	40.28605	0.206378	0.089186	56.69269
1600	0.078255	16.03283	40.28649	0.206022	0.089186	56.69278
1700	0.078255	16.03283	40.28805	0.204642	0.089186	56.69296



1800	0.078255	16.03283	40.29406	0.199388	0.089186	56.69372
1900	0.078255	16.0328	40.32857	0.17	0.089186	56.69881
2000	0.078255	16.03278	40.52738	2.55E-28	0.089186	56.7276
2050	0.078255	16.03276	40.52738	2.55E-28	0.089186	56.72758
2100	0.078255	16.03271	40.52716	2.55E-28	0.089186	56.72731
2150	0.078232	16.03262	40.52671	5.12E-27	0.089186	56.72675
2200	0.07821	16.03251	40.52627	5.12E-27	0.089163	56.72615
2250	1.01E-22	16.03234	40.62712	8.91E-29	0.089119	56.74857
2300	2.39E-27	16.03209	40.62623	5.12E-27	0.089074	56.74739
2350	4.81E-26	16.03169	40.62467	1.03E-25	0.088963	56.74532
2400	2.39E-27	16.03109	40.62222	5.12E-27	0.088785	56.74209
2450	1.19E-28	16.03018	40.61888	2.55E-28	0.088473	56.73753
2500	4.16E-29	16.02877	40.61376	8.91E-29	0.087894	56.73043
2550	4.16E-29	16.02648	40.60552	8.91E-29	0.086848	56.71885
2600	4.16E-29	16.02245	40.59127	8.91E-29	0.084778	56.6985
2650	4.16E-29	16.01426	40.56278	8.91E-29	0.080102	56.65714
2700	4.16E-29	15.99095	40.48241	8.91E-29	0.065765	56.53912
2750	4.16E-29	15.78613	39.75418	8.91E-29	1.61E-29	55.54031
2800	4.16E-29	1.832425	1.16E-29	8.91E-29	1.61E-29	1.832425
2850	4.16E-29	2.62E-26	1.16E-29	8.91E-29	1.61E-29	2.64E-26
2900	4.16E-29	1.24E-29	1.16E-29	8.91E-29	1.61E-29	1.71E-28
2950	4.16E-29	1.24E-29	1.16E-29	8.91E-29	1.61E-29	1.71E-28
3000	4.16E-29	1.24E-29	1.16E-29	8.91E-29	1.61E-29	1.71E-28

Кесте 3 – Төменкөміртекті феррохромды балқыту процесін модельдеу нәтижелері

Силикохром шығыны 31 кг											
Шлак											
T°C	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ca <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MgAl <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	CaO	Ca <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Σ
300	113.9706	6.02E-29	3.52E-29	4.05E-29	1.36597	7.120382	15.0622	11.49135	16.91713	6.91E-29	165.9277
400	113.9706	6.02E-29	12.76555	4.05E-29	1.36597	7.120382	18.31775	1.23E-22	12.38739	6.91E-29	165.9277
500	113.9706	5.63E-22	12.76555	3.79E-22	1.36597	7.120382	18.31775	2.96E-22	12.38739	6.46E-22	165.9277
600	113.9706	5.63E-22	12.76555	3.79E-22	1.36597	7.120382	18.31775	2.96E-22	12.38739	6.46E-22	165.9277
700	113.9706	5.63E-22	12.76555	3.79E-22	1.36597	7.120382	18.31775	2.96E-22	12.38739	6.46E-22	165.9277
800	113.9706	2.8E-23	12.76555	1.89E-23	1.36597	7.120382	18.31775	1.48E-23	12.38739	3.22E-23	165.9277
900	113.9706	2.8E-23	12.76555	1.89E-23	1.36597	7.120382	18.31775	1.48E-23	12.38739	3.22E-23	165.9277
1000	113.9706	2.8E-23	12.76555	1.89E-23	1.36597	7.120382	18.31775	1.48E-23	12.38739	3.22E-23	165.9277
1100	113.9706	21.82504	1.64E-23	1.89E-23	1.36597	7.120382	18.31775	1.48E-23	3.327898	3.22E-23	165.9277
1200	113.9706	21.82504	8.16E-25	9.39E-25	1.36597	7.120382	18.31775	7.35E-25	3.327898	1.6E-24	165.9277
1300	113.9706	21.82504	4.06E-26	4.67E-26	1.36597	7.120382	18.31775	3.66E-26	3.327898	7.97E-26	165.9277
1400	113.9706	21.82504	2.02E-27	1.30321	2.44E-27	7.120359	19.1846	1.82E-27	2.523803	3.97E-27	165.9276
1500	113.9706	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	7.120337	19.1846	9.07E-29	2.523803	1.98E-28	165.9276
1600	113.9706	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	7.120204	19.1846	9.07E-29	2.523803	1.98E-28	165.9275
1700	113.9706	21.82504	3.52E-29	1.30321	4.24E-29	7.119669	19.1846	3.17E-29	2.523803	6.91E-29	165.927
1800	113.9706	21.82504	3.52E-29	1.30321	4.24E-29	7.117666	19.1846	3.17E-29	2.523803	6.91E-29	165.925
1900	113.9706	21.82504	3.52E-29	1.30321	4.24E-29	7.10649	19.18458	3.17E-29	2.523803	6.91E-29	165.9138
2000	113.9706	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	7.041815	19.18451	9.07E-29	2.523803	1.98E-28	165.849
2050	113.9706	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	7.041838	19.18445	9.07E-29	2.523803	1.98E-28	165.849
2100	113.9706	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	7.041927	19.18436	9.07E-29	2.523803	1.98E-28	165.849
2150	113.9706	21.82504	2.02E-27	1.30321	2.44E-27	7.042038	19.18422	1.82E-27	2.523825	3.97E-27	165.849
2200	113.9706	21.82504	2.02E-27	1.30321	2.44E-27	7.042238	19.184	1.82E-27	2.523825	3.97E-27	165.8489
2250	113.9706	21.82504	3.52E-29	1.30321	4.24E-29	6.989564	19.18369	3.17E-29	2.488672	0.064852	165.8257
2300	113.9706	21.82504	2.02E-27	1.30321	2.44E-27	6.990009	19.18324	1.82E-27	2.488716	0.06483	165.8257
2350	113.9706	21.82504	4.06E-26	1.30321	4.9E-26	6.990633	19.1826	3.66E-26	2.488828	0.064785	165.8257
2400	113.9706	21.82504	2.02E-27	1.30321	2.44E-27	6.991546	19.18166	1.82E-27	2.488983	0.064719	165.8258
2450	113.9704	21.82504	1.01E-28	1.30321	1.21E-28	6.992837	19.18026	9.07E-29	2.489251	0.064652	165.8257
2500	113.9704	21.82504	3.52E-29	1.303188	4.24E-29	6.994685	19.17812	3.17E-29	2.489718	0.06454	165.8257
2550	113.9704	21.82504	3.52E-29	1.303166	4.24E-29	6.997445	19.17474	3.17E-29	2.490609	0.064362	165.8258
2600	113.9704	21.82504	3.52E-29	1.303144	4.24E-29	7.001853	19.16891	3.17E-29	2.492301	0.064073	165.8257
2650	113.97	21.82504	3.52E-29	1.303077	4.24E-29	7.010046	19.15717	3.17E-29	2.496108	0.063494	165.8249
2700	113.9693	21.82504	3.52E-29	1.302899	4.24E-29	7.031508	19.12398	3.17E-29	2.507773	0.061936	165.8224

2750	113.9622	21.82502	3.52E-29	1.301095	4.24E-29	7.260973	18.83231	3.17E-29	2.563453	0.048622	165.7936
2800	113.5182	21.82393	3.52E-29	1.175888	4.24E-29	20.86174	2.670227	3.17E-29	2.478831	6.91E-29	162.5289
2850	113.4132	21.8237	3.52E-29	1.125284	4.24E-29	19.95953	1.138753	3.17E-29	2.508775	6.91E-29	159.9692
2900	113.2885	21.82341	3.52E-29	1.064261	4.24E-29	17.47647	1.43E-21	3.17E-29	2.549338	6.91E-29	156.202
2950	113.0516	21.82288	3.52E-29	0.988478	4.24E-29	11.73232	8.97E-30	3.17E-29	2.668312	6.91E-29	150.2636
3000	112.7286	21.82208	3.52E-29	0.885044	4.24E-29	2.913717	8.97E-30	3.17E-29	2.841229	6.91E-29	141.1906

### Нәтижелер мен талқылау

Бұл реакциялардың термодинамикалық сипаттамалары бөлме температурасында  $\Delta G_T^0$  теріс мәнге ие екенін көрсетеді, яғни, бұл реакциялардың пайда болу мүмкіндігі бар, бұл есептеулердің нәтижелерімен расталады.

Барлық есептеу нұсқаларында металл мен шлақтың соңғы құрамы бөлме температурасында қалыптасады. Металлдың құрамы 2250 К жоғары температурада кейбір өзгерістерге ұшырайды, бұл кезде металл компоненттерінің газ фазасына өту процесі басталады.

Бұл температура диапазонында шлақтың құрамы да аздап өзгереді. Негізгі шлак фазасы дикальций силикаты  $2CaO \cdot SiO_2$ .

Кремнийдің оттегімен тотығуын есепке алмай жүргізілген есептеулер силикохромның кремнийді пайдалану коэффициентін ескере отырғанда жүргізіліп есептелген деректерден қатты алшақтайды. Құрамы әртүрлі силикохроммен жүргізілген есептеулер тізбегі металдағы силикохромды тұтынудың жоғарылауымен кремний мөлшері артады, ал жетіспеушілік кезінде металдағы хром мөлшері азаяды. Ал хромның толық тотықсыздануын қамтамасыз ететін силикохромды тұтыну кезінде шлақтың құрамы технологиялық есептеулермен көрсетілгеннен айтарлықтай ерекшеленеді. Шлақтың негізділігі 1,85 орнына 2,0 және одан жоғары болады.

Феррохром алу процесінің термодинамикалық талдауы төменкөміртекті феррохромды балқытудың нақты процесіне жақындау үшін есептеулер бойынша артық кремнийді тотықтыру үшін жұмыс аймағына оттегін енгізу арқылы кремнийді пайдалану дәрежесін ескеру қажет екенін көрсетті.

Термодинамикалық талдау негізінде сонымен қатар технологиялық температураны таңдау (1750–1800 °С және одан жоғары) балқудың кинетикалық жағдайларымен, алынған металдың және шлактардың балқу температурасымен байланысты екендігі көрсетілген. Сондықтан бор оксидінің болуы шлақты ыдыраудан тұрақтандырумен қатар, оның балқу температурасын төмендетеді, ал төмен температуралы бор фазалары әсерінен сұйық фазаның ерте пайда болуы оның реакцияларының ығысуын қамтамасыз етеді деп күтілуде. Ол хромды кремний арқылы төмен температуралы аймаққа дейін қалпына келтіруді қамтамасыздандырады. Бұл ережелердің барлығы технологиялық параметрлерді сынау бойынша жоғары температуралық тәжірибелік жұмыстар кезінде жүзеге асырылатын болады.

### Қорытынды

Жалпы алғанда, есептеу-теориялық талдау және термодинамикалық модельдеу тотықсыздандырғыш ретінде боры бар силикохромды қолданудың тиімділігін көрсетті. Силикохромдағы бордың берілген мөлшері (0,3–0,7 %) қожда 0,3–0,5 %  $B_2O_3$  болуын қамтамасыз ететіні көрсетілген, Бұл ыдыраудан жоғары негізді шлактарды тұрақтандырудың маңызды мәселесін шешуге жеткілікті. Сонымен бірге олардың физикалық қасиеттерінің де жақсаруы байқалады, бұл ақыр соңында балқу режиміне және шлактан металдың жоғалуына оң әсер етуі керек.

### ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Трусов, Б. Г.** Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий в плазмохимических системах. 3-й международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии [Текст]. // сборник материалов. – Т. I. – Иваново – 2002. – С. 217–220.

2 **Гасик, М. И., Лякишев, Н. П., Емлин, Б. И.** Теория и технология производства ферросплавов [Текст]. // – М. : Metallurgiya, – 1988. – 784 с.

3 **Белов Г. В., Трусов, Б. Г.** Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем [Текст]. // – М. : МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2013. – 96 с.

4 **Шабанов, Е. Ж., Мұздыбаев, Д. Р., Байсанов А. С., Жакудаева А. К., Төлеукадыр, Р. Т.** Анализ термодинамических расчетов выплавки кремний-алюминийхромового ферросплава, выполненных с использованием программного комплекса «ТЕРРА» [Текст]. // – Наука и техника Казахстана, – 2022. – С. 81-86.

5 **Пупышев, А. А.** Термодинамическое моделирование термодинамических процессов в спектральных источниках [Текст]. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, – 2007. – 85 с.

6 **Моисеев, Г. К., Ватолин, Н. А., Маршук, Л. А., Ильиных, Н. И.** Температурные зависимости приведенной энергии Гиббса некоторых неорганических веществ (альтернативный банк данных АСТРА. OWN) [Текст]. – Екатеринбург: УРО РАН, – 1997. – 230 с.

7 **Удалов, Ю. П.** Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ [Текст]. // уч. Пособие. – СПб. : СПбГТИ(ТУ). – 2012. – 147 с.

8 **Сарекенов, К. З., Акбердин, А. А., Конуров, У., Ким, А. С., Султангазиев, Р. Б.** Компьютерная программа для анализа и управления доменным процессом [Текст]. // Вестник Казахской национальной академии естественных наук. – 2014. – № 1. – С. 44–47.

9 **Привалов, О. Е., Платонов, В. Ю., Головачев Н. П., Такенов, Т. Д.** Производственный опыт освоения технологии выплавки ферросиликохрома на мощных печах типа РКЗ-63И1 [Текст]. // Физико-хим. и технол. вопросы метал. производства Казахстана : Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты. ғыл. еңб. жин. – Алматы, – 2002. – С. 206–208.

10 **Акбердин, А. А., Гриненко, В. И., Ким, А. С., Есенжулов, А. Б., Конуров, У. К., Сарекенов, К. З.** Производство средне- и низкоуглеродистого феррохрома с использованием боратовых руд [Текст]. // Физико-хим. и технол. вопросы метал. производства Казахстана : Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты. ғыл. еңб. жин. – Алматы, – 2002. – С. 62–73.

## REFERENCES

1 **Trusov, B. G.** Programmная sistema TERRA dlya modelirovaniya fazovy`x i ximicheskix ravnovesij v plazmoximicheskix sistemax. 3-j mezhdunarodny`j simpozium po teoreticheskoy i prikladnoj plazmoximii [TERRA software system for modeling phase and chemical equilibria in plasma-chemical systems. 3rd International Symposium on Theoretical and Applied Plasma Chemistry] [Text]. // collection of materials. – T. I. – Ivanovo– 2002. – P. 217–220.

2 **Gasik, M. I., Lyakishev, N. P., Emlin, B. I.** Teoriya i texnologiya proizvodstva ferrosplavov [Theory and technology of ferroalloy production] [Text]. // – Moscow : Metallurgiya, – 1988. – 784 p.

3 **Belov, G. V., Trusov, B. G.** Termodinamicheskoe modelirovanie ximicheski reagiruyushhix sistem [Thermodynamic modeling of chemically reacting systems] [Text]. // – Moscow : MSTU named after N. E. Bauman, – 2013. – 96 p.

4 **Shabanov, E. Zh., Mūzdybaev, D. R., Bajsanov, A. S., Zhakudaeva A. K., Töleuqadyr, R. T.** Analiz termodinamicheskix racchetov vy`plavki kremnij-alyuminijxromovogo ferrocplava, vy`polnenny`x s icpol`zovaniem programmno kompleksa «TERRA» [Analysis of thermodynamic calculations for smelting silicon-aluminum-chromium ferroalloy, performed using the program ogo complex «TERRA»] [Text]. // – Science and technology of Kazakhstan, – 2022. – P. 81–86.

5 **Pupy`shev, A. A.** Termodinamicheskoe modelirovanie termoximicheskix processov v spektral`ny`x istochnikax [Thermodynamic modeling of thermochemical processes in spectral sources] [Text]. – Ekaterinburg: State Educational Institution of Higher Professional Education USTU-UPI, – 2007. – 85 p.

6 **Moiseev, G. K., Vatolin, N. A., Marshuk, L. A., Il`iny`x, N. I.** Temperaturny`e zavisimosti privedennoj e`nergii Gibbса nekotory`x neorganicheskix veshhestv (al`ternativny`j bank danny`x ASTRA. OWN) [Temperature dependences of the reduced Gibbs energy of some inorganic substances (alternative data bank ASTRA. OWN)] [Text]. – Ekaterinburg : URO RAN, – 1997. – 230 p.

7 **Udalov, Yu. P.** Primenenie programmny`x kompleksov vy`chislitel`noj i geometricheskoj termodinamiki v proektirovanii texnologicheskix processov neorganicheskix veshhestv [Application of software systems of computational and geometric thermodynamics in the design of technological processes of inorganic substances] [Text]. // student Benefit. - St. Petersburg : SPbGTI (TU). – 2012. – 147 p.

8 **Sarekenov, K. Z., Akberdin, A. A., Konurov, U., Kim, A. S., Sultangaziev, R. B.** Komp`yuternaya programma dlya analiza i upravleniya domenny`m processom [Computer program for analysis and control of the blast furnace process] [Text]. // Bulletin of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences. – 2014. – № 1. – P. 44–47.

9 **Privalov, O. E., Platonov, V. Yu., Golovachev, N. P., Takenov, T. D.** Proizvodstvenny`j opy`t osvoeniya texnologii vy`plavki ferrosilikoxroma na moshhny`x pechax tipа RKZ-63I1 [Industrial experience in mastering the technology of ferrosilicochrome smelting on powerful furnaces of the RKZ-63I1 type] [Text]. // Physico-chemical. and technol. metal questions produced in Kazakhstan: Zh. Abishev atyndagy chemistry-metallurgy institutes. Gyl. eb. gin – Almaty`, – 2002. – P. 206–208.

10 **Akberdin, A. A., Grinenko V. I., Kim, A. S., Esenzhulov, A. B., Konurov, U. K., Sarekenov, K. Z.** Proizvodstvo sredne- i nizkouglerodistogo ferroxxroma s ispol`zovaniem boratovy`x rud [Production of medium- and low-carbon ferrochrome using borates rud] [Text]. // Physico-chemical. and technol. metal questions produced in Kazakhstan: Zh. Abishev atyndagy chemistry-metallurgy institutes. Gyl. eb. gin – Almaty`, – 2002. – P. 62–73.

16.10.2023 ж. баспаға түсті.

14.03.2023 ж. түзетулерімен түсті.

19.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. А. Акбердин<sup>2</sup>, А. С. Ким<sup>2</sup>, Р. Б. Султангазиев<sup>1</sup>, О. В. Заякин<sup>3</sup>, \*Г. Х. Адамова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,  
Республика Казахстан, г. Караганда.

<sup>2</sup> Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева,

Республика Казахстан, г. Караганда.

<sup>3</sup>Институт металлургии Уральского отделения РАН,

Российская Федерация, г. Екатеринбург.

Поступило в редакцию 16.10.2023

Поступило с исправлениями 14.03.2023

Принято в печать 19.02.2024

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРСОДЕРЖАЩЕГО СИЛИКОХРОМА

*В данной статье показаны исследовательские работы, основанные на моделировании, которое является инструментом анализа существующих технологических процессов и новых технологических процессов. Благодаря своей эффективности он широко использовался для разработки новых процессов и металлов. В данной работе методом полного термодинамического анализа смоделировано технологический процесс плавки силикохрома с заданным содержанием бора, который используется в качестве комплексного восстановителя при выплавке низкоуглеродистых марок феррохрома. Изучено влияние состава и температуры шихты на химический и фазовый состав продуктов плавки, определена степень перехода элементов шихты в металл и найдены оптимальные условия получения сплава. На основе термодинамического анализа также показано, что выбор температуры процесса (1750-1800 °С и выше) связан с кинетическими условиями плавления, температурой плавления получаемого металла и шлака. В целом расчетно-теоретический анализ и термодинамическое моделирование показали эффективность использования силикохрома с бором в качестве восстановителя. Показано, что данное количество бора в силикохроме (0,3-0,7%) обеспечивает в шлаке 0,3-0,5% В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>. Этого достаточно для решения важной задачи стабилизации высокоосновных шлаков от разложения. При этом происходит улучшение их физических свойств, что в конечном итоге должно положительно сказаться на режиме плавки и потерях металла из шлака.*

*Ключевые слова: TERRA, термодинамическое моделирование, бор, математическое планирование, шлак, хром.*

**A. A. Akberdin<sup>2</sup>, A. S. Kim<sup>2</sup>, R. B. Sultangaziev<sup>1</sup>, O. V. Zayakin<sup>3</sup>, \*G. H. Adamova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Kazakhstan, Karaganda

<sup>2</sup>Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Kazakhstan, Karaganda

<sup>3</sup>Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Russian Federation, Ekaterinburg.

Received 16.10.2023

Received in revised form 14.03.2023

Accepted for publication 19.02.2024

**THERMODYNAMIC MODELING OF THE PROCESS  
OF Smelting LOW-CARBON  
FERROCHROMIUM USING BORON-CONTAINING SILICOCHROME**

*This article shows research work based on modeling, which is a tool for analyzing existing technological processes and new technological processes. Due to its effectiveness, it has been widely used to develop new processes and metals. In this work, using the method of complete thermodynamic analysis, we simulated the technological process of melting silicon-chrome with a given boron content, which is used as a complex reducing agent in the smelting of low-carbon grades of ferrochrome. The influence of the composition and temperature of the charge on the chemical and phase composition of the smelting products was studied, the degree of transition of the charge elements into metal was determined, and the optimal conditions for producing the alloy were found. Based on thermodynamic analysis, it is also shown that the choice of process temperature (1750-1800 °C and above) is associated with the kinetic conditions of melting, the melting temperature of the resulting metal and slag. In general, computational and theoretical analysis and thermodynamic modeling showed the effectiveness of using silochrome with boron as a reducing agent. It has been shown that a given amount of boron in silicon chrome (0.3-0.7%) provides 0.3-0.5% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the slag. This is sufficient to solve the important problem of stabilizing highly basic slags from decomposition. At the same time, their physical properties improve, which ultimately should have a positive effect on the melting mode and metal losses from the slag.*

*Keywords: TERRA, thermodynamic modeling, chalk, mathematical planning, slag, chromium.*

FTAMP 53.31.19

**1\*Ж. Н. АТАМБАЕВ, <sup>1</sup>СВ. С. КВОН, <sup>2</sup>К. Ю. ОКИШЕВ**

<sup>1</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2</sup>Урал Федералдық университеті, Ресей Федерациясы, Екатеринбург қ.

\*e-mail: [atambaev.jasulan@mail.ru](mailto:atambaev.jasulan@mail.ru)

### **ТИТАН КАРБИДИМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҮЙКЕЛІСКЕ ҚАРСЫ ШОЙЫННЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Жұмыстың мақсаты өнеркәсіптік жағдайда өндіріп алған үйкеліске қарсы шойынның қасиеттеріне титан карбидін енгізудің жағымды әсерін зерттеумен зертханалық жағдайда алынған деректерді растау болып саналады. Аталған шойынның қаттылық пен жоғары беріктік қасиеттеріне түрлі қоспалаушы заттардың құйылманың, оның ішінде шойын құрылымдағы графит фазасының қалыптасуындағы әсері келтірілген. Титан карбидімен модификацияланған АЧС-3 маркалы үйкеліске қарсы шойыннан жасалған үлгілермен жүргізілген сынақтар нәтижелері ұсынылған. Сынақтар жүргізу үшін тәжірибелік үлгілер антифрикациялық шойындардан құймалар алудың алдына ала әзірленген технологиясымен өнеркәсіптік сынақтар жүргізу шеңберінде «Пархоменко атындағы Қарағанды машина жасау зауыты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің өндірістік алаңында алынды. Микроқұрылымдық зерттеу жүргізу үшін дайындалған микрошлифтер тазартылып, тиісті сұйықтармен өңделгеннен кейін сынақтарға ұшыратылды. Үлгілердің микроқаттылығы, үйкеліс коэффициенті зерттелді, сонымен қатар үлгілер құрылымының құрамы талданды. Зерттеу барысында модификатордың әсерін бағалау үшін қарапайым әдіспен модификатор қосусыз өндіріп алынған үлгілердің сынақ көрсеткіштері салыстырылған. Құйылып алынған шойын үлгілерінің құрылымдық талдауларынан, қоспалаушы заттардың бір келкі емес таралуы байқалады. Зерттеулер көрсеткендей, құрылымда ерімеген титан карбиді бөлшектері бар. Өңделген үлгілерде микроқаттылық біршама артады, бірақ үйкеліс коэффициенті төмендейді. Бұл факт алдыңғы зерттеулерде алынған нәтижелерді растайды.*

*Кілтті сөздер. Үйкеліске қарсы шойын, титан карбиді, микроқаттылық, құрылым, үйкеліс.*

### **Кіріспе**

Үйкеліске қарсы шойындардан көмір өндіретін, құрылыс, жол машиналары, ауылшаруашылық машиналары мен тракторлар, экскаваторлар, турбиналар, компрессорлар және басқа да үйкеліс жағдайында жұмыс істейтін әртүрлі бөлшектер (сырғанау мойынтірекері, төлкелер, роликтер және т. б.) жасалады. Шынықтырылған және қалыпқа келтірілген болат біліктермен жұптастырылған бөлшектер АЧС-1 және АЧС-3 маркалы шойындардан жасалады, ал термиялық өңделмеген біліктермен жұптастырып жұмыс атқару үшін АЧС-3 маркалы шойындар қолданылады (МЕМСТ 1585-85).

АЧС-1 – АЧС-4 маркалы шойындар негізінен мыс, хром, никель, титан немесе сурьманың шамалы қоспаларымен легіренуіне байланысты металл негізінің перлит құрылымына ие болады. Осы шойындардың құрамында 0,15-0,40 мас.% фосфордың болуы олардың құрылымында жоғары қатты фосфидті эвтектиканың қалыптасуын қамтамасыз етеді.

Микрорельефтің сақталуы және үйкеліс бетіндегі композициялық құрылымның сенімді жұмысы фазалардың механикалық қасиеттеріне және карбидтердің матрицада үгілмей сенімді сақталуына байланысты. Карбидті фазалар жоғары қаттылықпен және жоғары беріктікпен сипатталады. Қаттылық пен беріктіктің ең жоғары мәндері МС (яғни VC және TiC) типті карбидтерге тән. Қорытпа құрылымында мұндай карбидтердің болуы бірнеше әсерді қамтамасыз етеді:

- үйкеліс бетінде айқын микрорельефтің пайда болуы, бұл карбидтер мен матрицаның қасиеттеріндегі күрт айырмашылыққа ғана емес, сонымен қатар композициялық құрылымның қалыптасуын қамтамасыз ететін легіренген шойындардағы құрылымның пайда болу ерекшеліктеріне байланысты [1; 2; 3; 4];

- микрорельефтің болуына және карбидті фазалар түзетін шығыңқы тұстардағы нақты беттік түйіспелердің шағын ауданына байланысты салыстырмалы түрде төмен үйкеліс коэффициенті [5; 6];

- карбидтердің жоғары қаттылығымен және құрылымның композициялық сипатымен қамтамасыз етілетін жоғары тозуға төзімділік [1, 3];

- карбидті фазалар мен матрица шекарасындағы микро кернеулердің аз деңгейі, бұл МС карбидтерінің жылулық кеңеюінің сызықтық коэффициентінің салыстырмалы түрде аз мөлшерімен байланысты (феррит матрицасынан аз); шығыңқы карбид бөлшектерінің матрицалық компонентпен салыстырғанда үлкен қызуына байланысты карбид пен матрицаның жылу кеңеюінің нақты шамасы өте жақын [3].

Көрсетілген жұмыстарда [1; 2; 3; 4; 5; 6], сондай-ақ біздің зерттеулерде [7; 8] шойынның құрамына аз мөлшерде TiC, VC, WC сияқты қиын балқитын карбидтерді және басқа модификаторлар енгізу қорытпаның қасиеттеріне жағымды әсер ететіндігі



және құрылымның, соның ішінде графит фазасының айтарлықтай өзгеруіне әкелетіні көрсетілген.

Бұл жұмыстың мақсаты – үйкеліске қарсы шойынның өнеркәсіптік үлгілерінің қасиеттеріне титан карбидін енгізудің жағымды әсері туралы зертханалық жағдайда алынған деректерді растау [7; 8].

### Материалдар мен әдістер

«Пархоменко атындағы ҚМЗ» ЖШС (Қарағанды облысы) өнеркәсіптік алаңында АЧС-3 маркалы шойыннан балқытылатын үлгілер бойынша құю технологиясын пайдаланумен диаметрі 20 мм болатын үлгілер құйылып алынды (1 кесте), модификатор ретінде массаның 0,3% мөлшерінде титан карбиді қолданылды, титан карбиді балқыманы құяр алдында шөмішке салынды. Шойынның құрамы Thermo NITON XL2-100G портативтік спектрометрінің көмегімен анықталды.

Кесте 1 – АЧС-3 маркалы шойынның химиялық құрамы

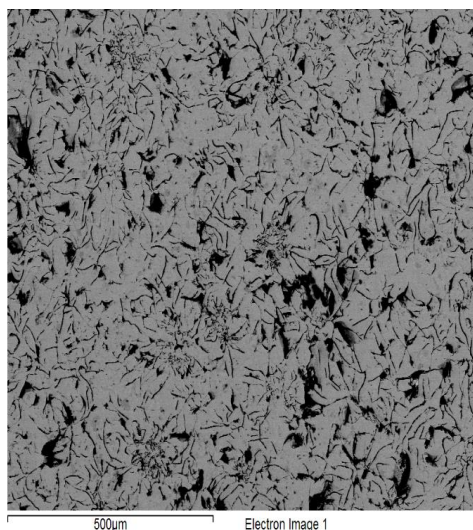
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	P	S
3,2- 3,8	1.7- 2.6	0.3- 0.7	≤0.3	≤0.3	0.0 3-0.1	0.2- 0.5	0.1 5-0.4	≤ 0.12

Толығымен салқындағаннан кейін құймалардан тәжірибелік үлгілер кесіліп алынды, жұкалап ажарлағаннан соң үлгінің беті алмаз қойыртпақ сұйықпен жылтыратылды.

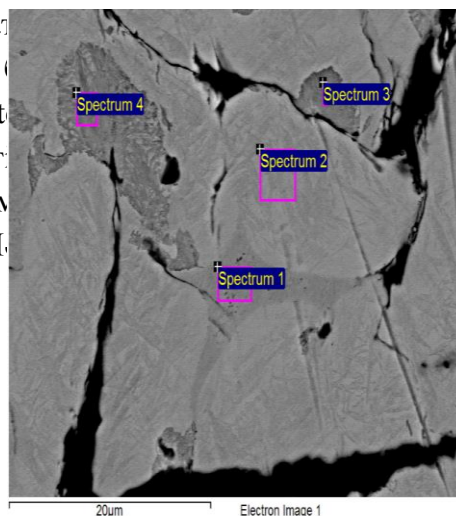
Микроқұрылымды зерттеу үшін микрошлифтер 4 % HNO<sub>3</sub> спирт ерітіндісімен сүртіп тазартылды.

Ғылыми тағылымдамадан өту шеңберінде Б. Ельцин атындағы УРФУ термиялық

ө  
к  
з  
с  
п  
с  
к



ының ма  
анасында  
BSD syst  
лң көмег  
ясы әдісім  
гізілді. Н



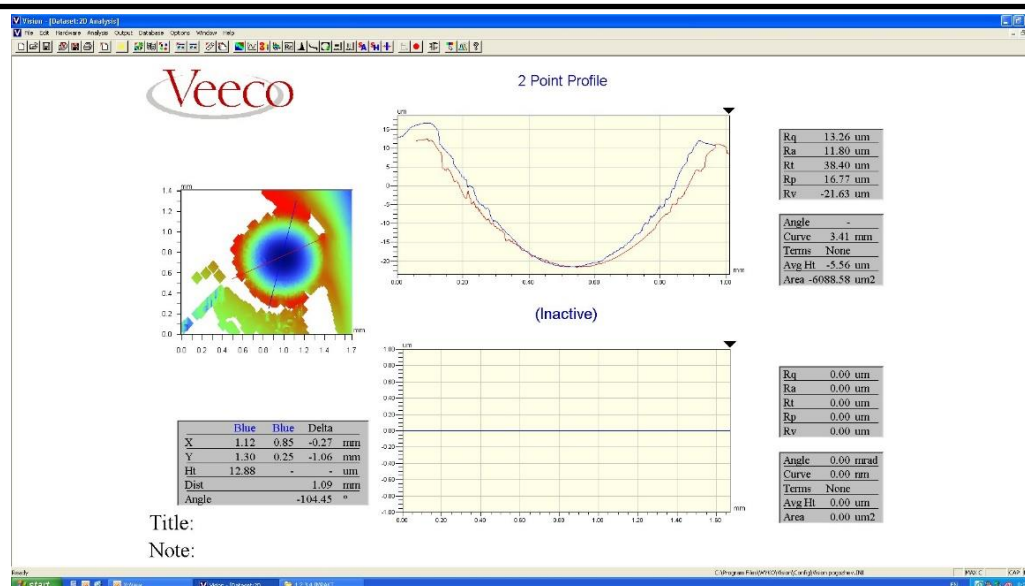
дың  
әрді  
ған  
дау  
есі,  
еде

Сурет 1 – TiC-мен модификацияланған үлгі құрылымы:  
а) - жалпы көрініс; б) - спектр нүктелері

Кесте 2 – Спектрлік талдау нәтижелері

Spectrum	C	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Ni	Ti	Total
Spectrum 1	19.89	0.005	-	-	1.42	-	-	-	-	78.685	100.00
Spectrum 2	3.58	2.05	0.28	0.08	0.77	0.71	90.44	1.77	0.23	0.09	100.00
Spectrum 3	3.26	1.74	0.29	0.04	0.91	0.69	91.11	1.70	0.19	0.07	100.00
Spectrum 4	3.77	1.94	0.25	0.05	0.66	0.61	89.94	2.60	0.14	0.04	100.00
Max.	3.89	2.05	0.31	0.12	3.88	1.50	91.11	2.60	0.21	0,14	
Min.	3.26	0.52	0.25	0.04	0.66	0.61	87.69	1.70	0.14	0,04	

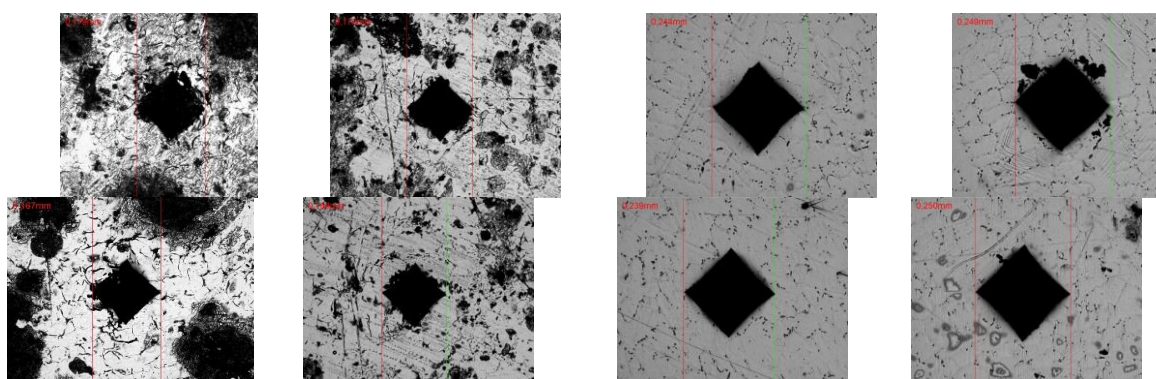
2-кестенің деректерінен көрініп тұрғандай, 1-спектрді қоспағанда, барлық спектрлердің құрамы химиялық талдау деректерімен сәйкес келетін АЧС-3 маркалы шойынның құрамына сәйкес келеді. Тек 1-ші спектрде ерекшелік бар, ол титан мен көміртектің жеткілікті жоғары мөлшерін көрсетеді, бұл құрылымда ерімеген (немесе ішінара еріген TiC) болуын көрсетеді. Бұл факт [3, 5, 7] титанның отқа төзімді карбидтері құю процесінде балқымада ерімейді және металл негізінің дәндерін де, графитті қосындыларды да ұнтақтауға ықпал ететін қосымша кристалдану орталықтарының рөлін атқарады деген болжамды растайды.



Сурет 2 – Трибологиялық сынақ интерфейсінің мысалы

Трибологиялық сынақтар трибометр (CSM Instruments) аспабын пайдаланып ауада жүргізілді. Бұл кезде диаметрі 6 мм WC-ден қарсы дене - шарик; «шарик-диск» схемасы пайдаланылды; жүктеме 5Н; сырғанау жылдамдығы 10 см/с; жүгіру ұзындығы 500 м. 2-суретте трибологиялық сынақ интерфейсінің мысалы келтірілген. Салыстыру үлгісі ретінде модификатор қосылмаған әдеттегі әдіспен өндіріп алынған үлгі қолданылды.

Микроқаттылықты анықтау үшін Durascan-70 автоматты микроқаттылық өлшегіш (EMCO-TEST, Prüfmaschinen GmbH) қолданылды, қаттылық Виккерс бойынша анықталды (3-сурет). Өлшеулер кем дегенде 10 нүктеде жүргізілді, кестеде орташа мән көрсетілген.



а) модификатор қосылған

б) модификатор қосылмаған

Сурет 3 – Микроқаттылықты өлшеу нәтижелері:  
а-модификатор қосылған; б-модификатор қосылмаған;

Үлгі нөмірі	Модификатор мөлшері,%	Үйкеліс коэффициенті	Микро қаттылық, HV
1	0	0,42	171
2	0,3	0,18	245

### Нәтижелер және талқылау

Баяндалған деректерден және 3-кестедегі мәліметтерден көрініп тұрғандай, балқымаға массаның 0,3% мөлшерінде титан карбидін қосу қасиеттерге жағымды әсер етеді, яғни үйкеліс коэффициенті төмендейді, микроқаттылық жоғарылайды, тозу жолдарының көрсеткіштері де жақсарады.

Сондай-ақ осы кестеден де микроқаттылықтың жоғарылауымен үйкеліс коэффициентінің төмендейтін көруге болады. Бұл дерек алдыңғы зерттеулерде де көрсетілгенін атап өту керек [4, 7, 8]. Мұндай қарама қайшылықтың орын алуын титан карбидін енгізу нәтижесінде болатын құрылымдағы өзгерістермен түсіндірілді. Титан карбидін енгізу графит фазасының ауданын біршама азайтуға, сонымен бірге оның ұсақталуына және біркелкі таралуына әкелетіні көрсетілген. Графит фазасының параметрлеріндегі мұндай өзгерістер бір жағынан микроқаттылықтың біршама жоғарылауына, екінші жағынан үйкеліс коэффициентінің төмендеуіне әкеледі, өйткені графиттің біркелкі ұсақ қосындылары майлау рөлін атқарады [8].

### Қорытынды

Алынған нәтижелер АЧС-3 маркалы шойын балқымасына титан карбидін модификатор ретінде массасы бойынша 0,3% мөлшерінде қосу қаттылықтың біршама жоғарылауына және үйкеліс коэффициентінің біршама төмендеуіне әкелетінін көрсетті, бұл шойынның жалпы пайдалану сипаттамаларына жағымды әсер етеді. Сөйтіп, үйкеліс жағдайында жұмыс атқаратын шойындардың пайдалану мерзімі артады. Алынған мәліметтер жұмыста көрсетілген зертханалық сынақтардың нәтижелерімен өзара үйлеседі [7, 8].

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Камынин, В. В., Дмитриева, Н. В., Осипов, Н. Д. Анализ влияния структурных факторов на свойства антифрикционных чугунов [Текст]. // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2021. – № 33, С. 12–17.

2 Dryden, R., Purdy, G. R. The effect of graphite on the mechanical properties of cast irons // Data Acta Metallurgica, ISSN: 0001-6160, Vol: 37, Issue: 7, P. 1999–2006.

3 **Sertucha, K., Lacaze, J., Serrallach, J., Suarez, J., Osuna, R.** Effect of alloying on mechanical properties of as cast ferritic nodular cast irons // *Materials Science and Technology*, 2012, vol. 28 (№ 2). Pp. 184-191 ISSN 0267-0836.

4 **Zykova, A. P.** // Effect of Ultradisperse TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and Cryolite Powders on High-Chromium Cast Iron Hardening // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2016, Vol. 80, iss. 11, P. 1317–1321.

5 **Рудницкий, Ф. И., Куликов, С. А.** Модифицирование чугунов ультрадисперсными нанодобавками [Текст]. // *Литье и металлургия*. – 2017. – № 1 (86), С. 11–15.

6 **Borodianskiy, K., Zinigrad, M.** Nanomaterials Applications in Modern Metallurgical Processes// *Diffusion Foundations*, 2016, № 9, p. 30-41. doi: 10.4028/www.scientific.net/DF.9.30.

7 **Atambayev, Zh. N., Okishev, K. Yu., Aitbayev, N. B.**, Studying titanium carbide effect on cast iron AChS-3 properties// *METALURGIJA* 62 (2023) 2, P. 265–267, ISSN 0543-5846.

8 **Квон, Св. С., Атамбаев, Ж. Н.** К вопросу об образовании графитных включений в серых чугунах [Текст]. // *Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №14)*. Караганда : Изд-во КарГУ. С. 161–163

9 **Квон, Св. С., Атамбаев, Ж. Н.** Исследование структуры чугуна АЧС-3, модифицированного карбидом титана [Текст]. // *Литейное производство, Москва* : Издательский дом «Литейное производство». – 2023. – № 4. – С. 6–9.

10 **Атамбаев, Ж. Н., Квон, С. С., Окишев, К. Ю.** Влияние модификатора на параметры графитной фазы в чугуне марки АЧС-3 [Текст]. // *Сборник статей конференции XXII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых «Уральская школа молодых металлургов»*. Екатеринбург : Научное издание. – 2023. – С. 270–274.

## REFERENCES

1 **Kamy`nin, V .V., Dmitrieva, N. V., Osipov, N. D.** Analiz vliyaniya strukturny`x faktorov na svojstva antifrikcionny`x chugunov [Analysis of the influence of structural factors on the properties of antifriction cast irons] [Text]. // *New materials and technologies in mechanical engineering*. – 2021. – № 33, P. 12–17.

2 **Dryden, R., Purdy, G. R.** The effect of graphite on the mechanical properties of cast irons // *Data Acta Metallurgica*, ISSN: 0001-6160, Vol: 37, Issue: 7, P. 1999–2006.

3 **Sertucha, K., Lacaze, J., Serrallach, J., Suarez, J., Osuna, R.** Effect of alloying on mechanical properties of as cast ferritic nodular cast irons // *Materials Science and Technology*, 2012, vol. 28 (№ 2). Pp. 184-191 ISSN 0267-0836.

4 **Zykova, A. P.** // Effect of Ultradisperse TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and Cryolite Powders on High-Chromium Cast Iron Hardening // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2016, Vol. 80, iss. 11, P. 1317–1321.

5 **Rudniczkij, F. I., Kulikov, S. A.** Modificirovanie chugunov ul`tradispersny`mi nanodobavkami [Modification of cast iron with ultrafine nanoadditives] [Text]. // Casting and metallurgy.– 2017. – № 1 (86), P. 11–15.

6 **Borodianskiy, K., Zinigrad, M.** Nanomaterials Applications in Modern Metallurgical Processes// Diffusion Foundations, 2016, № 9, p. 30-41. doi: 10.4028/www.scientific.net/DF.9.30.

7 **Atambayev, Zh. N., Okishev, K. Yu., Aitbayev, N. B.**, Studying titanium carbide effect on cast iron AChS-3 properties// METALURGIJA 62 (2023) 2, p. 265-267, ISSN 0543-5846.

8 **Kvon, Sv. S., Atambaev, Zh. N.** K voprosu ob obrazovanii grafitny`x vklyuchenij v sery`x chugunax [On the issue of the formation of graphite inclusions in gray cast iron] [Text]. // Proceedings of the international scientific and practical conference «Integration of science, education and production - the basis for the implementation of the Nation's Plan» (Saginov Readings No. 14). Karaganda : Publishing house KarTU. P. 161–163.

9 **Kvon, Sv. S., Atambaev, Zh. N.** Issledovanie struktury` chuguna AChS-3, modificirovannogo karbidom titana [Study of the structure of AChS-3 cast iron modified with titanium carbide] [Text]. // Foundry production, Moscow : Publishing house “Foundry production”– 2023. – № 4. – P. 6–9

10 **Atambaev, Zh. N., Kvon, S. S., Okishev, K. Yu.** Vliyanie modi-fikatora na parametry` grafitnoj fazy` v chugune marki AChS-3 [Influence of the modifier on the parameters of the graphite phase in AChS-3 cast iron] [Text]. // Collection of articles from the conference of the XXII International Scientific and Technical Ural School-Seminar of Metallurgists - Young Scientists «Ural School of Young Metallurgists». Ekaterinburg: Scientific publication. – 2023. – P. 270–274.

11.12.2023 ж. баспаға түсті.

түзетулерімен түсті.

19.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

<sup>1</sup>**Ж. Н. Атамбаев,** <sup>1</sup>**Св. С. Квон,** <sup>2</sup>**К. Ю. Окишев**

<sup>1</sup>Қарагандинский технический университет, Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Российская Федерация, г. Екатеринбург

Поступило в редакцию 11.12.2023

Поступило с исправлениями

Принято в печать 19.02.2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АНТИФРИКЦИОННОГО ЧУГУНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАРБИДОМ ТИТАНА

*Целью работы является подтверждение данных, полученных в лабораторных условиях о благоприятном влиянии введения карбида титана на свойства антифрикционного чугуна на промышленных образцах. Приведено влияние различных легирующих веществ на твердость и высокопрочные свойства указанного чугуна при формировании литья, в том числе графитовой фазы в чугунной отливки. Представлены результаты испытаний с образцами из антифрикционного чугуна марки АЧС-3, модифицированного карбидом титана. Для проведения испытаний опытные образцы были получены на производственной площадке товарищества с ограниченной ответственностью «Карагандинский машиностроительный завод имени Пархоменко» в рамках проведения промышленных испытаний с предварительно разработанной технологией получения отливок из антифрикционных чугунов. Микрошлифы, подготовленные для проведения микроструктурных исследований, после очистки и обработки соответствующими жидкостями подвергались испытаниям. Изучена микротвердость образцов, коэффициент трения, а также проанализирован состав структуры образцов. В ходе исследования для оценки эффекта модификатора сравнивались качественные показатели образцов, полученных простым методом без добавления модификатора. Исследования показывают, что структура содержит нерастворимые частицы карбида титана. В обработанных образцах микротвердость несколько увеличивается, но коэффициент трения уменьшается. Этот факт подтверждает результаты, полученные в предыдущих исследованиях.*

*Ключевые слова. Антифрикционный чугун, карбид титана, микротвердость, структура, трение.*

<sup>1</sup>Zh. N. Atambayev, <sup>1</sup>Sv. S. Kvon, <sup>2</sup>K. Yu. Okishev

<sup>1</sup>Karaganda Technical University, Republic of Kazakhstan, Karaganda

<sup>2</sup>Ural Federal University, Russian Federation, Yekaterinburg

Received 11.12.2023

Received in revised form

Accepted for publication 19.02.2024

## **INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF ANTIFRICTION CAST IRON MODIFIED WITH TITANIUM CARBIDE**

*The purpose of the work is to confirm the data obtained in the laboratory on the beneficial effect of the introduction of titanium carbide on the properties of*

*antifriction cast iron on industrial samples. The influence of various alloying substances on the hardness and high-strength properties of the specified cast iron during the formation of casting, including the graphite phase in cast iron casting, is given. The results of tests with samples of antifriction cast iron of the AChS-3 grade modified with titanium carbide are presented. For testing, prototypes were obtained at the production site of the limited Liability partnership «Karaganda Machine-Building Plant named after Parkhomenko» as part of industrial tests with a pre-developed technology for producing castings from antifriction cast iron. Microslips prepared for microstructural studies were subjected to tests after purification and treatment with appropriate liquids. The microhardness of the samples, the coefficient of friction, and the composition of the structure of the samples were studied. In the course of the study, to assess the effect of the modifier, the qualitative indicators of samples obtained by a simple method without adding a modifier were compared. Studies show that the structure contains insoluble titanium carbide particles. In the treated samples, the microhardness increases slightly, but the coefficient of friction decreases. This fact confirms the results obtained in previous studies.*

*Keywords. Antifriction cast iron, titanium carbide, microhardness, structure, friction.*

MPHTI 53.31.15

**\*A. M. Aubakirov<sup>1</sup>, L. B. Tolymbekova<sup>1</sup>, A. G. Kaliakparov<sup>2</sup>,  
F. Khoshnaw<sup>3</sup>, N. K. Kulumbaev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>ERG Capital Projects, Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>3</sup>De Montfort University, United Kingdom, Leicester

\*email: [almat.aubakirov@list.ru](mailto:almat.aubakirov@list.ru)

## **PRODUCTION OF SPECIAL COKE FROM LOW-CAKING COALS USED IN THE FERROALLOY INDUSTRY**

*This article draws attention to the importance of effective control of the composition and properties of the charge in the production of ferroalloys. The main focus is on carbon reducing agents, which play a key role in this process.*

*The problem of the shortage of special coke in Kazakhstan is considered and solutions are proposed – the using of substandard raw materials for the*



---

*production of reducing agents. In particular, the possibility of using coal from the Zhalyn deposit in a mixture with coal from the Shubarkol deposit is being considered.*

*Researches of differential thermal analysis (DTA) of coals Shubarkol (100%), Zhalyn (100%), as well as in a mixture in a ratio of 50:50% are presented. The detailed characteristic expressed by endothermic and exothermic peaks allows us to fully study the physico-chemical processes occurring as a result of thermal exposure.*

*The conducted studies show that the obtained special coke in a ratio of 50:50% has good performance for reducing agents used in the electrothermy of ferroalloy production.*

*In conclusion, it is emphasized that the use of coal fines helps to reduce the accumulation of coal "wastes", which has a positive effect on the environment. This shows the importance of further research in this area to optimize the ferroalloy production process.*

*Keywords: coals, reducing agent, special coke, coke, production of ferroalloys, low-caking coals, non-caking coals, Zhalyn.*

## **Introduction**

In the electrothermy of ferroalloy production, effective control of the composition and properties of the charge plays a key role in the production process, allowing to ensure stable product quality and optimize production costs [1-5].

In the production of ferroalloys, carbon reducing agents play a special role, which must have good reactivity, high electrical resistivity, the chemical composition of ash corresponding to each alloy, sufficient strength, optimal piece size, good gas permeability and thermal stability, low cost [6-8].

All known works devoted to research on the optimal selection of reducing agents show the prospects of using low-caking and non-caking coals for the production of special coke for the ferroalloy industry. To date, there is a shortage of special coke in Kazakhstan, the bulk of which is purchased abroad with high added value. This is due to insufficient production of special coke at local enterprises and high demand for it from the metallurgical industry [6-13].

At the moment, in the Republic of Kazakhstan, coals from the Shubarkol deposit, which have quite good quality indicators, low sulfur and phosphorus content, high reactivity and electrical resistivity, are widely used for the production of special coke, however, these coals are also used for municipal and energy needs, which carries the possibility of depletion of coal reserves of value to the ferroalloy industry.

The solution to this problem is possible by developing substandard raw materials for the production of reducing agents, with the required quality indicators in the metallurgical industry, allowing to reduce the consumption of coal from the Shubarkol deposit and increase its own coke production, which is also relevant. In addition, in the process of open-pit coal mining, a large amount of coal fines is formed (about up to 50 % of the total production), having characteristics similar in composition to whole, lump coals, which in turn shows the relevance of using coal fines for coke production, thereby reducing deposits of coal "waste" [14-16].

As an alternative to Shubarkol coals, the coals of the Zhalyn deposit of grade G were considered, the characteristics of which are presented in table 1.

Table 1 – Chemical composition of the coal deposits of Zhalyn and Shubarkol

№	Name of indicators	Shubarkol	Zhalyn
1	The mass fraction of total moisture in the working condition of the fuel, $W^r$ , %	8,3	7,0
2	Mass fraction of analytical moisture, $W^a$ , %	1,5	1,4
3	Ash content of the analytical sample, $A^a$ , %	1,3	6,7
4	Ash content for dry condition, $A^d$ , %	1.3	6.8
5	Ash content for the working condition, $A^r$ , %	1.2	6.3
6	The lowest heat of combustion of fuel in working condition, $Q_i^r$ , kcal/kg	6371	6432
7	Higher heat of combustion, kcal/kg	7115	7009
8	Volatile output, %	45,8	43,3

The studied coals of the Zhalyn deposit belong to low-caking coal grade G, which increases interest in obtaining a special coke with high reactivity, which is one of the main criteria in the selection of reducing agents for the ferroalloy industry. However, despite similar indicators with Shubarkol coal, Zhalyn coals have a slightly overestimated phosphorus content, which somewhat complicates its use in the ferroalloy industry.

To solve this problem, it is proposed to mix the coals of the Zhalyn deposit with other types of coals with a low phosphorus content, in this case with the coals of the Shubarkol field, which belongs to the non-caking coals of the D brand.

#### Methods and materials

As part of the research on the production of new types of reducing agents from substandard raw materials, work was carried out in the laboratory of the Department of Metallurgy to obtain a special coke of coal from the Zhalyn and Shubarkol deposits.

In the laboratory of the Department of Metallurgy of Toraighyrov University, researches were conducted on the study of physico-chemical processes as a result of thermal effects on coals on the Synchronous Thermal Analyzer derivatograph (Figure 1), Derivatography is based on a combination of differential thermal analysis (DTA) with thermogravimetric analysis (TGA). On the basis of DTA, thermal processes are considered, which are accompanied by endothermic and exothermic changes, in which it is possible to judge a change in the state of the sample under study and a phase change during heat treatment. The principle of TGA is based on a change in the mass of the sample with a change in temperature.

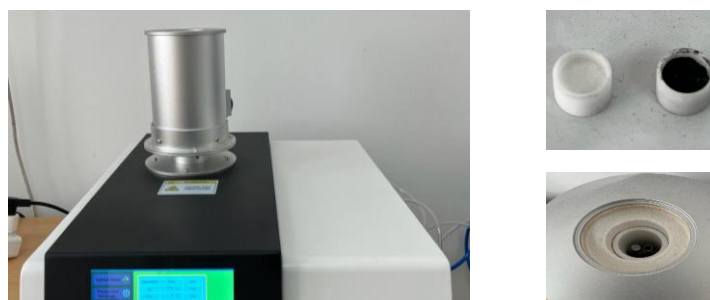




Figure 1 – Derivatograph Synchronous Thermal Analyzer

The work considered the coals of the Shubarkol and Zhalyin deposits at 100 %, as well as their ratios of 50:50 %. These coals were studied in an air atmosphere, the heating rate was 10 °C/min, alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was adopted for the reference substance, the maximum temperature was set to 1150 °C.

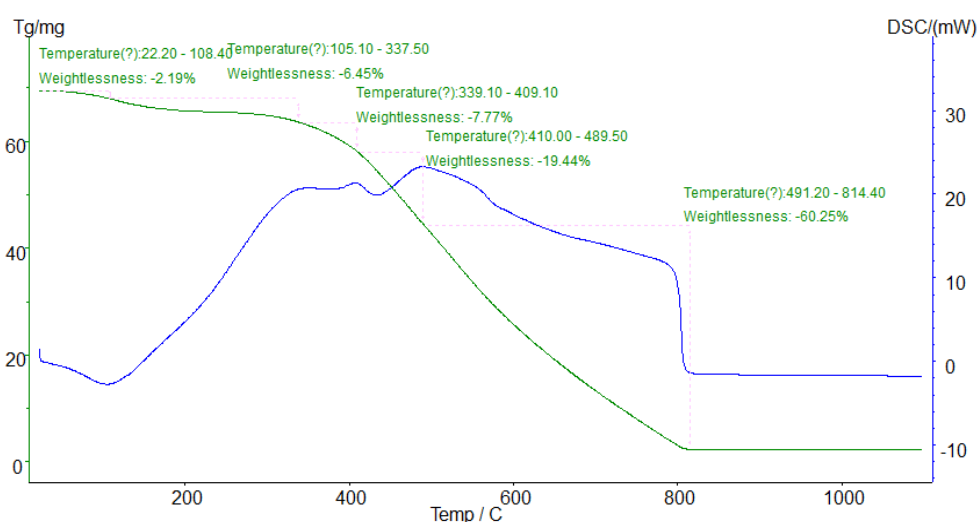


Figure 2 – Derivatogram of Shubarkol coal, 100%

A small endothermic peak, accompanied by heat absorption, occurs to a temperature of 104.9 °C with the removal of hygroscopic moisture, it turns into an exothermic effect to a temperature of 330 °C, when, presumably, the initial stage of coal destruction occurs, which in turn will affect the heat capacity (Figure 2). Further, in the temperature range of 350 and 490 °C, thermal effects associated with the destruction of the coal mass and the cost of heat for the release of volatile substances are traced. The endothermic failure at a temperature of 490 °C characterizes the period of coal degradation and the beginning of the process of semi-coke formation up to 790 °C.

The initial weight was 69.47 mg, the total weight loss as a result of the entire experiment was 95.7 % (Table 2).

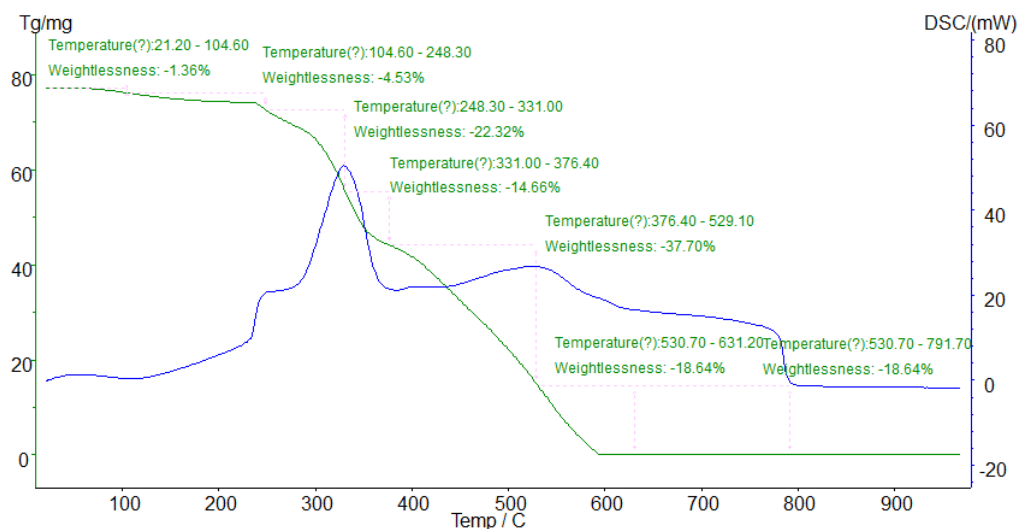


Figure 3 – Derivatogram of coal Zhalyln, 100 %

The derivatogram of the coals of the Zhalyln deposit, shown in Figure 3, is also characterized by a small peak of the endothermic reaction effect, accompanied by heat absorption and removal of hygroscopic moisture in the temperature range 97–130 °C. Further, two peaks of the exothermic reaction are observed at 250 and 330 °C, at which volatile substances are released and solid fuels are destroyed, associated with a change in the structure of coal. The subsequent endothermic peak at a temperature of 377 °C, followed by heat absorption to a temperature of 437 °C, is characterized by the absorption of latent heat of vaporization by boiling resins. The endothermic peak, where CO carbon monoxide is also reduced from CO<sub>2</sub> carbon dioxide and hydrogen (H<sub>2</sub>) is reduced from water vapor, then passes into the phase of exothermic heat release and the continuation of coal destruction and the formation of the coke structure. In the range of 530 to 792 °C, an endothermic decline is observed, accompanied by the final stage of restructuring the structure of the semi-coke.

The initial weight was 77.25 mg, the total weight loss as a result of the entire experiment was 99.21 % (Table 2).

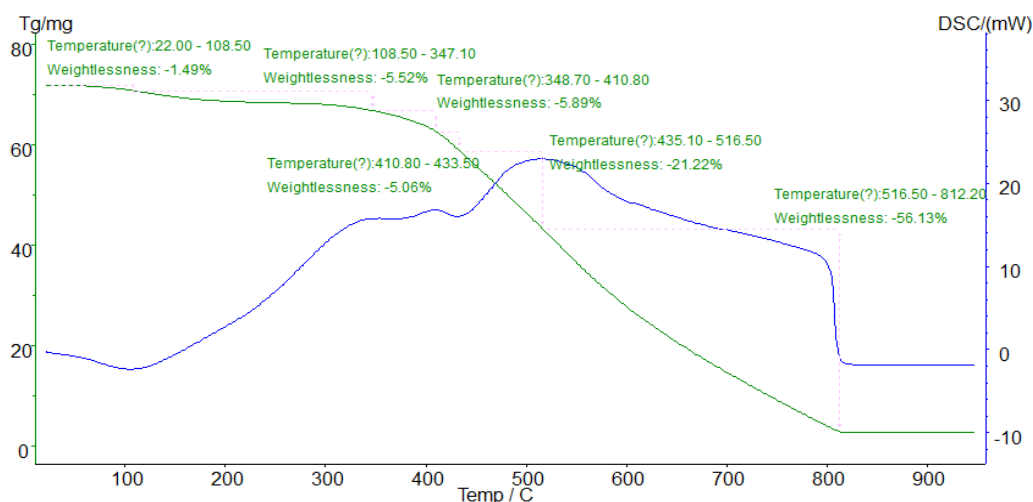


Figure 4 – Derivatogram of Zhalyln and Shubarkol coals, 50:50 %

In comparison with the thermal analysis of Zhalyn coals, thermal bursts of mixed Zhalyn and Shubarkol coals pass without sharp peaks (Figure 4). The initial stage of heating is accompanied by the removal of hygroscopic moisture, which is noticeable at the endothermic peak at a temperature of 108 °C. Further, exothermic growth is observed, explained by the release of volatile components and the primary destruction of the coal mass at temperatures of 347 and 410 °C. At 433 °C, a small endothermic peak is characterized by the absorption of latent heat of vaporization by boiling resins. The exothermic peak at 516 °C indicates further destruction of coal and the beginning of the formation of a semi-coke structure, the release of volatiles and the final stage of formation at a temperature of 812 °C.

The initial weight was 68.94 mg, the total weight loss as a result of the entire experiment was 95.31 % (Table 2).

Table 2 – Distribution of mass losses of gaseous products in specified temperature ranges according to derivatograms

Tempera ture, °C	Shubarkol		Tempera ture, °C	Zhalyn		Tempera ture, °C	Zhalyn + Shubarkol, 50x50	
	mg	%		mg	%		mg	%
22-104	1,36	1,96	22-104	1,05	1,36	22-108	1,12	1,49
104-330	5,54	6,01	104-248	3,5	4,53	108-347	3,97	5,52
330-407	5,62	8,09	248-331	17,24	22,32	349-411	4,51	5,89
407-434	4,04	5,82	331-376	11,33	14,66	411-433	3,64	5,06
434-488	9,62	13,85	376-529	29,12	37,70	435-516	15,57	21,22
488-800	41,66	60,07	530-791	14,4	18,64	516-812	40,39	56,13
Losses	67,84	95,8		76,64	99,21		69,2	95,31

The conducted studies in the oxidizing atmosphere of the air in the case of Shubarkol coal show the expediency of using thermo-oxidative coking. On the contrary, Zhalyn coals differ, which, as a result of pyrolysis, quickly lose mass, accompanied by endothermic effects, which indicate the expediency of using "standard" coking without oxygen access. Differential thermal analysis of a mixture of coals as a result of averaging physico-chemical properties shows the permissibility of pyrolysis in conventional coke batteries without air access.

### Results and discussion

In a previously published work [17], the results of studies on the production of special coke by mixing coals from the Shubarkol and Zhalyn deposits in a ratio of 25 % to 75 % have already been presented. The samples obtained had good indicators for reducing agents used in the electrothermy of ferrous alloys, however, due to the excessive phosphorus content, their use is limited.

To reduce the concentration of harmful substances, tests were carried out on mixing coals in a ratio of 50/50 %. The method of conducting the experiments was as follows. Coal samples with a fraction of 0-3 mm were weighed on TechProm electronic scales. Next, the mixed coal was poured into a coking tank with a retracted tube having a rubber nipple valve for removing gases (Figure 5).

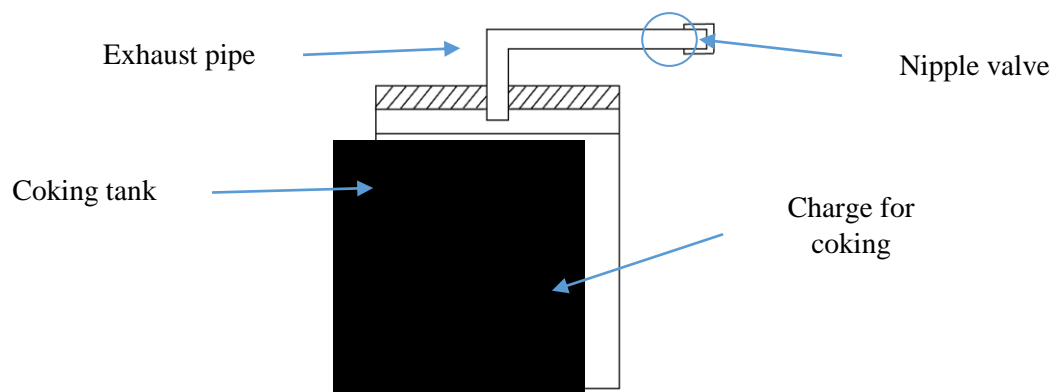


Figure 5 – Coking tank

The coking tank was placed in an electric muffle furnace manufactured by SNOL, with a programmed heating program up to 1150 °C. After reaching the required temperature and cooling, the container was removed from the furnace (Figure 6, a).



a)



b)

Figure 6 – The coking tank (a) and the samples obtained (b)

The obtained samples are shown in Figure 6 (b), they have small traces of salinity on the surface, the structure is porous, they have sufficient strength: when dumped, they break up into separate parts with dimensions of 20-30 mm, then when re-dumped, these fractions retain their integrity. The technical and chemical composition of the obtained special coke is shown below (Table 3), which also shows the conformity of their application.

Table 3 – The technical composition of the samples obtained

№	Name of indicators	Zhalyn and Shubarkol in a 50/50 % ratio
1	$W^r$	2,24
2	$A^d$	9,90
3	$V^{daf}$	4,03

Table 4 – Chemical composition of the ash of the obtained samples, %

Sample	Content, %							
	C	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P
Zhalyn+ Shubarkol, 50/50 %	51,90	44,28	1,90	21,08	17,87	2,43	0,47	0.024

The presented data on the technical and chemical composition of the obtained samples indicate the possibility of their use in the ferroalloy industry, which, accordingly, will be reflected in further studies.

### Conclusions

The results of the conducted research show the expediency of further study of the obtained samples, in particular, comparative indicators of electrical resistivity and reactivity, as well as strength characteristics.

The obtained results of differential thermal analysis of the physico-chemical properties of the studied coals Zhalyn and Shubarkol in a ratio of 50:50 indicate the possibility of averaging their properties, also, averaging the composition allows reducing the phosphorus content, which is not unimportant for the ferroalloy industry.

The samples obtained as a result of mixing two types of coals meet the requirements for reducing agents used in the ferroalloy industry.

In addition, the use of coal fines for coke production makes it possible to reduce the formation of coal waste, thereby reducing the environmental harm caused by the coal industry.

### Acknowledgments

The authors express gratitude to Kazakhstan Electrolysis Plant JSC for providing sponsorship in the acquisition of a "Synchronous Thermal Analyzer" derivatograph for the Department of Metallurgy, Toraigrov University for the development of science.

### REFERENCES

- 1 **Мизин, В. Г., Серов, Г. В.** Углеродистые восстановители для ферросплавов // М. : Металлург. – 1980, – 272 с.
- 2 **Baisanov, S. O., Baisanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliev, D. A., Ospanov, N. I.** Development of smelting technology of refined ferromanganese with special complex reducing agents // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2018. – Vol. 61. – № 9. – P. 689–694 <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-9-689-694>.
- 3 **Zhunossov, A. K., Tolymbekova, L. B., Bykov, P. O., Zayakin, O. V.** Melting Ferrochrome Using Chrome-Ore Briquettes. // *Metallurgist*. – 2023. – №. 67(5-6) – P. 606–613.
- 4 **Zhunossov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. // *Metallurgija*. – 2021. – №. 60 (1-2). – P. 101–103.
- 5 **Никитин, Г. М., Калиакпаров, А. Г.** Основы комплексного подхода при получении конкурентоспособной продукции для предприятий черной металлургии. // *Наука и техника Казахстана*. – 2005. – №.3. – С. 85–89.
- 6 **Шабанов, Е. Ж., Қуатбай, Е. Қ., Махамбетов, Е. Н., Төлеуқадыр, Р. Т.** Жоғары күлді «Сарыадыр» көмірін пайдалана отырып, жоғары көміртекті феррохром балқыту процесін термодинамикалық және эксперименттік модельдеу // *Engineering Journal of Satbayev University*. – 2022. – Т. 144. – № 6. – Б. 11–17.

7 **Ul'eva, G. A., Kim, V. A.** Methods of determining the porosity of special coke // *Coke and Chemistry*. – 2012. – №. 55(5). – P. 167–171. <https://doi.org/10.3103/S1068364X12050092>.

8 **Ulyeva, G. A.** Correlation of Special Coke's Properties with Heating Rate of Coal Batch // *Coke and Chemistry*. – 2022. – №. 65(4). – P. 123–125. <https://doi.org/10.3103/S1068364X22040081>.

9 **Strakhov, V. M., Yedil'baev, B. A., Yedil'baev, E. A., Kaliakparov, A. G.** Steel-Industry Applications of Kazakhstan's Long-Flame Coal and Special Cokes // *Coke and Chemistry* this link is disabled. – 2020. – №. 63(11). – P. 522–532. <https://doi.org/10.3103/S1068364X20110071>.

10 **Parafilov, V. I., Amangeldikyzy, A., Portnov, V. S., Kopobayeva A. N., Maussymbayeva A. D.** Geochemical specialization of the shubarkol deposit coals // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2020. – №. 5. – P. 5–10. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-5/005>.

11 **Нурмуханбетов, Ж. У., Ким, В. А., Толымбеков, М. Ж.** Исследования свойств спецкокса из Шубаркольских углей // *Новости науки Казахстана*. – 2005. – №.2. – С. 41–46.

12 **Strakhov, V. M., Kaliakparov, A. G., Kariev, A. D., Zhumagulov, M. G., Nikiforov, A. S.** Industrial investigation of thermooxidative coking on interlinked gratings // *Coke and Chemistry*. – 2008. – №. 51. – P. 178–183. <https://doi.org/10.3103/S1068364X08050050>.

13 **Strakhov, V. M., Kaliakparov, A. G., Panfilov, V. P., Imanbaev, S. Sh., Aubakirov, A. M.** Coke Quality in Medium-Temperature Coking of Fractionated Long-Flame Coal // *Coke and Chemistry*. – 2022. – №. 65(8). – P. 316–334. <https://doi.org/10.3103/S1068364X22080051>.

14 **Сарыглар, Ч. А., Чысыма, Р. Б.** Основные направления переработки угля // *Фундаментальные исследования*. – 2018. – №. 11. – С. 121–127.

15 **Ушаков, А. Г., Ушакова, Е. С., Боголубова, И. В.** Технологическое оформление схемы совместного использования продуктов переработки угля и органических отходов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2020. – № 1. – С. 85–90.

16 **Литвиненко, Т. А., Камбарова, Г. Б., Сарумсаков, Ш. С.** Утилизация мелких классов углей и улучшение экологической обстановки регионов // *Наука и новые технологии*. – 2013. – № 3. – С. 100–102.

17 **Аубакиров, А. М., Калиакпаров, А. Г., Толымбекова, Л. Б., Капелюшин, Ю. Е., Ким, С. В.** Анализ и оценка качества сырьевой базы для производства специальных видов кокса // *Наука и техника Казахстана*. – 2022. – №3. – P. 76–85. <https://doi.org/10.48081/HMWS9874>

## REFERENCES

1 **Mizin, V. G., Serov, G. V.** Uglerodistyе vosstanoviteli dlya ferrosplavov [Carbon-Based Reducing Agents for Ferroalloys]. // Moscow: Metallurgy. – 1980, – P. 272.

2 **Baisanov, S. O., Baisanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliyev, D. A., Ospanov, N. I.** Development of smelting technology of refined ferromanganese with special complex reducing agents // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2018. – Vol. 61. – № 9. – P. 689–694 <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-9-689-694>.



3 **Zhunossov, A. K., Tolymbekova, L. B., Bykov, P. O., Zayakin, O. V.** Melting Ferrochrome Using Chrome-Ore Briquettes. // *Metallurgist*. – 2023. – №. 67(5-6) – P. 606–613.

4 **Zhunossov, A. K., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. // *Metallurgija*. – 2021. – №. 60 (1-2). – P.101–103.

5 **Nikitin, G. M., Kaliakparov, A. G.** Osnovy kompleksnogo podkhoda pri poluchenii konkurentosposobnoy produktsii dlya predpriyatiy chernoy metallurgii [Basics of an integrated approach in obtaining competitive products for ferrous metallurgy enterprises] // *Nauka i tekhnika Kazakhstana*. – 2005. – №.3. – P.85-89.

6 **Shabanov, Ye. Zh., Kuatbay, Ye. K., Makhambetov, Ye. N., Toleukadur, R. T.** Zhořary` kyldi «Sary`ady`r» kəmirin pajdalana oty`ry`p, zhořary` kəmirtekti ferroxrom balky`tu procesin termodinamikaly`k zhəne e`ksperimenttik model`deu [Thermodynamic and experimental simulation of the selting process of high-carbon ferrochrome with the use of high-ash coal «Saryadyr»] // *Engineering Journal of Satbayev University*. – 2022. – Vol. 144. – № 6. – P. 11–17.

7 **Ul'eva, G. A., Kim, V. A.** Methods of determining the porosity of special coke // *Coke and Chemistry*. – 2012. – №. 55(5). P. 167–171. <https://doi.org/10.3103/S1068364X12050092>.

8 **Ulyeva, G. A.** Correlation of Special Coke's Properties with Heating Rate of Coal Batch // *Coke and Chemistry*. – 2022. – №. 65(4). – P. 123–125. <https://doi.org/10.3103/S1068364X22040081>.

9 **Strakhov, V. M., Yedil'baev, B. A., Yedil'baev, E. A., Kaliakparov, A. G.** Steel-Industry Applications of Kazakhstan's Long-Flame Coal and Special Cokes // *Coke and Chemistry* this link is disabled. – 2020. – №. 63(11). – P. 522–532. <https://doi.org/10.3103/S1068364X20110071>.

10 **Parafilov, V. I., Amangeldikyzy, A., Portnov, V. S., Kopobayeva A. N., Maussymbayeva A. D.** Geochemical specialization of the shubarkol deposit coals // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2020. – №. 5. – P. 5–10. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-5/005>.

11 **Nurmukhanbetov, Zh. U., Kim, V. A., Tolymbekov, M. Zh.** Issledovaniya svoystv spetskoxsa iz shubarkolskikh ugley [Study of properties of special coke from Shubarkol coals] // *Novosti nauki Kazakhstana*. – 2005. – №.2. – P. 41–46.

12 **Strakhov, V. M., Kaliakparov, A. G., Kariev, A. D., Zhumagulov, M. G., Nikiforov, A. S.** Industrial investigation of thermooxidative coking on interlinked gratings // *Coke and Chemistry*. – 2008. – №. 51. – P. 178–183. <https://doi.org/10.3103/S1068364X08050050>.

13 **Strakhov, V. M., Kaliakparov, A. G., Panfilov, V. P., Imanbaev, S. Sh., Aubakirov, A. M.** Coke Quality in Medium-Temperature Coking of Fractionated Long-Flame Coal // *Coke and Chemistry*. – 2022. – №. 65(8). – P. 316–334. <https://doi.org/10.3103/S1068364X22080051>.

14 **Sary`glar, Ch. A., Chy`sy`ma, R. B.** Osnovny`e napravleniya pererabotki uglya [Main directions of coal processing] // *Fundamental`ny`e issledovaniya*. – 2018. – №. 11. P. 121–127.

15 **Ushakov, A. G., Ushakova, E. S., Bogolubova, I. V.** Texnologicheskoe oformlenie sxemy` sovместnogo ispol`zovaniya produktov pererabotki uglya i organicheskix otxodov [Technological design of the scheme of joint use of coal processing products and

organic waste] // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2020. – № 1. – P. 85–90.

16 Litvinenko, T. A., Kambarova, G. B., Sarymsakov, Sh. S. Utilizaciya melkix klassov uglej i uluchshenie e`kologicheskoy obstanovki regionov [Disposal of small classes coals and improve the environmental situation of the regions] // Nauka i novy`e texnologii. – 2013. – № 3. – P. 100–102.

17 Aubakirov, A. M., Kaliakparov, A. G., Toly`mbekova, L. B., Kapelyushin, Yu. E., Kim, S. V. Analiz i ocenka kachestva sy`r`evoy bazy` dlya proizvodstva special`ny`x vidov koksa [Analysis and evaluation of the quality of the raw material base for the production of special types of coke] // Nauka i texnika Kazaxstana. – 2022. – №3. – P. 76–85. <https://doi.org/10.48081/HMWS9874>.

Received 01.03.2024

Received in revised form 03.03.2024

Accepted for publication 06.03.2024

*\*А. М. Аубакиров<sup>1</sup>, Л. Б. Толымбекова<sup>1</sup>, А. Г. Калиакпаров<sup>2</sup>  
F. Khoshnaw<sup>3</sup>, Н. К. Кулумбаев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>2</sup>ERG Capital Projects, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>3</sup>Де Монтфорт университеті, Ұлыбритания, Лестер қ.

01.03.2024 ж. баспаға түсті.

03.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

06.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ФЕРРОҚОРЫТПА ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН АЗ КҮЙЕЖЕНТЕКТЕЛЕТІН КӨМІРДЕН АРНАЙЫ КОКС АЛУ

*Бұл мақала ферроқорытпаларды өндіру процесінде шихтаның құрамы мен қасиеттерін тиімді басқарудың маңыздылығына назар аударады. Бұл процесте шешуші рөл атқаратын көміртекті тотықсыздандырғыштарға баса назар аударылады.*

*Қазақстанда арнайы кокс тапшылығы мәселесі қаралуда және шешу жолдары – қалпына келтіргіштерді өндіру үшін кондициялық емес шикізатты пайдалану ұсынылады. Атап айтқанда, Жалын кен орнының көмірін Шұбаркөл кен орнының көмірімен қоспада пайдалану мүмкіндігі қарастырылуда.*

*Шұбаркөл (100%), Жалын (100%) көмірінің дифференциалды-термиялық талдауы (ДТА), сондай-ақ қоспада 50:50% қатынасында зерттеулер келтіріледі. Эндотермиялық және экзотермиялық шыңдармен көрсетілген егжей-тегжейлі сипаттама термиялық әсер нәтижесінде пайда болатын физика-химиялық процестерді толық зерттеуге мүмкіндік береді.*

*Зерттеулер көрсеткендей, алынған 50:50% арнайы кокс Ферроқорытпа өндірісінің электротермиясында қолданылатын тотықсыздандырғыштар үшін жақсы көрсеткіштерге ие.*

*Қорытындылай келе, көмір қалдықтарын пайдалану қоршаған ортаға жағымды әсер ететін көмір "қалдықтарының" жиналуын азайтуға көмектеседі. Бұл ферроқорытпаларды өндіру процесін оңтайландыру үшін осы саладағы қосымша зерттеулердің маңыздылығын көрсетеді.*

*Кілтті сөздер: көмір, тотықсыздандырғыш, арнайы Кокс, кокс, ферроқорытпа өндірісі, күйежентектелетін көмір, күйежентектелмейтін көмір, Жалын.*

**\*А. М. Аубакиров<sup>1</sup>, Л. Б. Толымбекова<sup>1</sup>, А. Г. Калиакпаров<sup>2</sup>  
F. Khoshnaw<sup>3</sup>, Н. К. Құлумбаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, Павлодар;

<sup>2</sup>ERG Capital Projects, Республика Казахстан, Астана

<sup>3</sup>университет Де Монтфорт, Великобритания, Лестер

Поступило в редакцию 01.03.2024

Поступило с исправлениями 03.03.2024

Принято в печать 06.03.2024

## **ПОЛУЧЕНИЕ СПЕЦКОКСА ИЗ СЛАБОСПЕКАЮЩИХСЯ УГЛЕЙ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Данная статья обращает внимание на важность эффективного управления составом и свойствами шихты в процессе производства ферросплавов. Основной акцент сделан на углеродистых восстановителях, которые играют ключевую роль в этом процессе.*

*Рассматривается проблема нехватки спецкокса в Казахстане и предлагаются пути решения – использование некондиционного сырья для производства восстановителей. В частности, рассматривается возможность использования углей Жалынского месторождения в смеси с углями Шубаркольского месторождения.*

*Приводятся исследования дифференциально-термического анализа (ДТА) углей Шубарколь (100%), Жалын (100%), а также в смеси в соотношении 50:50 %. Детальная характеристика, выраженная эндотермическими и экзотермическими пиками позволяет в полной мере изучить физико-химические процессы протекающие в результате термического воздействия.*

*Проведенные исследования показывают, что полученный спецкокс в соотношении 50:50 % обладает хорошими показателями для восстановителей, используемых в электротермии производства ферросплавов.*

*В заключении, подчеркивается, что использование угольной мелочи помогает снизить накопление угольных "отходов", что положительно сказывается на окружающей среде. Это показывает важность дальнейших исследований в данной области для оптимизации процесса производства ферросплавов.*

*Ключевые слова: угли, восстановитель, спецкокс, кокс, производство ферросплавов, слабоспекающиеся угли, неспекающиеся угли, Жалын.*

МРНТИ 53.37.91

DOI

***P. O. Bykov<sup>1</sup>, \*A. B. Kuandykov<sup>1</sup>, K. Sh. Aryngazin<sup>2</sup>,  
A. B. Kalieva<sup>1</sup>, V. V. Larichkin<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>2</sup>EcostroyNII-PV LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University, Russian Federation, Novosibirsk,

\*e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PROCESSING GRANULAR  
FILTERS FOR PRIMARY ALUMINUM REFINING**

---

*This article presents the results of experimental studies on the involvement in the processing of used filters from ash and slag waste used in the refining of primary aluminum as a filler in the production of concrete for building products.*

*The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the competition «Zhas Galym» under the project IRN AR19175493 «Development of technology for refining primary aluminum with filters with an active surface».*

*The recycling of used grain filters was carried out in three stages: preliminary processing of filter grains to remove aluminum scrap; metallurgical processing of separated aluminum scrap by remelting in an induction crucible furnace and refining using complex technology described by the authors in the work; obtaining a concrete mixture based on crushed waste filter grains, quartz sand and bauxite sludge, screenings from crushing rocks with a fraction of 20 – 30 mm and Portland cement to obtain samples of construction products.*

*According to the test results, the tensile strength of concrete samples of building products is 20.89 – 37.75 MPa, depending on the content of Portland cement (from 20 to 40 %) and corresponds to the class of heavy concrete.*

*Keywords: aluminum, granular filter, ash, waste, recycling.*

## **Introduction**

According to the “Concept for the development of the manufacturing industry of the Republic of Kazakhstan for 2023 – 2029” [1], approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 20, 2018 No. 846, the annual production of aluminum is 262 thousand tons with domestic consumption of 34 thousand tons, 87% goes to primary aluminum is exported (the number of processors is more than 20 enterprises).

The main task of the aluminum cluster in Kazakhstan is to further develop domestic consumption of primary aluminum and maintain the export potential of domestic aluminum.

One of the most important factors that will have a great influence on the development of the metallurgical industry in general and aluminum production in particular will be the environmental factor.

In recent years, the Republic of Kazakhstan has adopted fundamental acts in this direction, which will determine the vector of development of metallurgical enterprises in the future [2; 3; 4] in the following areas:

- the need to develop a green economy;
- the need to develop closed production cycles with the development of a waste management system, which implies “a constant circulation of materials during production and consumption, eliminating the formation of waste accumulating in the environment.

These fundamental principles will be the basis for the development of innovative solutions in the mining and metallurgical industry of the Republic of Kazakhstan.

In [5; 6], a comprehensive technology for refining primary aluminum from vanadium and other metal impurities through flux and filtration refining based on boric acid was studied.

The results of research [5; 6] show that the complex technology of refining raw aluminum from vanadium using boric acid ( $H_3BO_3$ ) in a ladle with further filtration makes it possible to reduce the content of non-ferrous metal impurities from primary aluminum.

Laboratory studies have shown a decrease in vanadium content by 47.7 %, copper by 17.6 %, magnesium 47.5 %, manganese by 50.0 % and silicon by 97.9 % in primary aluminum during flux refining of  $H_3BO_3$  and subsequent almost complete removal reaction products of non-ferrous metal impurities with boron based on filtration results [5; 6].

In these works, Ekibastuz coal ash, consisting mainly of  $SiO_2$  and  $Al_2O_3$ , was used as a material for the manufacture of filter grains (Table 1 and 2) [6].

Table 1 – Chemical composition of Ekibastuz coal ashes, %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	e.h.w.	hygr. water	CO <sub>2</sub>	≤ SiO <sub>2</sub>
46,7	25,2	6,58	0,66	1,28	7,66	3,1	1,26	3,41	0,57	3,96	26,7

Table 2 – Phase and mineralogical composition of Ekibastuz coal ashes, wt. % (average)

Glass phase	Amorphized clay substance	Iron oxides	Feldspar, quartz, pyroxene	Corundum, mullite, cristobalite	Calcite	Carbon particles
30	25	9	10	7	8	11

Conducted studies show that as a result of filtration refining, a large amount of waste is generated in the form of spent grains with a diameter of 15–25 mm and aluminum scrap.

According to data [7], the average consumption of filters is 0.2 – 0.5 % of the mass of the poured metal. Thus, during the production of primary aluminum on the basis of Kazakhstan Electrolysis Plant JSC in a volume of up to 268 thousand tons per year, the mass of used filters will be up to 1340 tons.

According to [4, 8], the rate of payment for emissions of pollutants from stationary sources of this type of waste (ash and cinders) in the Republic of Kazakhstan is 0.33 MCI / ton (taking into account the MCI in 2024 = 3692 tenge, the total amount of payment for emissions 1340 tons = 4,947,280 tenge per year).

Thus, the development of options for processing used filters from ash and ash and slag waste is an urgent task.

### Materials and methods

The basis for the processing of used granular filters was the methodology described in [9], which included three main stages:

– preliminary processing of filter grains for cleaning from aluminum scrap (Figure 1), including grinding of granules in a drum mill and classification of the metal and non-metal parts of the processed material;



Figure 1 – General view of used filters

- metallurgical processing of separated aluminum scrap by remelting in an induction crucible furnace and refining using complex technology described by the authors in [5];
- obtaining a concrete mixture based on crushed waste filter grains, quartz sand and bauxite sludge, screenings from crushing rocks with a fraction of 20 - 30 mm and Portland cement to obtain samples of construction products.

Crushed waste filter grains were used as a filler for a concrete mixture, as an alternative to quartz sand, in a volume of no more than 30% of the total consumption of materials [10]. The water-cement ratio was assumed to be 0.35.

The production of building samples and products was carried out on the basis of EkostroyNII-PV LLP using the vibration pressing method on the Rifey-Udar-SDA production line, which has extensive experience and its own innovative solutions in the field of involving industrial waste in production [10 – 13]. Testing of construction products was carried out on the basis of the accredited laboratory of Incom Company LLP (registered in the register of accreditation subjects of the Republic of Kazakhstan for compliance with the requirements of GOST ISO/IEC 17025-2019 No. KZ.T.14.2161 dated November 16, 2018, as amended on April 29, 2020).

Table 3 shows the compositions of concrete mixtures.

Table 3 – Compositions of concrete mixtures using ASR of waste granular filters

Concrete batch number	Mass fraction of cement, (%)	Mass fraction of sand, (%)	Mass fraction of waste granular filters, (%)
1	40	60	0
2	35	55	10
3	30	50	20
4	25	45	30
5	20	40	40

To test the samples, cube shapes of 100×100×100 mm were additionally made (Figure 2). The work determined the density and strength of the samples. The density of concrete samples was determined in accordance with GOST 12730.1-78, the results are listed in Table 4. The strength test was determined using a P-10 press when the concrete was 28 days old (Figure 3). The test results are presented in Table 5.



Figure 2 – Test samples



Figure 3 – Determination of sample strength

### Results and discussion

Table 4 – Density of concrete samples

Sample brand	Mass fraction of AS waste granular filters, (%)	Density, g/sm <sup>3</sup>	Concrete class
1	0	2,61	Heavy concrete
2	10	2,39	
3	20	2,19	
4	30	1,95	
5	40	1,86	



Table 5 – Concrete strength class

Sample brand	Strength, kg/sm <sup>2</sup>	Strength, MPa	Concrete strength class	Concrete grade by strength
1	385	37,75	B30	M400
2	327	32,06	B25	M350
3	307,6	30,16	B25	M350
4	235,3	23,07	B20	M250
5	213,1	20,89	B15	M200

According to the test results, the tensile strength of concrete samples of building products is 20.89 – 37.75 MPa, depending on the content of Portland cement, corresponding to the class of heavy concrete.

### Conclusions

1) Based on the experimental studies carried out, the possibility of involving waste filters from ash and ash and slag waste as a filler in the production of concrete for construction products has been established.

2) Metallurgical processing of aluminum scrap separated from spent filter grains can be carried out by remelting in an induction crucible furnace with further refining of the metal.

3) According to test results, the tensile strength of concrete samples of building products is 20.89 - 37.75 MPa, depending on the content of Portland cement (from 20 to 40%) and corresponds to the class of heavy concrete.

### Funding information

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the competition «Zhas Galym» under the project IRN AR19175493 «Development of technology for refining primary aluminum with filters with an active surface»

### REFERENCES

1 **Koncepciya razvitiya obrabatyvayuscheii promyshlennosti Respubliki Kazakhstan na 2023 – 2029 gody**, utverzhdennaya Pravitelstvom Respubliki Kazakhstan ot 20 decabriya 2018 goda № 846 [Concept for the development of the manufacturing industry of the Republic of Kazakhstan for 2023 – 2029, approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 20, 2018 No. 846.].

2 **Koncepciya po perehodu Respubliki Kazakhstan k «zelenoi ekonomike»**, utverzhdennaya Ukazom Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 30 maya 2013 goda № 577 (s izmeneniyami ot 10.09.2029 goda) [Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to a «green economy», approved by Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated May 30, 2013 No. 577 (as amended on September 10, 2029)].

3 **Strategiya dostizheniya uglerodnoi ntitalnosti Respubliki Kazakhstan do 2060 goda**, utverzhdennaya Ukazom Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 2 fevraliya 2023 goda №

121 [Strategy for achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060, approved by Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated February 2, 2023 No. 121].

4 **Ecologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan** ot 02.01.2021 №400-VI ZRK (s izmeneniyami ot 05.07.2023 №17-VIII) [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated 01/02/2021 No. 400-VI ZRK (as amended from 07/05/2023 No. 17-VIII)].

5 **Bykov, P. O., Kuandykov, A. B., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B., Suyundikov, M. M.** Complex processing of primary aluminum to remove impurities of non-ferrous metals // *Metalurgija*, Volume 62 (2), 2023, P. 293 – 295.

6 **Kuandykov, A. B., Bakirov, A. G., Zhunusov, A. K., Bykov, P. O.** Zernistyie filtry iz zol Ekibastuzskih uglei dlya rafinirovaniya pervichnogo aluminiya [Granular filters from Ekibastuz coal ashes for refining primary aluminum] // *Science and technology of Kazakhstan*, 2022, № 4. – P. 80 – 90.

7 **Muhin, A. G.** Povyshenie effektivnosti rafinirovaniya siluminov pri tehnologicheskikh perelivah cherez zernistyie filtry [Increasing the efficiency of silumin refining during technological overflow through granular filters] : dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.16.04 – Foundry. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University, 2002. – 204 p.

8 **Nalogovyi kodeks Respubliki Kazakhstan** ot 25 dekabriya 2017 goda № 120-VI ZRK (s izmeneniyami ot 10.12.2020 №382-VI) [Tax Code of the Republic of Kazakhstan dated December 25, 2017 No. 120-VI ZRK (as amended from December 10, 2020 No. 382-VI)].

9 **Skitovich S.V.** Razrabotka tehnologii termoflusovogo pereplava struzhki aluminievykh splavov s povyshennym sodержaniem zheleza [Development of technology for thermoflux remelting of shavings of aluminum alloys with a high iron content] : dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.16.04 – Foundry. – Vladimir: Vladimir State University, 2000. – 206 p.

10 **Aryngazin, K. Sh., Bogomolov A. V., Tleulessov, A.K.** Innovational construction materials of LLP «Ecostroynii-PV» production // *Defect and Diffusion Forum*, 2021, vol. 410. – P. 806 – 811.

11 **Aryngazin, K. Sh.** Industrial waste utilization in the production of building materials on «Ecostroynii-PV» LLP example // *Science and Technology of Kazakhstan*, 2023, vol. 2. – P. 67 – 75.

12 **Aryngazin, K. Sh., Larichkin, V. V., Aldungarova, A. K., Sviderskii, A. K., Bogomolov, A. V., Bykov, P. O., Tleulessov, A. K., Mausymbayeva, D. K.** Innovacionnoe ispolzovanie tverdyh tehnogennykh othodov predpriyatii teploenergetiki I metalurgii Pavlodarskoi oblasti v proizvodstve stroitelnykh materialov [Innovative use of solid technogenic waste from thermal power and metallurgy enterprises of the Pavlodar region in the production of building materials] // *Science and Technology of Kazakhstan*, № 3 – 4. – P. 34 – 39.

13 **Aryngazin, K. Sh., Bykov, P. O., Aldungarova, A. K., Tleulessov, A. K., Bogomolov, A. V.** Kommerzializatsiya nauchnykh issledovaniy na primere TOO "Ecostroynii-PV" [Commercialization of scientific research on the example of EkostroyNII-PV LLP] // *Entrepreneurial University – science, innovation, education and business : collection of scientific works– Pavlodar : Toraighyrov University*, 2019. – P. 31 – 44.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Концепция развития обрабатывающей промышленности Республики Казахстан на 2023 – 2029 годы**, утверждённая Постановлением Правительства Республики Казахстан от 20 декабря 2018 года № 846.

2 **Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»**, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 (с изменениями от 10.09.2029 года).

3 **Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года**, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121.

4 **Экологический кодекс Республики Казахстан** от 02.01.2021 №400-VI ЗРК (с изменениями от 05.07.2023 №17-VIII).

5 **Вуков, Р. О., Kuandykov, A. B., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B., Suyundikov M. M.** Complex processing of primary aluminum to remove impurities of non-ferrous metals // *Metalurgija* 62 (2023) 2. – P. 293–295.

6 **Куандыков, А. Б., Бакиров А. Г., Жунусов, А. К., Быков, П. О.** Зернистые фильтры из зол Экибастузских углей для рафинирования первичного алюминия // *Наука и техника Казахстана*, 2022, № 4. – С. 80 – 90.

7 **Мухин, А. Г.** Повышение эффективности рафинирования силуминов при технологических переливах через зернистые фильтры : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет, 2002. – 204 с.

8 **Налоговый кодекс Республика Казахстан** от 25 декабря 2017 года № 120-VI ЗРК (с изменениями от 10.12.2020 №382-VI).

9 **Скитович, С. В.** Разработка технологии термофлюсового переплава стружки алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство. – Владимир : Владимирский государственный университет, 2000. – 206 с.

10 **Aryngazin, K. Sh., Bogomolov, A. V., Tleulessov, A. K.** Innovational construction materials of LLP «Ecostroynii-PV» production // *Defect and Diffusion Forum*, 2021, vol. 410. – P. 806 – 811.

11 **Aryngazin, K. Sh.** Industrial waste utilization in the production of building materials on «Ecostroynii-PV» LLP example // *Science and Technology of Kazakhstan*, 2023, vol. 2. – P. 67 – 75.

12 **Арынгазин, К. Ш., Ларичкин, В. В., Алдунгарова, А. К., Свидерский, А. К., Богомоллов, А. В., Быков, П. О., Тлеулесов, А. К., Маусымбаева, Д. К.** Инновационное использование твердых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов // *Наука и техника Казахстана*, 2016, № 3 – 4. – С. 34 – 39.

13 **Арынгазин, К. Ш., Быков, П. О., Алдунгарова, А. К., Тлеулесов, А. К., Богомоллов, А. В.** Коммерциализация научных исследований на примере ТОО "ЭкостройНИИ-ПВ" // *Предпринимательский ВУЗ – наука, инновации, образование и бизнес : сборник научных трудов.* – Павлодар : Toraighyrov University, 2019. – С. 31 – 44.

Received 11.02.2024  
Received in revised form 03.03.2024

**П. О. Быков<sup>1</sup>, А. Б. Қуандықов<sup>1\*</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>2</sup>,  
А. Б. Калиева<sup>1</sup>, В. В. Ларичкин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup> «ЭкостройНИИ-ПВ» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup> Новосибир мемлекеттік техникалық университеті,  
Ресей Федерациясы, Новосибир қ.

11.02.2024 ж. баспаға түсті.

03.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

23.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **БАСТАПҚЫ АЛЮМИНИЙДІ ТАЗАРТУ ҮШІН ТҮЙІРШІКТІ СҮЗГІЛЕРДІ ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ**

*Бұл мақалада Құрылыс бұйымдары үшін бетон өндірісінде агрегат ретінде бастапқы алюминийді тазартуда қолданылатын күлден және күл-қож қалдықтарынан пайдаланылған сүзгілерді өңдеуге тарту бойынша эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген.*

*Зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің "Жас ғалым" конкурсы бойынша ЖРН АР19175493 "белсенді беті бар сүзгілермен бастапқы алюминийді тазарту технологиясын әзірлеу" жобасы бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.*

*Пайдаланылған түйіршікті сүзгілерді қайта өңдеу үш кезеңде жүзеге асырылды: алюминий сынығы тазарту үшін сүзгі дәндерін алдын ала қайта өңдеу; индукциялық отшөміш пеші балқыту әдісімен бөлінген алюминий скрабын металлургиялық қайта өңдеу және авторлар жұмыста сипаттаған кешенді технология бойынша тазарту; сүзгінің, кварц құмының және боксит шламының ұсақталған пайдаланылған дәндері негізінде бетон қоспасын алу, тау-кен қалдықтарын жону құрылыс өнімдерінің үлгілерін алу үшін 20-30 мм және портландцемент фракциясы бар жыныстар.*

*Сынақ нәтижелері бойынша құрылыс бұйымдарының бетон үлгілерінің беріктік шегі портландцементтің құрамына байланысты (20 – дан 40% - га дейін) 20,89-37,75 МПа құрайды және ауыр бетон класына сәйкес келеді.*

*Кілтті сөздер: алюминий, түйіршікті сүзгі, күл қожы, қалдықтар, қайта өңдеу.*

**П.О. Быков<sup>1</sup>, \*А. Б. Қуандықов<sup>1</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>2</sup>,  
А. Б. Калиева<sup>1</sup>, В. В. Ларичкин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>2</sup>ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ», Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Российская Федерация, г. Новосибирск

Поступило в редакцию 11.02.2024

---

Поступило с исправлениями 03.03.2024

Принято в печать 23.02.2024

---

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНИСТЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

*В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по вовлечению в переработку отработанных фильтров из золы и золошлаковых отходов, используемых при рафинировании первичного алюминия в качестве заполнителя при производстве бетона для строительных изделий.*

*Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по конкурсу «Жас Галым» по проекту ИРН АР19175493 «Разработка технологии рафинирования первичного алюминия фильтрами с активной поверхностью».*

*Переработка отработанных зернистых фильтров осуществлялась в три этапа: предварительная переработка зерен фильтра для очистки от алюминиевого скрапа; металлургическая переработка отделенного алюминиевого скрапа методом переплава в индукционной тигельной печи и рафинированием по комплексной технологии, описанной авторами в работе; получение бетонной смеси на основе измельченных отработанных зерен фильтра, кварцевого песка и бокситового шлама, отсева дробления горных пород фракцией 20 – 30 мм и портландцемента для получения образцов строительных изделий.*

*По результатам испытаний предел прочности образцов бетона строительных изделий составляет 20,89 – 37,75 МПа в зависимости от содержания портландцемента (от 20 до 40 %) и соответствует классу тяжелого бетона.*

*Ключевые слова: алюминий, зернистый фильтр, золошлак, отход, рециклинг.*

МРНТИ 53.03.05

DOI

**А. К. Жунусова, А. К. Жунусов, \*А. Е. Кенжебекова**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru)

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОРУРНОГО АГЛОМЕРАТА**

*В данной статье приводятся исследования ввода в состав агломерационной шихты флюсов, чем больше в составе расплава FeO, тем больше магния в решетке магнетитовой фазы. В металлургии, в частности при производстве черных металлов часто используются техногенные отходы в качестве дешевых заменителей железных, марганцевых, хромистых руд. Как правило, техногенные отходы имеют фракционный состав менее 5 мм. Агломерация отходов глиноземного производства с получением железорудного агломерата позволяет вовлечь в металлургический передел различные техногенные отходы. По приведенным данным при использовании в качестве флюса доломита подтверждается присутствием в составе железорудного агломерата металлического железа. Ввод доломита в агломерационную шихту позволяет получить офлюсованный агломерат. При использовании агломерата для выплавки металлов, офлюсованный агломерат позволит вывести из печей известняк. Вывод, которого приводит к экономии значительного количества тепла, затрачиваемой на диссоциацию CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>, соответственно экономится топливо. Магний диссоциирует с магнетитом до образования MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и MgO. Для подтверждения достоверности проведенных исследований были изучены образцы не офлюсованного и офлюсованного агломерата и выполнен усредненный элементный состав спектра по данным EDS-анализа, приведенные на рисунках и таблицах в данной работе.*

*Ключевые слова: Железистый песок, железорудный агломерат, оксид магния, флюсы, спекание, микроанализ, спектрограмма.*

#### **Введение**

Глинозем, как известно, производят из бокситов по методу Байер – спекание [1]. При таких способах образуется большое количество шламовых отходов. Одним из таких шламов называют – отвальные шламы, среди которых больше половины занимают железистые пески. По данным источников [2; 3] на одну тонну получаемого из бокситов глинозема приходится от 0,9 до 1,5 т отвальных шламов. До настоящего времени в Казахстане железистые шламы практически не находят дальнейшего применения и складировются на шламовых полях. Последние занимают огромные территории и наносят окружающей среде колоссальный вред. По всему миру такие шламовые поля занимают земельных площадей от 10 до 50 га и хранят десятки миллионов тонн отходов [4].

Из некоторых источников известно, что в мире накоплено от 2,0 млрд. до 4,0 млрд. тонн отходов глиноземного производства [5] и на содержание таких шламохранилищ тратятся огромные денежные средства.

Шламы глиноземного производства содержат высокое количество щелочи и поэтому представляют опасность для окружающей среды. Известна катастрофа, произошедшая в Венгрии в 2010 году (г. Колонтар). В результате прорыва дамбы было выброшено около 700 тыс. тонн шламов. Пострадали люди, животный мир и были разрушены дома [6].

До настоящего времени в мире представлено большое многообразие работ по переработке красных шламов. Однако, проводимые исследования не все представляют интерес со стороны металлургии. Многие технологии переработки красных шламов отличаются дороговизной на реализацию представленных исследований, также большинство из них сопровождаются сложностью и многостадийностью процессов переработки. Красный шлам по своему составу может использоваться в разных направлениях промышленности. В работах [7; 8] представлены различные варианты использования красных шламов по различным отраслям промышленности. В представленных исследованиях рассматриваются пирометаллургические, гидрометаллургические способы и прямое использование красных шламов, а также в качестве катализаторов химической промышленности. Например, в работах [9,10] подходят критически к переработке отходов глиноземного производства, к примеру, что в работах [11; 12; 13; 14] предлагается использовать отходы глиноземного производства в качестве фильтра для очистки воды, извлечения металлов, пирометаллургической переработке и использования в качестве строительных материалов. Однако, пирометаллургическая переработка занимает преимущественно главное место.

В металлургии, в частности при производстве черных металлов часто используются техногенные отходы в качестве дешевых заменителей железных, марганцевых, хромистых руд. Как правило, техногенные отходы имеют фракционный состав менее 5 мм. При работе на мелкой шихте, к примеру, в доменной печи значительно возрастают давление дутья на фурмах и потери напора дутья в столбе шихты. Все это приводит к зависанию шихты, ухудшается газопроницаемость. Возникает ухудшение степени использования химической и тепловой энергии. В таких условиях не приходится нормально эксплуатировать печи и добиться производительности работы цехов. Очевидно, что большая часть перечисленных трудностей устраняется предварительным окускованием мелочи - агломерацией.

Таким образом, агломерация отходов глиноземного производства с получением железорудного агломерата позволяет вовлечь в металлургический передел различные техногенные отходы [15], такие как: отсеvy руд, шламы, прокатную окалину,

колошниковые и аспирационные пыли и в том числе железистые шламы глиноземного производства [16]. Подготовленная к плавке окускованная высококачественная шихта позволит не только утилизировать существующие отходы, но и улучшить рабочий ход печей при выплавке черных металлов в углеродо - восстановительной плавке, снизить вынос пыли, уменьшить удельный расход кокса и увеличить количество металлов за счет использования техногенных отходов. Проведенный анализ литературных источников и предварительные исследования агломерации отходов глиноземного производства позволили установить, что наиболее приемлемой технологией для использования железистых песков в металлургии является агломерационный процесс и использование полученного железорудного агломерата в качестве заменителя легковесного лома при производстве чугуна, стали, ферросплавов.

### **Материалы и методы**

Исследования получения железорудного агломерата проводились в лаборатории кафедры «Металлургия» НАО «Торайгыров университета». В качестве шихты при агломерации использовали железистый песок в смеси с различными железосодержащими отходами (прокатная окалина, аспирационная пыль) коксовую мелочь фракции 0-5 мм и флюсующие материалы.

Основной задачей исследования по данному направлению является изучение механизма влияния флюсов на физико-химические свойства железорудного агломерата и подбор оптимального типа флюса. От правильного подбора флюсующего материала, который лучше всего подобрать в процессе агломерации, и в будущем при восстановительных процессах получения чугуна и ферросплавов офлюсованный железорудный агломерат окажет положительное влияние на химизм процесса получения черных металлов (чугуна, углеродистого ферромарганца, низкокремнистого ферросилиция).

При агломерации железистого песка в качестве флюсующего материала использовали доломит. Доломит выбран с точки зрения наиболее подходящего флюса для материалов в своем составе имеющие глинозем. С позиции оксидной системы FeO-CaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеется система как и в системе (Fe<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>//Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>), с главной диагональю F'A (герцинит) – CF (моноферрит кальция) в соответствии с  $\Delta G_T^0$ .

Согласно работам авторов [17] на полученной ими диаграмме процессы взаимодействия компонентов железорудной смеси с флюсующими кальцийсодержащими материалами протекают преимущественно с образованием легкоплавких расплавов в окрестностях ферритов кальция, представленных в виде смесей с магнетитом, вюститом, герцинитом и моноалюминатом кальция. Появление алюминатов кальция, как самостоятельной фазы, возможно по завершении всех реакции в смесях с достижением равновесия в основном в высокоизвестковых частях систем. Появление герцинита легкоплавкое и имеет высокую электропроводность. Поэтому процесс плавки железорудного агломерата может сопровождаться образованием легкоплавких шлаков, т.е. скорость образование шлаков больше, чем скорость восстановления железа. Это естественно приведет к расстройству хода печи, если не предпринять специальных мер для предотвращения указанных отрицательных факторов.

Для этого необходимо добавлять доломит при агломерации железистых песков. Это может обеспечить образование более тугоплавких конечных шлаков. Но при этом следует выявить характер изменения фазового состава агломератов и образующихся шлаков, и соответственно их свойств в зависимости от количества доломита в шихте с определением его оптимального количества.



Таким образом, предварительно были подготовлены пробы образцов железорудного агломерата для дальнейшего исследования в лаборатории Центра опережающего развития «Veritas» НАО ВКТУ им. Д. Серикбаева. Пробы состояли из железорудного агломерата и офлюсованного доломитом агломерата.

### Результаты и обсуждение

Пробы железорудного агломерата из железистых песков отходов глиноземного производства полученного в процессе агломерации подверглись микроанализу растровой электронной микроскопией с системой микроанализа INCA Energy на базе ЦАП «Veritas» Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск).

В таблицах 1-4 и рисунках 1-4 представлены данные параметров обработки анализов всех элементов агломерата, элементный состав железорудного агломерата по данным EDS-анализа.

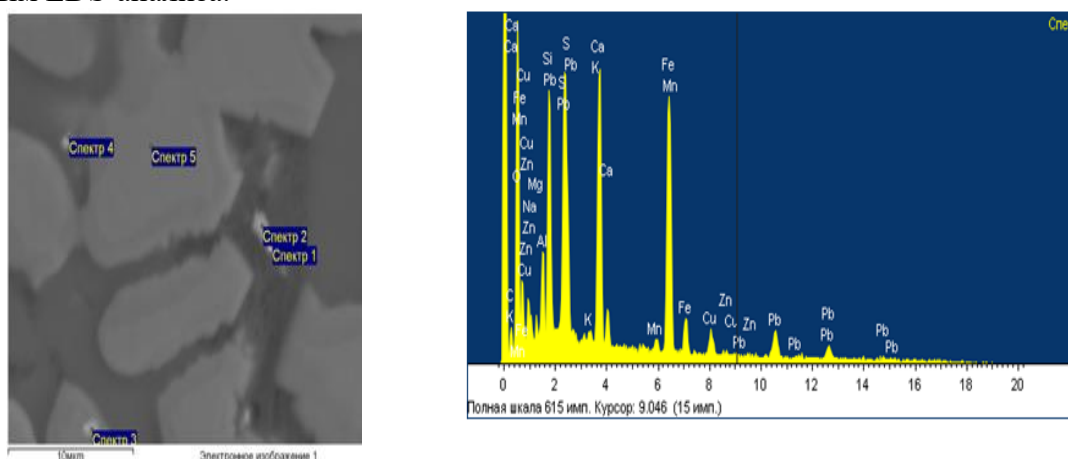


Рисунок 1 – Микроанализ и спектрограмма железорудного агломерата

Таблица 1 – Данные параметров обработки анализов всех элементов неофлюсованного железорудного агломерата

Спектр	Химические элементы, %										
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	As	Pb
Спектр 1	28,9	0,73	15,9	7,4	-	3,98	-	42,7	0,39	-	-
Спектр 2	15,3	0,51	17,4	7,9	0,27	4,57	-	53,5	0,60	-	-
Спектр 3	28,0	0,60	15,6	6,3	0,39	4,68	0,30	43,4	0,30	0,43	-
Спектр 4	26,7	0,81	16,0	6,9	-	3,97	0,17	45,4	-	-	0,05
Спектр 5	12,6	0,85	19,4	3,0	-	3,39	0,31	59,6	-	-	0,85

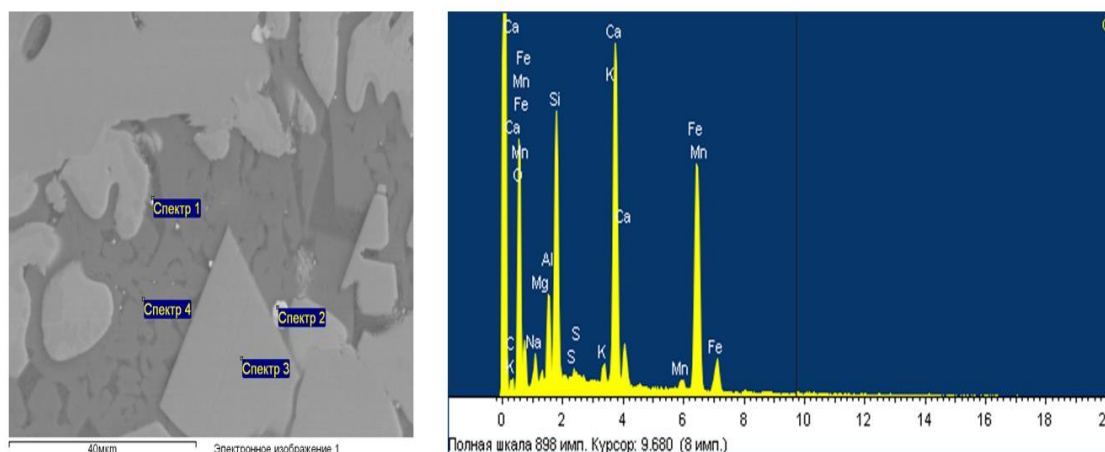


Рисунок 2 – Микроанализ и спектрограмма железорудного агломерата

Таблица 2 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %										
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	K	Mn	Na
Спектр 1	38,65	0,64	13,23	9,43	-	5,63	28,57	-	0,95	0,99	1,91
Спектр 2	18,19	-	10,81	3,90	-	4,63	62,47	-	-	-	-
Спектр 3	33,21	0,81	11,04	2,98	-	4,31	46,77	-	-	0,88	-
Спектр 4	38,77	1,18	17,30	10,24	-	7,08	25,43	-	-	-	-

Из рисунка 1 и таблицы 1 видно, что максимальное количество железа обнаруживается в спектрах 2 и 5 – 53,5 и 59,6 соответственно. В таблице 2 и на рисунке 2 наблюдается, что максимальное количество железа обнаруживается в спектре 2 – 62,47. Такое количество железа в этих спектрах подтверждается присутствием магнетита и гематита. Данные рисунков 1 и 2 по результатам EDS-анализа подтверждаются данными рентгенофазового анализа (Рисунок 3).

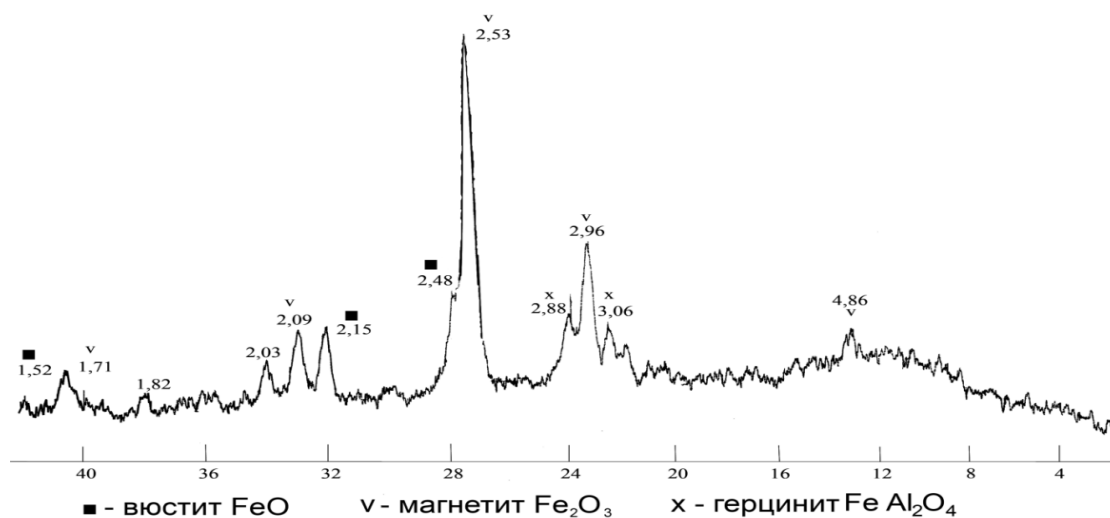


Рисунок 3 – Рентгенограмма железорудного агломерата

На рентгенограмме неофлюсованного железорудного агломерата наблюдается появление герцинита (Рисунок 3). Появление герцинита объясняется тем, что при агломерации происходит разрушение силикатов железа в восстановительных условиях и соответственно взаимодействие компонентов без флюсующих материалов будут протекать преимущественно с образованием легкоплавких расплавов в окрестностях ферритов кальция, представленных в виде смесей с магнетитом, вюститом, герцинитом и моноалюминатом кальция, что и наблюдается из данных рисунка 3. Появление алюминатов кальция, как самостоятельной фазы с позиции оксидной системы FeO-CaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, возможно по завершении всех реакции в смесях с достижением равновесия в основном в высокоизвестковых частях систем. Появление герцинита легкоплавкое и имеет высокую электропроводность. Поэтому процесс плавки железорудного агломерата может сопровождаться образованием легкоплавких шлаков, т.е. скорость образование шлаков больше, чем скорость восстановления железа. Это естественно приведет к расстройству хода печи, если не предпринять специальных мер для предотвращения указанных отрицательных факторов.

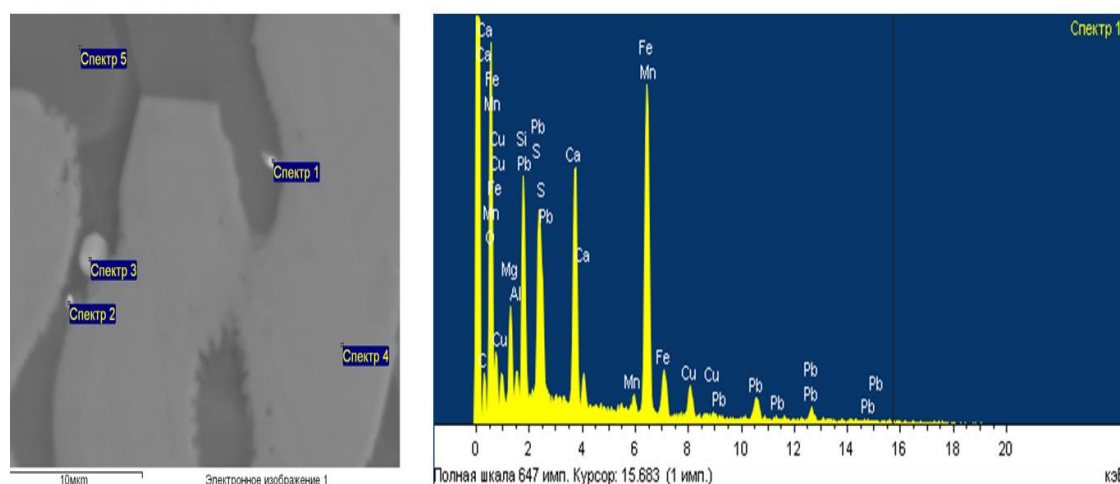


Рисунок 4 – Микроанализ и спектрограмма офлюсованного доломитом железорудного агломерата

Таблица 3 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb
Спектр 1	23,90	3,57	16,3	7,0	0,32	3,23	42,7	0,12	-	2,86
Спектр 2	22,51	3,29	15,2	5,75	0,73	3,20	47,3	0,97	-	1,05
Спектр 3	24,36	2,60	17,0	4,06	-	2,88	47,81	-	1,29	-
Спектр 4	30,90	4,58	14,3	2,46	-	4,50	43,26	-	-	-
Спектр 5	36,50	5,95	15,2	5,80	-	5,6	30,95	-	-	-

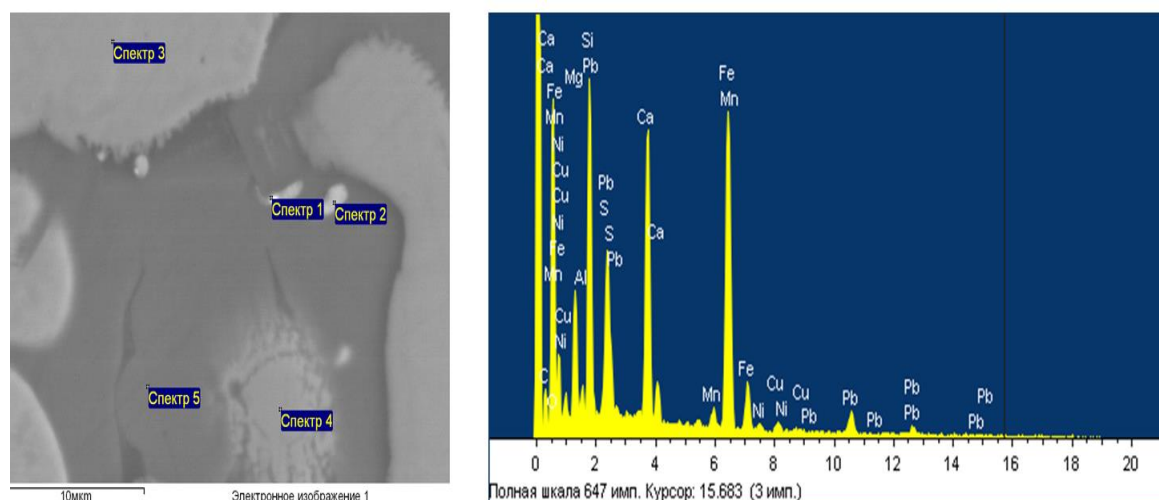


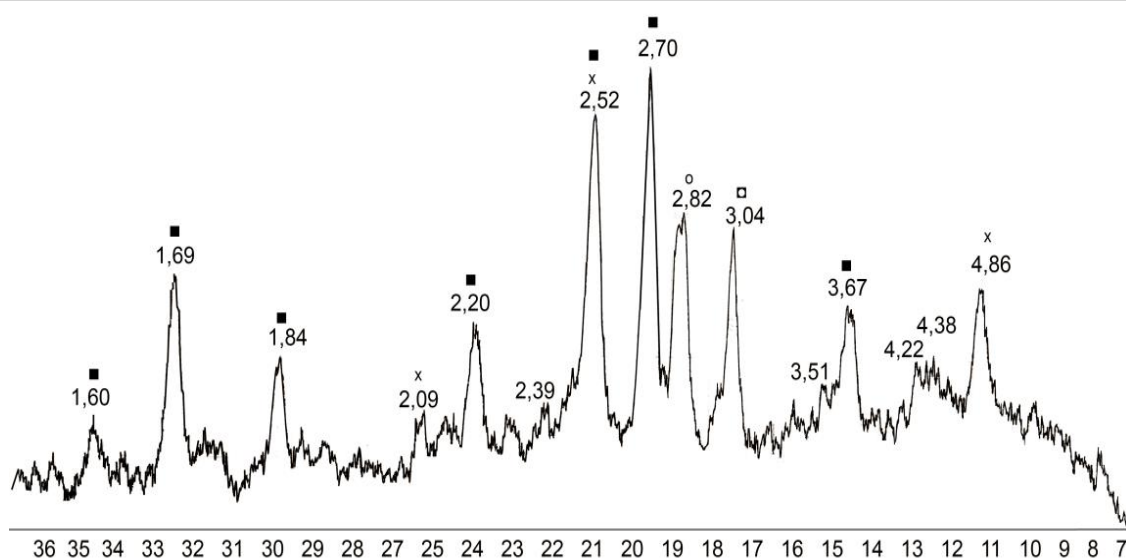
Рисунок 5 – Микроанализ и спектрограмма офлюсованного доломитом железорудного агломерата

Таблица 4 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Ni	Pb
Спектр 1	23,49	4,85	14,6	8,16	1,74	5,25	49,32	1,46	0,96	0,17
Спектр 2	25,33	3,83	16,5	6,27	0,87	3,24	42,60	1,36	-	-
Спектр 3	30,03	4,82	17,1	2,45	-	3,30	42,30	-	-	-
Спектр 4	31,23	3,22	13,2	2,64	-	3,00	46,71	-	-	-
Спектр 5	26,94	6,05	14,3	10,98	-	13,6	28,13	-	-	-

Из данных рисунков 4, 5 и таблиц 3,4 микроанализа и спектрограмм офлюсованного доломитом железорудного агломерата наблюдаются практически во всех спектрах одинаковое количество железа с появлением герцинита, что подтверждается представленными данными рентгенограммы офлюсованного железорудного агломерата (Рисунок 3).

Из рентгенограммы железорудного агломерата представленного на рисунке 6 видно вместе с гематитом ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнетитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) наблюдается образование сопутствующих минералов кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ), сидерита ( $\text{FeCO}_3$ ) и магния ( $\text{MgO}$ ). Появление данных минералов объясняется тем, что при агломерации происходит разрушение силикатов железа в восстановительных условиях, при котором и образуется сидерит.



■ - гематит; x - магнетит; □ - кальцит; o - доломит-сидерит

Рисунок 6 – Рентгенограмма офлюсованного железорудного агломерата

По данным рентгенограммы офлюсованного железорудного агломерата представленного на рисунке 6 наблюдается образование кремнийсодержащего расплава. Который, происходит в системе с избытком FeO, при этом определяется направление формирования минералообразования агломератов. При агломерации не офлюсованного агломерата силикатные связки агломератов основности 1,2-1,4 лежат в оливинном поле диаграммы состояния CaO- FeO- SiO<sub>2</sub>, занимая широкую область составов, прилегающие к двухкальциевому силикату [18].

По данным [18–20] состав оливинной фазы в каждом конкретном случае определяется основностью расплава и количеством двухвалентного железа. В офлюсованном агломерате состав расплава не приближается к фазе фаялитового состава (FeSiO<sub>4</sub>). Максимальное количество фаялита может достигать 80 %, при этом в составе агломерата FeO находится 62,47 % (Таблица 2) и может иметь низкую температуру плавления 1130 °С.

Глинозем, содержащийся в составе железорудного агломерата, является составляющей фаз – связок. При агломерации глинозем входит в состав рудных, ферритных и силикатных фаз. Доля алюминия в составе фаз определяется окислительным потенциалом газовой фазы при формировании агломерата. Если окислительный потенциал ниже газовой фазы, тем больше в системе FeO и Al в виде герцинита, что объясняется его появлением (Рисунок 6).

Магний (MgO) в составе железорудного агломерата будет являться источником FeO. В зависимости от основности агломерата MgO вместе с FeO расходуется на построение силикатных фаз или входит в состав магнетитового твердого раствора (Fe,Mg) Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, который образуется на контакте гематита с магниесодержащими силикатным раствором при основности железорудного агломерата выше 0,7. Магний (MgO) в железорудном агломерате приведет к диссоциации трехвалентного железа в расплаве и накоплению в нем двухвалентного железа с переходом в более тугоплавкую часть с образованием магнетитовых фаз.

При агломерации железистых песков в зависимости от отношения в расплаве двухвалентного железа к трехвалентному, что в свою очередь определяется окислительным потенциалом газовой фазы, оксид магния входит в состав рудного материала либо в состав силикатов.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали целесообразность ввода в состав агломерационной шихты флюсов. Ввод доломита позволяет образовывать в расплаве больше вюстита, чем больше в составе расплава FeO, тем больше магния переходит в решетку магнетитовой фазы. По приведенным данным рисунков 1-6 и таблиц 1-4 при использовании в качестве флюса доломита подтверждается присутствием в составе железорудного агломерата металлического железа. При использовании агломерата для выплавки металлов, офлюсованный агломерат позволит вывести из печей известняк. Вывод известняка из печей приведет к экономии значительного количества тепла, затрачиваемой на диссоциацию CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>, соответственно экономится топливо. Магний диссоциирует с магнетитом до образования MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и MgO и переходу герцинита в магнетитовую фазу. Достоверность проведенных исследований железорудного и офлюсованного агломерата подтверждается элементными данными микроанализа растровой электронной микроскопии с системой микроанализа INCA Energy (EDS-анализа) и представленными рентгенограммами исследуемых агломератов.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Mayes, W. M., Jarvis, A. P., Burke, I. T.** Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the Ajka bauxite residue (redmud) depository failure, Hungary // *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45. No. 12. P. 5147 – 5155.

2 **Zhang, R., Zheng, S., Ma, S., Zhang, Y.** Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossularhydrogarnet in hydrothermal process // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 189. P. 827 – 835.

3 **Evan, K.** The history, challenges and new developments in the management and use of bauxite residue // *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2016. Vol. 2. P. 316 – 331.

4 **Трушко, В. Л., Утков, В. А., Бажин, В. Ю.** Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // *Записки Горного института*. 2017. Т. 227. С. 547 – 553.

5 **Zhaobo, L., Hongxu, L.** Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud – a review // *Hydrometallurgy*. 2015. Vol. 155. P. 29 – 43.

6 **Anton, A., Rekasi, M., Uzinger, N.** etc. Modelling the potential effects of the hungarian red mud disaster on soil properties // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2012. Vol. 223. No. 8. P. 5175 – 5188.

7 **Boily, R.** Twenty cases of red hazard, an inventory of ecological problems caused by bauxite residue from alumina production // Conference paper in Inforex on October 3, 2012, Larval, Quebec, Canada. Available at URL: [www.orbitealumine.com/media/upload/filings/Twenty\\_Cases\\_of\\_Red\\_Hazard\\_-\\_PublicVF.pdf](http://www.orbitealumine.com/media/upload/filings/Twenty_Cases_of_Red_Hazard_-_PublicVF.pdf) (Accessed 12.09.2022).

8 **Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // *Journal of Hazardous Materials*. 2004. Vol. 116. No. 1 – 2. P. 103 – 110.



9 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // *Journal of material cycles and waste management*. 2004. Vol. 6. No. 1. P. 20 – 26.

10 **Tsakiridis P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // *Journal of Hazardous Materials*. 2004. Vol. 116. No. 1 – 2. P. 103 – 110.

11 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // *Journal of material cycles and waste management*. 2004. Vol. 6. No. 1. P. 20 – 26.

12 **Power, G., Grafe, M., Klauber, C.** Bauxite residue issues : I. Current management, disposal and storage practices // *Hydrometallurgy*. 2011. Vol. 108. No. 1 – 2. P. 33 – 45.

13 **Klauber, C., Grafe, M., Power, G.** Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization // *Hydrometallurgy*. 2011. Vol. 108. No. 1 – 2. P. 11 – 32.

14 **Liu, Y., Naidu, R., Ming, H.** Red mud as an amendment for pollutants in solid and liquid phases // *Geoderma*. 2011. Vol. 163. No. 1 – 2. P. 1 – 12.

15 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. *Metallurgija*, 60 (2021);(1-2):101-103.

16 **Абсолямова, Д. Р., Жунусов, А. К., Кулумбаев, Н. К., Маженов, А., Шошай, Ж.** Определение оптимального количества топлива при агломерации отходов алюминиевого производства // *Вестник ВКГТУ. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ им. Серикбаева*, 2015. – № 4. – С.24-27.

17 **Tolymbekov, M.Zh.** The diagram of phase structure of the oxide system MnO-MgO-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020*, pp. 663–668.

18 **Малышева, Т. Я., Долицкая, О. А.** Петрография и минералогия железорудного сырья: Учебное пособие для вузов / Малышева Т.Я., Долицкая О.А. – М. : МИСИС, - 2004. – 424 с.

19 **Malysheva, T.Y., Pisarev, S.A., Kalinin, A.S., Makavetskas, A.R., Fishchenko, Yu.Yu.** Evolution of mineral composition of fluxed sinter from iron ore concentrate of the Kovdor deposit. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019;62(7):578-580. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-578-580>.

20 **Шабанов Е.Ж., Сәлімгерей Н.А., Габдуллин С.Т., Төлеукадыр Р. Т., Мұздыбаев Д. Р.** Термодинамически-диаграммный анализ фазовых равновесий в металлической системе Cr-Mn-Si-Fe. *Наука и техника Казахстана*, 2022. – № 2. – С. 56–65.

## REFERENCES

1 **Mayes, W. M., Jarvis, A. P., Burke, I. T.** Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the Ajka bauxite residue (redmud) depository failure, Hungary // *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45. No. 12. P. 5147 – 5155.

2 **Zhang, R., Zheng, S., Ma, S., Zhang, Y.** Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossularhydrogarnet in hydrothermal process // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 189. P. 827 – 835.

3 **Evan, K.** The history, challenges and new developments in the management and use of bauxite residue // *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2016. Vol. 2. P. 316 – 331.

4 **Trushko, V. L., Utkov, V. A., Bazhin, V. YU.** Aktual'nost' i vozmozhnosti polnoj

pererabotki krasnyh shlamov glinozemnogo proizvodstva [Relevance and possibilities of complete processing of red mud from alumina production] // Notes of the Mining Institute. 2017. T. 227. P. 547 – 553.

5 **Zhaobo, L., Hongxu, L.** Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud – a review // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 155. P. 29 – 43.

6 **Anton, A., Rekasi, M., Uzinger, N.** etc. Modelling the potential effects of the hungarian red mud disaster on soil properties // Water, Air, & Soil Pollution. 2012. Vol. 223. No. 8. P. 5175 – 5188.

7 **Boily, R.** Twenty cases of red hazard, an inventory of ecological problems caused by bauxite residue from alumina production // Conference paper in Inforex on October 3, 2012, Larval, Quebec, Canada. Available at URL: [www.orbitealuminae.com/media/upload/filings/Twenty\\_Cases\\_of\\_Red\\_Hazard\\_-\\_PublicVF.pdf](http://www.orbitealuminae.com/media/upload/filings/Twenty_Cases_of_Red_Hazard_-_PublicVF.pdf) (Accessed 12.09.2022).

8 **Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 116. No. 1 – 2. P. 103 – 110.

9 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // Journal of material cycles and waste management. 2004. Vol. 6. No. 1. P. 20 – 26.

10 **Tsakiridis P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 116. No. 1 – 2. P. 103 – 110.

11 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // Journal of material cycles and waste management. 2004. Vol. 6. No. 1. P. 20 – 26.

12 **Power, G., Grafe, M., Klauber, C.** Bauxite residue issues : I. Current management, disposal and storage practices // Hydrometallurgy. 2011. Vol. 108. No. 1 – 2. P. 33 – 45.

13 **Klauber, C., Grafe, M., Power, G.** Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization // Hydrometallurgy. 2011. Vol. 108. No. 1 – 2. P. 11 – 32.

14 **Liu, Y., Naidu, R., Ming, H.** Red mud as an amendment for pollutants in solid and liquid phases // Geoderma. 2011. Vol. 163. No. 1 – 2. P. 1 – 12.

15 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. Metallurgija, 60 (2021);(1-2):101-103.

16 **Absolyamova, D. R., Zhunosov, A. K., Kulumbaev, N. K., Mazhenov, A., Shoshaj, Zh.** Opredelenie optimal'nogo kolichestva topliva pri aglomeracii othodov alyuminievogo proizvodstva [Determination of the optimal amount of fuel during agglomeration of aluminum production waste] // Vestnik EKSTU. – Ust-Kamenogorsk : EKSTU named after. Serikbaeva, 2015. – № 4. – P. 4–27.

17 **Tolymbekov, M. Zh.** The diagram of phase structure of the oxide system MnO-MgO-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferrous Industry Congress : Efficient Technologies in Ferrous Industry, 2020, P. 663–668.

18 **Malysheva, T. Ya., Dolitskaya, O. A.** Petrografiya i mineralogiya zhelezorudnogo syr'ya [Petrography and mineralogy of iron ore raw materials] : Textbook for universities / Malysheva T. Ya., Dolitskaya O. A. – Moscow:, - 2004. – 424 p.

19 **Malysheva, T. Y., Pisarev, S. A., Kalinin, A. S., Makavetskas, A. R., Fishchenko, Yu. Yu.** Evolution of mineral composition of fluxed sinter from iron ore concentrate of the Kovdor deposit. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019;62(7) : P. 578–580. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-578-580>.



20 SHabanov, E. ZH., Sälimgerej, N. A., Gabdullin, S. T., Töleuqadyr, R. T., Mūzdybaev, D. R. Termodinamicheski-diagrammnyj analiz fazovyh ravnovesij v metallicheskoj system [hermodynamic diagram analysis of phase equilibria in the metal system Cr-Mn-Si-Fe. Science and technology of Kazakhstan], 2022. – No. 2. – P. 56–65.

Поступило в редакцию 15.09.2023

Поступило с исправлениями 03.03.2024

Принято в печать 23.02.2024

**А. К. Жунусова, А. К. Жунусов, \*А. Е. Кенжебекова**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

15.09.2023 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

23.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **ТЕМІР КЕНІ АГЛОМЕРАТЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Бұл мақалада агломерациялық шикіқұрамның құрамына флюстердің еңгізілуі жайлы зерттеулер келтірілген, FeO балқымасының құрамында негұрлым көп болса, магнетит фазасының торында магний соғұрлым көп болады. Металлургияда, атап айтқанда қара металдар өндірісінде темір, марганец, хром рудаларының арзан алмастырғыштары ретінде техногендік қалдықтар жиі пайдаланылады. Әдетте, техногендік қалдықтардың фракциялық құрамы 5 мм-ден аз. Темір кені агломератын алу арқылы глиназем өндірісі қалдықтарының агломерациясы металлургиялық қайта балқыту әртүрлі техногендік қалдықтарды тартуға мүмкіндік береді. Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сәйкес, флюс ретінде доломитты пайдаланған кезде темір рудасы агломератының құрамында металды темірдің бар екенің расталады. Доломитті агломерациялық шикіқұрамға енгізу флюстелген агломерат алуға мүмкіндік береді. Металдарды қорыту үшін агломератты пайдаланған кезде флюстелген агломерат пештерден әктасты шығаруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде, CaCO<sub>3</sub> және MgCO<sub>3</sub> диссоциациясына жұмсалатын жылуудың едәуір мөлшері үнемделеді, сәйкесінше отын үнемделеді. MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> және MgO түзілгенге дейін магний магнетитпен диссоциацияланады. Жүргізілген зерттеулердің дұрыстығын растау үшін флюстелмеген және флюстелген агломерат үлгілері зерделенді және осы жұмыстағы суреттер мен кестелерде келтірілген EDS-талдау деректері бойынша күйежен тектің орташаланған элементтік құрамы орындалды.

*Кілтті сөздер:* Темірлі құм, теміррудалы агломерат, магний оксиді, флюстер, жентектеу, микроанализ, спектрограмма.

**А. К. Zhunusova, А. К. Zhunusov, \*А. Ye. Kenzhebekova**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

### **STUDIES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF IRON ORURE AGGLOMERATE**

---

*This article presents studies of the introduction of fluxes into the sinter mixture; the more FeO in the melt, the more magnesium in the magnetite phase lattice. In metallurgy, in the production of ferrous metals, technogenic waste is often used as cheap substitutes for iron, manganese, and chromium ores. As a rule, technogenic waste has a fractional composition of less than 5 mm. Agglomeration of alumina production waste with the production of iron ore agglomerate makes it possible to involve various man-made wastes in metallurgical processing. According to the data presented, when dolomite is used as a flux, it is confirmed by the presence of metallic iron in the iron ore agglomerate. The introduction of dolomite into the sintering charge makes it possible to produce a fluxed agglomerate. When using sinter for metal smelting, fluxed sinter will allow limestone to be removed from the furnaces. A conclusion that leads to saving a significant amount of heat spent on dissociation  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{MgCO}_3$ , fuel is saved accordingly. Magnesium dissociates with magnetite to form  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{MgO}$ . To confirm the reliability of the research carried out, samples of non-fluxed and fluxed agglomerate were studied and the averaged elemental composition of the sinter was carried out according to EDS analysis, shown in the figures and tables in this work.*

*Keywords: Ferrous sand, iron ore agglomerate, magnesium oxide, fluxes, sintering, microanalysis, spectrogram.*

МРНТИ 53.01

**\*С. А. Лайхан, Н. А. Улмаганбетов, М. С. Досекенов, М. С. Алмагамбетов**

ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,

Республика Казахстан, г. Актобе

\*e-mail.ru:[salamat.laikhan.@erg.kz](mailto:salamat.laikhan.@erg.kz)**СПОСОБЫ ОКУСКОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ХРОМОВОГО СЫРЬЯ  
КЕМПИРСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА**

*В данной статье описаны существующие способы окускования рудного сырья. Рассмотрены их основные методы и механизмы. Подробно описаны технологии формирования брикетов и брэксов. В работе в качестве исследуемых материалов использованы мелкодисперсное хромовое сырьё Кемпирсайского месторождения. Материал представляет собой сыпучее вещество, получаемое после сушки хромовой руды. Приведены химический и гранулометрический состав мелкодисперсного хромового сырья. Связующим материалом выступает органическое вещество, твердый и аморфный материал полиакриламид. Который представляющий собой полимер на основе амида акриловой кислоты, без запаха, порошок крупностью менее 1 мм. Был сделан сравнительный анализ и отличия между способами окускования. Расписаны методика проведения окускования, а также получены результаты лабораторных исследований по окускованию. Брикетты и брэксы были испытаны на сброс, на установке по определению прочности на сбрасывание, на удар и истирание. Приведены результаты испытания брикетов и брэксов на прочность, которые представлены на графике. Оценены качественные показатели полученных окускованных продуктов и устойчивости к транспортировке и многочисленным пересыпок. Подобрана рецептура оптимального состава смеси для окускования. Определены факторы, влияющие на качество брикетов и брэксов.*

*Ключевые слова: полиакриламид, хроморудное сырьё, брикетирование, окускование, полусухое формование, брэксы, экструзия.*

**Введение**

В металлургической практике максимальное распространение получили три метода окускования мелкодисперсных материалов: первый это агломерация, второй это грануляция и третий это брикетирование. Главной задачей процесс окускования считается производство качественного окускованного продукта, имеющий прочностью для транспортировки и загрузки в плавильный агрегат, обеспечение достаточной газопроницаемости слоя шихты, а также снижение пылевыноса при пирометаллургическом переделе.

Методы окускования делятся на две группы: холодные и высокотемпературные. К высокотемпературным методам относится процесс агломерация, а группу холодных методов окускования составляют брикетирование, экструдирование с получением экструзионных брикетов (далее брэксов) и безобжиговое окомкование. В этих случаях необходимая прочность брикетов обеспечивается введением в состав окусковываемого материала связующих веществ.

В данной момент металлургической промышленности увеличивается доля вовлекаемых в основной передел мелкодисперсных рудных материалов и концентратов, которые представляют собой продукты глубокого обогащения, оборотные материалы, техногенные отходы, ранее не вовлекавшиеся в переработку. Необходимость использования данных материалов объясняется количественным содержанием в них ценных компонентов и ухудшение сырьевой базы по мере выработки месторождений.

Традиционные методы окучивания сырья агломерацией и окатыванием во многом исчерпали свои резервы и возможности. Поэтому научные разработки, направленные на обеспечение металлургического производства первородной высококачественной шихтой, представляются весьма актуальными, а направление развития производства брикетов – перспективным [1].

Подача материалов в компактном виде в металлургический агрегат предотвращает его вынос с отходящими газами, а в случае восстановительной плавки обеспечивает газопроницаемость столба шихтовых материалов. Кроме того, брикетирование сокращает потери материала при транспортировке [10].

Процесс брикетирования состоит из несколько преимуществ [2; 4; 5]:

- это прочность и транспортабельность брикетов;
- брикеты имеют правильную форму и вес;
- брикеты имеют более высоким удельным весом, концентрируют в минимуме объема максимум полезных компонентов;
- возможность получения комплексных брикетов, состоящих из нескольких компонентов шихты в различных пропорциях;

В металлургической отрасли при брикетировании мелкофракционных материалов применяются разнообразные конструкции брикет-прессов: штемпельные, ленточные, столовые, кольцевые [2; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11]. В настоящий момент в металлургической промышленности наибольшее распространение получило брикетирование в валковых брикет-прессах, вследствие наличия у них ряда преимуществ относительно прессов других конструкций [4], такие как: непрерывность процесса, высокая производительность, простота в управлении, отсутствие динамических нагрузок, сравнительно малый износ рабочих поверхностей и невысокий расход энергии. Ведущими фирмами, специализирующимися в области разработок и серийного производства валковых прессов, являются: «K. R. Komarek, Inc.» (США), «Körpern» (Германия), «Sahut-Compneur» (Франция), «Спайдермаш» (Россия).

Для каждого процесса брикетирования существует своя специфика подготовки мелкофракционных материалов, заключающаяся в количестве и последовательности операций. Подготовка сырья к брикетированию представляет собой сочетание механических и теплотехнических процессов. Технологический процесс брикетирования состоит из:

- подготовки сырья к брикетированию (дробление, сушка, дозировка и смешивание компонентов);
- прессования брикетной шихты;
- операция обработки брикетов в целях отделения мелочи и упрочнения.

К связующим материалам предъявляется ряд требований. Во-первых, связующий при брикетировании должно обеспечивать необходимые прочностные свойства брикета как в холодном состоянии, так и при температуре металлургического процесса. Одновременно связующий материал не должен вносить вредных и балластных примесей в материал.

Брикетирование мелкодисперсных материалов с использованием связующих веществ, в отличие от брикетирования без их применения, позволяет получать качественные брикеты практически из любых материалов при относительно низких давлениях прессования [11]. К связующим веществам предъявляются специфические требования [2; 6; 7; 8; 12; 13]:

- высокая поверхностная активность и хорошее смачивание поверхности брикетируемого материала;
- наличие пластических свойств;
- устойчивость к атмосферным осадкам, температуре, окислению атмосферным кислородом;
- отсутствие веществ, загрязняющих готовую продукцию;
- высокая скорость отвердения;
- отсутствие возникновения в отвердевшем связующем высоких внутренних напряжений, способных к разрушению клеевого соединения;
- отсутствие летучих соединений, токсически воздействующих на организм человека;
- дешевизна и доступность;
- легкость применения;
- стойкость при хранении и транспортировке;

Если до недавнего времени в черной металлургии широко использовались неорганические связующие типа цемента или бентонита, то в настоящее время набирают популярность полимерные органические связующие, которые могут частично или полностью заменить неорганические [14; 15; 16; 17]. Как правило, полимерные связующие разлагаются при высоких температурах без выделения опасных продуктов распада и полностью улетучиваются.

Цель работы – исследование применимости полимерного реагента полиакриламид при окусковании мелкодисперсного хромового сырья в качестве связующего материала. Разработка технологии окускования для переработки в различных металлургических агрегатах, а также выбор рационального расхода связующего для снижения затрат. В качестве основных методов окускования были выбраны брикетирование на гидравлическом прессе (модель-валкового пресса) и экструзия.

#### **Материалы и методы**

В качестве материала для окускования использовалось мелкодисперсное хромовое сырьё Кемпирсайского месторождения. Химический состав образца представлен в таблице 1, использованного материала определяли тетраметрическими методами с переведёнными в раствор исследуемыми материалами. Материал представляет собой сыпучее вещество, получаемое после сушки хромовой руды. Гранулометрический состав образца представлен в таблице 2. Этот материал представляет ценность как хроморудное сырьё, так как содержание оксида хрома в нём составляет порядка 43-49 %. В промышленности такое сырьё в основной массе окусковывается и применяется в качестве добавки в шихту при плавке ферросплавов [17;18; 19].

Таблица 1 – Химический состав мелкодисперсного хромового сырья из Кемпирсайского месторождения №1

Влага	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	C	S	P	ППП
-------	--------------------------------	------------------	-----	-----	--------------------------------	-----	---	---	---	-----

---



---

0,34 48,81 7,80 0,51 19,71 7,13 12,24 0,49 0,024 0,002 3,793

Таблица 2 – Гранулометрический состав материала

Рассев в лабораторных условиях, масс. %			
-0,2+0,1 мм	-0,1+0,071 мм	-0,071+0,040 мм	-0,040 мм
1,15	1,89	21,47	75,48

В качестве связующего было выбрано органическое вещество полиакриламид (далее ПАА) представляющий собой полимер на основе амида акриловой кислоты. ПАА - твердое, аморфное кристаллическое вещество, белое или частично прозрачное, без запаха, порошок крупностью менее 1 мм. Растворяется в воде, глицерине, этиленгликоле, ледяной уксусной кислоте; набухает в пропионовой кислоте, диметилсульфоксиде и пропиленгликоле.

Хромовое сырьё было предварительно высушено в сушильном шкафу до постоянной массы. Взвешивание материалов производили на электронных весах KERN EW 3000 – 2М.

Сырые смеси для брикетирования и экструдирования подготавливали по единой методике. Для смешивания использовалась лабораторная однолопастная смесительная машина с регулируемой скоростью вращения лопасти. Смешение материалов в ней производится в горизонтальной плоскости с концентрическим движением оси вращающейся лопасти. Сухое перемешивание на смесителе осуществляли в течение 10 минут. Для придания склеивающих качеств ПАА требуется добавка воды, что приводит к его растворению и хорошему объёмному распределению. В сухую смесь добавляли воду и перемешивали до получения однородного состояния смеси. Для формования брикетов использовался гидравлический лабораторный пресс ИП-1000 и стальная форма с цилиндрическим отверстием диаметром 30 мм. Расход связующего материала выбирался в соответствии с инструкцией по применению, а также на основе литературных и экспериментальных данных [14-17]. Усилие формования брикетов составляло 7 кН/см<sup>2</sup>. В таблице 3 представлено соотношение компонентов брикетов.

Таблица 3 – Состав опытных брикетов

Вариант	Связующее, масс. %	Влага сверх сухой массы, масс. %
Брикет 1	3	5
Брикет 2	2	6
Брикет 3	1	6
Брикет 4	3	4
Брикет 5	2	4

Полученные брикеты представляли собой цилиндры диаметром 30 мм высотой 30 мм, весом по 60 г. Сушку брикетов производили в различных условиях. Для каждого вида сушки использовали по три брикета. Сушка в естественных условиях проходила при температуре 20°C в течение 2 суток. Принудительная сушка осуществлялась в сушильном шкафу Nabertherm TR 420 работающем в режиме объёмной сушки горячим воздухом. Сушку в шкафу осуществляли при температуре 120°C в течение 180 минут. Внешний вид брикетов представлен на рисунке 1.

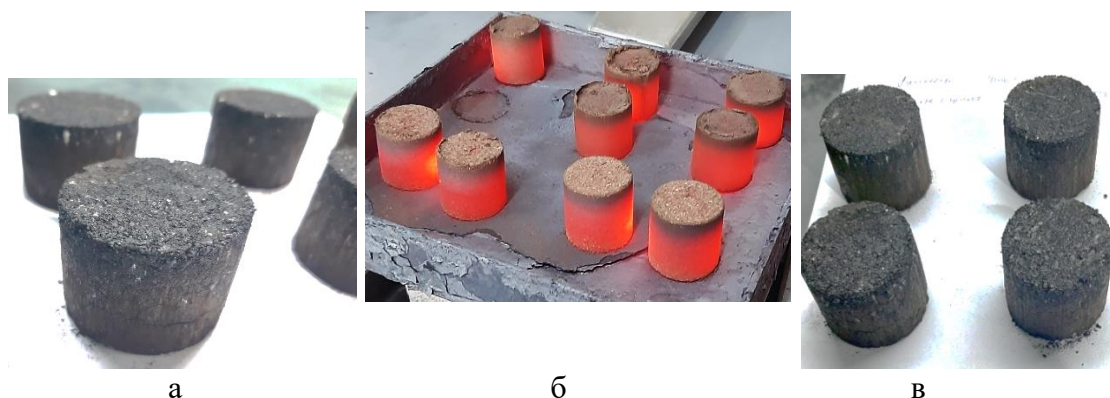


Рисунок 1. Внешний вид брикетов.

а – сырые брикеты; б – горячие брикеты; в – высушенные брикеты.

Для экструзии смеси использовали шнековый гранулятор модели ФШ-004РК02, на который предварительно установили фильеру с одним формовочным каналом круглого сечения диаметром 16 мм. В процессе экструдирования при выходе из фильеры брэксы надламывали вручную на куски длиной 60-70 мм (рис.1), весом 80-90 г. В таблице 4 представлено соотношение компонентов сырых брэксов.



Рисунок 2. Экструзия на шнековом грануляторе

Таблица 4 – Состав опытных брэксов

Вариант	Связующее, масс. %	Влага сверх сухой массы, масс. %
Брэкс 1	3	10
Брэкс 2	3	12
Брэкс 3	2	10
Брэкс 4	2	12
Брэкс 5	1	12
Брэкс 6	0,5	12

Полученные брэксы укладывали в металлические поддоны, затем часть из них сушили в естественных условиях при температуре 20°C с замером их прочности по истечении 1 и 4 суток. Остальную часть брэксов подвергали принудительной сушке в аналогичных условиях что и брикеты.

Часть брикетов после принудительной сушки подвергали испытанию на определение горячей прочности. Высушенные брикеты помещали в нагретую до 1000°C муфельную печь и выдерживали в ней для максимально полного прогрева



брикетов в объёме. По истечении 30 минут брикеты извлекали и в горячем виде проверяли прочность на сжатие,

Замер прочности производили на автоматическом испытательном прессе RB-1000, ИП-1000 и на установке по определению прочности на сбрасывание (рис.3). Усилие сжатия при испытании на прочность прикладывалось в радиальном направлении брикета/брэкса перпендикулярно усилию его формования. Пунсон испытательного пресса представляет собой стальной пруток диаметром 20 мм.



а

б

в

Рисунок 3 – Гидравлический пресс: а – ИП-1000, б – RB-1000, в – установка по определению прочности на сбрасывание

Брикеты и брэксы были испытаны на сброс, удар и истирание. Для определения прочности на удар и истирание использовали барабанный истиратель типа - АП50Б ЗМТ УЗ (ГОСТ 15137-77). Количество материала для определения прочности на удар и истирание составляет не менее 15 кг. Материал загружается в барабан, после закрывания крышки барабан вращается в количестве 200 оборотов.

Для определения прочности на сбрасывание использовали установку по определению прочности на сбрасывание (ГОСТ 25471-82), в соответствии с которыми партии брикетов и брэксов сбрасывают на металлическую поверхность с высоты 2000 мм и определяют выход образовавшейся мелочи (класс крупности менее 5 мм). Процесс сбрасывания происходит три раза. Считается, что брикеты и брэксы удовлетворяют требованиям по прочности на сбрасывание, если состав образующейся мелочи не превышает 10 или 15%. Это указывает, что транспортировка огромных



брикетов и брэксов может быть обеспечена лишь в условиях логистики, исключающей неоднократные сбрасывания.

### Результаты и обсуждение

Результаты испытания брикетов на прочность представлены на графике рисунка 4.

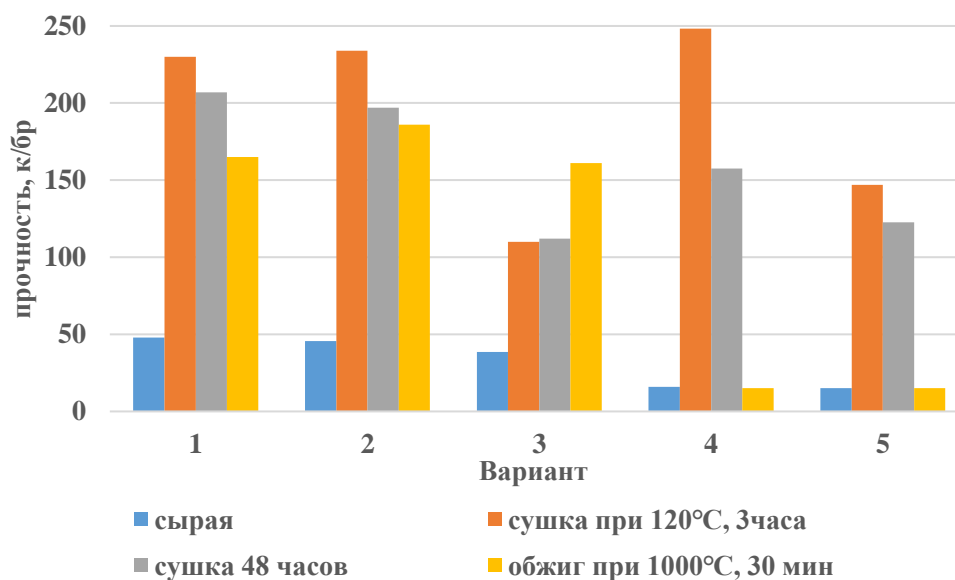


Рисунок 4 – Результаты испытания прочностных характеристик брикетов

Наибольшую прочность на сжатие показывают брикеты №4 после принудительной сушки при температуре 120°C с выдержкой в течение 3 часов с содержанием связующего материала 3 %. Наиболее высокий показатель сырой прочности в 50 кгс/брикет показывают вариант брикета № 1 с содержанием связующего также 3 %. За исключением образцов №4 и №5, горячая прочность остальных брикетов сопоставима. Исходя из графика рисунка 3 из всех вариантов брикета можно принять, что наиболее оптимальный по всем прочностным характеристикам является вариант брикета №2, так как все показатели прочности выше других составов брикета.

На рисунке 5 представлены результаты замера прочности брэксов.

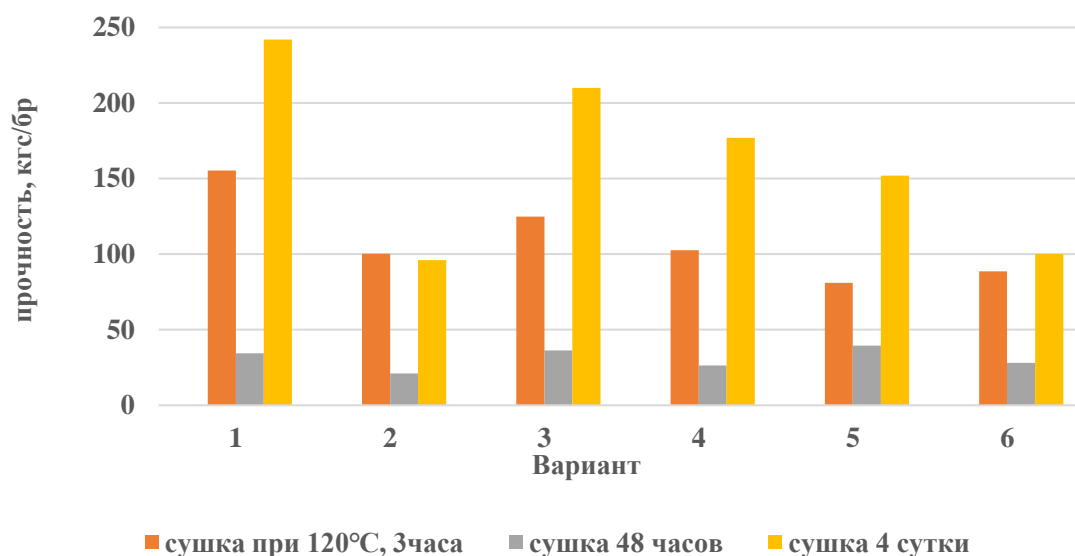


Рисунок 5 – Результаты испытания прочностных характеристик брэксов

Прочность сырых брэксов не достигла значений 20 кгс/брэкс. Наибольшей прочностью обладают брэксы после естественной сушки в течение 4 суток, достигнута прочность в 242 кгс/брэкс. Брэксы после принудительной сушки при 120°C в течение 3 часов так же показывают высокую прочность на сжатие, до 155 кг/брэкс. Для определения прочности на удар и истирание (ГОСТ 15137-77) и на сброс (ГОСТ 25471-82) выбрали варианты брикетов №1 и №2, а брэксов №5 и №6. Выбор вариантов брикетов для определения прочности был обусловлен тем, что данные варианты имеют наибольшие показатели прочности. Что касается брэксов, то они были выбраны с точки зрения уменьшения затрат на связующий материал. Результаты испытания представлены в таблице 5.

Таблица 5 –Прочность на удар и на истирание

Вариант	Прочность, кгс/бр		Прочность сухого продукта на 3-х разовый Сброс с высоты 2000 мм, %	
	на удар	на истирание	>5	<5
Брикет 1	96,1	3,9	98,85	1,15
Брикет 2	92,33	7,67	96,54	3,46
Брэкс 5	95,8	2,3	97,33	2,66
Брэкс 6	42,4	45,3	93,19	6,81

Как видно из таблицы 5 брикеты прочнее брэксов в среднем на 25 % 18,02 % и 2,4 % по показателям прочности на удар, истирание и сброс соответственно. Но необходимо отметить, что расход связующего материала в брикетах на 1 и 2 % больше в отличие от брэксов.

### Выводы

На основании проведенных лабораторных исследований по окускованию, можно сделать следующие выводы: при использовании в качестве связующего материала полиакриламида брикеты и брэксы продемонстрировали относительно высокую прочность. В случае брикетирования мелкодисперсного хромового сырья добавка полиакриламида в количестве до 3 % достаточно для получения брикетов с высокой прочностью. При получении экструдированных брикетов (брэксов) высокая прочность достигается путем добавления полиакриламида в количестве до 1%. На основании анализов лабораторных исследований установлено, что:

Механическая прочность брикетов и брэксов необходимая для транспортировки и многочисленных пересыпок в этом случае достигается путем принудительной сушки и вылеживания в естественных условиях в течение 2-4 суток. Что касается выбора типа окускования с точки зрения устойчивости к транспортировке и многочисленных пересыпок, производство брикетов предпочтительнее чем брэксов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Плотников, В. В. «Анализ способов получения железосодержащих брикетов из природного и техногенного сырья» // В. В. Плотников, О. В. Бабаевская // Горный вестник.– 2019. – Вып. 105. – С. 39-42.

2 Данилова, Ю. С., Перистый, М. М. Производство железорудных брикетов – перспективный способ подготовки металлургических отходов // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів / Збірка доповідей XXI Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів. Т.1. Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ. – 2011. – с.67-68.

3 Ожогин, В. В., Томаш, А. А., Ковалевский И. А. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья // Металлургические процессы и оборудование. – 2005. – №2. – с.54-58.

4 Ожогин, В. . Основы теории и технологии измельченного металлургического сырья. – Мариуполь : ПГТУ. – 2010. – 442с.

5 Елишевич, А. Т. Брикетирование полезных ископаемых. Одесса : Лидыбь. – 1990. – 296с.

6 Равич, Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. М. : Металлургия. – 1975. – 232с.

7 Равич, Б. М. Брикетирование руд. М. : Недра. – 1982. – 183с.

8 Ушаков, К. И., Фельман, Р. И., Садыков, В. И. Брикетирование в цветной металлургии // Обзорная информация института ЦНИИцветмет экономики и информации. – 1979. - № 11. – 83 с.

9 Носков В. А., Баюл, К. В. Обзор исследований процесса брикетирования мелкофракционных материалов в валковых прессах. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. трудов ИЧМ НАН Украины. – 2005. – №11.– с.289-293.

10 Аксенова, В. В., Алимбаев, С. А., Павлов, А. В., Мустафин, Р. М.,

«Брикетирование пористых глиноземсодержащих материалов на органических связующих» // *Металлургические технологии / Metallurgical technologies, Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, v ol. 64, n o. 5, pp . 323–329.

11 Еремин, А. Я., Бабанин, В. И. Изменение физико-механических свойств смесей мелкозернистых материалов со связующими на стадиях подготовки и прессования в процессе брикетирования // *Кокс и химия*. – 2003. – №4. – с.17-

12 Рывкин, И. Ю., Еремин, А. Я., Литвин, Е. М., Бабанин, В. И. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующим // *Кокс и химия*. – 2000. – №10 – с.36-43

13 Носков, В. А., Маймур, Б. Н., Петренко, В. И., Ващенко С. В., Крюков, В. В., Лебедь, А. Т. Разработка и исследование связующих добавок для брикетирования отсевов силикомарганца // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск : ИЧМ НАН Украины. – 2005. –№.10. – с. 321-327.*

14 Юленков, Н. С., Муравский, А. А., Литосов, Г. Э. и др. Свойства композиций полиакриламида и пентанпентаола. В кн. : *Наука сегодня: задачи и пути их решения : Материалы Международной научно-практической конференции. 29 мая 2019 г., Вологда. Вологда: Маркер, 2019. С. 52–53.*

15 Хадыев, Я. А., Антонова, М. В. Влияние состава связующего на свойства композиционного материала. В кн. : *Молодежь и XXI век – 2020 : Материалы X Международной молодежной научной конференции. 19–20 февраля 2020 г., Курск. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 411–413.*

16 Zhang G., Sun Y., Xu Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 477–487.

17 Sunde, M. Organic binder as a substitute for bentonite in ilmenite pelletization: *Cand Tech. Sci. Diss. Norway*, 2012. 104 p.

18 Алимбаев, С. А., Алмагамбетов, М. С., Нургали, Н. З., Павлов, А. В. Применение экструзионных брикетов для выплавки углеродистого феррохрома // *Черные металлы*. 2020. №. 5. С. 4–8.

19 Kurunov, I., Bizhanov, A. *Stiff Extrusion Briquetting in Metallurgy*. Springer International Publishing, 2018.

## REFERENCES

1 Plotnikov, V. V. «Analiz sposobov polucheniya zhelezosoderzhashhix briketov iz prirodnogo i texnogenного sy`r`ya» [“Analysis of methods for obtaining iron-containing briquettes from natural and technogenic raw materials”] // V. V. Plotnikov, O. V. Babaevskaya // *Mining Bulletin*. - 2019. - Issue. 105. - P. 39-42.

2 Danilova, Yu. S., Peristy, M. M. Proizvodstvo zhelezorudny`x briketov – perspektivny`j sposob podgotovki metallurgicheskix otkodov [The production of iron ore briquettes is a promising method for the preparation of metallurgical waste]. *Protection of waste and rational recovery of natural resources / Collection of evidence from the XXI All-Ukrainian Scientific Conference of graduate students and students*. Vol. 1. Donetsk : DonNTU, DonNU. - 2011. - p. 67-68

3 Ozhogin, V. V., Tomash, A. A., Kovalevsky, I. A. Briketirovanie kak polnopravny`j metod okuskovaniya metallurgicheskogo sy`r`ya [Briquetting as a full-fledged method of

agglomeration of metallurgical raw materials] // Metallurgical processes and equipment. - 2005. - No. 2. – pp. 54-58.

4 Ozhogin, V. V. Osnovy` teorii i texnologii izmel`chennogo metallurgicheskogo sy`r`ya [Fundamentals of the theory and technology of crushed metallurgical raw materials]. – Mariupol : PSTU. - 2010. – 442 p.

5 Elishevich, A. T. Briketirovanie polezny`x iskopaemy`x. [Briquetting of minerals]. Odessa : Lidyb. - 1990. – 296 p.

6 Ravich, B. M. Briketirovanie v czvetnoj i chernoj metallurgii. [Briquetting in non-ferrous and ferrous metallurgy]. Moscow : Metallurgy. - 1975. - 232p.

7 Ravich, B. M. Briketirovanie rud [Briquetting of ores]. Moscow : Nedra. - 1982. – 183 p.

8 Ushakov, K. I., Felman, R. I., Sadykov, V. I. Briketirovanie v czvetnoj metallurgii [Briquetting in color metallurgy] // Overview information of the Institute of Central Scientific Research Institute of Economics and information. - 1979. - No. 11. - 83 p.

9 Noskov, V. A., Bayul, K. V. Obzor issledovaniy processa briketirovaniya melkofrakcionny`x materialov v valkovy`x pressax. Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` chernoj metallurgii [Briquetting Process Research Review fine fraction materials in roller presses. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]. Sat. scientific Proceedings of HMI NAS Ukraine. - 2005. - No. 11. - pp. 289-293.

10 Aksenova, V. V., Alimbaev, S. A., Pavlov, A. V., Mustafin, R. M. «Briketirovanie poristy`x glinozemsoderzhashhix materialov na organicheskix svyazuyushhix» [“Briquetting of porous alumina-containing materials on organic binders”] // Metallurgical technologies/Metallurgical technologies, Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2021, vol. 64, no. 5, pp. 323–329.

11 Eremin, A. Ya., Babanin, V. I. Briketirovanie melkozernisty`x i tonkodispersny`x materialov so svyazuyushhim [Change in physical and mechanical properties mixtures of fine-grained materials with binders at the stages of preparation and pressing during briquetting] // Coke and chemistry. - 2003. - No. 4. - p. 17-

12 Ryvkin, I. Yu., Eremin, A. Ya., Litvin, E. M., Babanin, V. I. Briketirovanie melkozernisty`x i tonkodispersny`x materialov so svyazuyushhim [Briquetting fine-grained and finely dispersed materials with a binder] // Coke and Chemistry. - 2000. - No. 10 - p. 36-43

13 Noskov, V. A., Maimur, B. N., Petrenko, V. I., Vashchenko, S. V., Kryukov, V. V., Lebed, A.T . Razrabotka i issledovanie svyazuyushhix dobavok dlya briketirovaniya otsevoj silikomargancza [Development and research of binding additives for briquetting screenings of silicomanganese] // Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy : Sat. scientific tr. – Dnepropetrovsk : HMI NAS of Ukraine. - 2005. - No. 10. - With. 321-327.

14 Yulenkov, N. S., Muravskii, A. A., Litosov, G. E. and other Svoystva kompozicij poliakrilamida i pentanpentaola [Properties of compositions of polyacrylamide and

pentanpentaol]. In: Science Today: Tasks and Ways to Solve Them: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. May 29, 2019, Vologda. Vologda: Marker, 2019, pp. 52–53.

15 Khadiev, Ya. A., Antonova, M. V. Vliyanie sostava svyazuyushhego na svoystva kompozitsionnogo materiala [Influence of the composition of the binder on the properties of the composite material]. In: Youth and the 21st Century - 2020: Proceedings of the X International Youth Scientific Conference. February 19–20, 2020, Kursk. Kursk: Southwestern State University, 2020, pp. 411–413.

16 Zhang, G., Sun, Y., Xu, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018 Vol. 82. P. 477–487.

17 Sunde, M. Organic binder as a substitute for bentonite in ilmenite pelletization: Cand Tech. sci. Diss. Norway, 2012. 104 p.

18 Alimbaev, S. A., Almagambetov, M. S., Nurgali, N. Z., Pavlov, A. V. Primenenie e`kstruzionny`x briketov dlya vy`plavki uglerodistogo ferrokhroma [The use of extrusion briquettes for the smelting of carbon ferrochrome] // Chernye metally. 2020. no. 5. P. 4–8.

19 Kurunov, I., Bizhanov, A. Stiff Extrusion Briquetting in Metallurgy. Springer International Publishing, 2018.

Поступило в редакцию 19.06.2023

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 04.03.2024

**\*С. А. Лайхан, Н. А. Улмаганбетов, М. С. Досекенов, М. С. Алмагамбетов**

«ERG ғылыми-зерттеу инжинирингтік орталығы» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

19.06.2023 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

04.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ПОЛИМЕРЛІ БАЙЛАНЫСТЫРУШЫ РЕАГЕНТТІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, КЕМПІРСАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ ҰСАҚ ДИСПЕРСТІ ХРОМ ШИКІЗАТЫН КЕСЕКТЕУ ТӘСІЛДЕРІ**

*Бұл мақалада кен шикізатын өңдеудің қолданыстағы әдістері сипатталған. Олардың негізгі әдістері мен механизмдері қарастырылады. Брикеттер мен брекстерді қалыптастыру технологиялары егжей-тегжейлі сипатталған. Жұмыста зерттелетін материалдар ретінде Кемпірсай кен орнының ұсақ дисперсті хром шикізаты пайдаланылды. Материал-хром кенін кептіргеннен кейін алынған сусымалы зат. Ұсақ дисперсті шикізаттың химиялық және гранулометриялық құрамы келтірілген. Байланыстырушы материал ретінде органикалық зат, қатты және аморфты материал полиакриламид қолданылады. Бұл акрил қышқылының амидіне негізделген полимер, иіссіз, ұнтақ мөлшері 1 мм-ден аз болып келеді. Салыстырмалы талдау жасалды, кесектеу брикеттер мен брекстер арасындағы айырмашылықтар талқыланады. Брикеттер мен брекстер қаттылық қасиетін аңықтау үшін, беріктігін анықтауға арналған қондырғыда, арнайы соққыда және барабанда сыналды. Кестеде*

*көрсетілген брикеттер мен брекстердің беріктігін аңықтау нәтижелері келтірілген. Алынған өнімдердің сапалық көрсеткіштері және тасымалдауға төзімділігі және көптеген құймалар бағаланды. Қоспаның оңтайлы құрамының рецепті таңдалады. Брикеттер мен брекстердің сапасына әсер ететін факторлар анықталды.*

*Кілтті сөздер: Полиакриламид, хром-рудалық шикізат, брикеттеу, кесектеу, жартылай құрғақ қалыптастыру, брекстер, экструзия.*

**\*S. A. Laikhan, N. A. Ulmaganbetov, M. S. Dossekenov, M. S. Almagambetov**

LTD «Research Engineering Center ERG», Republic of Kazakhstan, Aktobe

Received 19.06.2023

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 04.03.2024

### **METHODS FOR GRINDING FINE CHROMIUM RAW MATERIAL FROM THE KEMPIRSAY DEPOSIT WITH THE USE OF A POLYMERIC BINDING REAGENT**

*This article describes the existing methods of agglomeration of ore raw materials. Their main methods and mechanisms are considered. The technologies for the formation of briquettes and brex are described in detail. In the work, finely dispersed chromium raw materials from the Kempirsai deposit were used as the materials under study. The material is a free-flowing substance obtained after drying chromium ore. The chemical and granulometric composition of finely dispersed chromium raw materials are given. The binder material is organic matter, solid and amorphous material polyacrylamide. Which is a polymer based on acrylic acid amide, odorless, powder with a particle size of less than 1 mm. A comparative analysis and differences between the methods of agglomeration were made. The procedure for carrying out agglomeration is described, and the results of laboratory studies on agglomeration are also obtained. The briquettes and brex were tested for drop, drop, impact and abrasion strength. The results of testing briquettes and brex for strength are given, which are presented on the graph. Qualitative indicators of the obtained agglomerated products and resistance to transportation and numerous transfers were evaluated. The recipe for the optimal composition of the mixture for agglomeration has been selected. The factors influencing the quality of briquettes and brex are determined.*

*Keywords: Polyacrylamide, chrome raw materials, briquetting, agglomeration, semi-dry molding, brex, extrusion.*

МРНТИ 53.03.01

**Л. Лиакын<sup>1</sup>, Ж. С. Оналбаева<sup>1</sup>, С. В. Мамяченко<sup>2</sup>,  
Н. А. Куленова<sup>1</sup>, \*Г. К. Даумова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

<sup>2</sup>Ресейдің тұңғыш Президенті Б. Н. Ельцин атындағы

Орал федералды университеті, Ресей Федерациясы, Екатеринбург қ.

\*e-mail: [gulzhan.daumova@mail.ru](mailto:gulzhan.daumova@mail.ru)

### ***Fe<sup>3+</sup> ИОНДАРЫН ГИДРОЛИТИКАЛЫҚ ТҰНДЫРУ ПРОЦЕСІН ПОТЕНЦИОМЕТРИЯЛЫҚ ТИТРЛЕУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ***

Ұсынылып отырған мақалада түсті металдардың гидрометаллургиясы саласына, атап айтқанда, құрамында түсті металдар бар сульфат ерітінділерін темірден тазарту үрдісі зерттелген. Аталған әдіс қышқылды әктаспен немесе әкпен бейтараптандыру арқылы жүргізіліп, содан кейін гидролитикалық тұндыру үрдісі жүзеге асырылады. Мырыш сульфаты ерітіндісіндегі темірдің үш валентті иондарын  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ерітіндісімен тұнбаға түсіру үрдісі потенциометрлік талдау әдісімен зерттеліп, темір иондарының концентрациясы мен сутектік көрсеткіші (pH) мәні арасындағы тәуелділік анықталған. Темір иондарын потенциометриялық әдіспен титрант ретінде әк суын қолдану арқылы мырыш сульфаты ерітіндісін темір иондарынан тазартуда қанша мөлшерде әк ерітіндісі керек екендігін дәл есептеуге болады. Сонымен қатар, темір гидратының пайда болуының pH мәні  $\text{Fe}^{3+}$  иондарының бастапқы концентрациясына байланысты екендігін көрсетті. Бастапқы электролитта темір иондары қаншалықты көп болса, гидроксид түзілуінің pH мәні соншалықты төмен болатыны эксперименттік жолмен анықталынды. Ерітіндіде  $\text{Fe}^{3+}$  иондарының концентрациясы төмен болған сайын гидроксид түзілуінің pH мәні соншалықты жоғары болатындығы айқындалды. Сонымен қатар, катализатор ретінде қолданылған  $\text{Cu}^{2+}$  иондарының ерітіндіде болуы гидроксид түзілуінің pH мәніне айтарлықтай әсер етпейтіндігі де анықталынды.

*Кілтті сөздер:* потенциометрия, титратор, мырыш сульфаты ерітіндісі, темірдің үш валентті ионы, гидролитикалық тұндыру.

#### **Кіріспе**

Дүние жүзіндегі мырыштың шамамен 85%-ы қазіргі уақытта RLE (күйдіру-сілтілеу-электролиз) процестерімен өндіріледі, ал ол өз кезегінде өндірілген әрбір тонна мырыш үшін 0,5–0,9 тонна құрғақ ярозит қалдық ретінде қалады, себебі ерітіндідегі темір деңгейі тұнбаға түсіру арқылы бақыланады [1].

Қазіргі таңда мырыш өндірісінде төмен сапалы күрделі құрамды концентраттардан жоғары сапалы стандарттарға сай өнім алуға қиындық туындап немесе өнімнің өзіндік құнының жоғарылауы байқалады.

Осы өзекті мәселені шешуде концентратты атмосфералық ерітінділеу арқылы өнім алу үрдісін атап өтуге болады. Дегенмен осы әдіспен алынған ерітіндінің



құрамындағы қоспалардың мөлшері, әсіресе ерітіндіден бөліп алуға тиісті бірінші компонент темірдің екі және үш валентті иондарының мөлшері дәстүрлі әдіспен алынған ерітіндідегі темір иондарының концентрациясымен салыстырғанда 14-15 есеге дейін жоғары екендігі химиялық талдау нәтижесінде анықталды. Бұл ретте темір иондарының гидроликалық тұндыру процесін зерттеудің маңызды екендігі белгілі [2].

Жер бетіндегі әртүрлі металл рудаларында темірдің әртүрлі фазалары болады. Сондықтан қоспа болып саналатын темір металл алу процестеріне, әсіресе мырыш гидрометаллургиясына маңызды үрдіс болып есептеледі. Fe(II/III) және Zn(II) әртүрлі электрондық қасиеттеріне байланысты ZnSO<sub>4</sub> ерітіндісіндегі темір иондары мырыштың электролиз процесіне айтарлықтай әсер етеді, сондықтан мырыш гидрометаллургиясында темірді ZnSO<sub>4</sub> ерітіндісінен тазарту міндетті үрдіс болып табылады [3].

Жұмыс параметрлеріне және құрамында темір бар фазаларға сәйкес темірді алуға келесі мысалдарды келтіруге болады. Бұл әдістерге темірдің тотығуы және темір гидролизі, темір гидроксиді (Fe(OH)<sub>3</sub>) коллоидты, ярозит (мысалы, темір гидроксиді) сияқты құрамында темір бар әртүрлі фазаларды тұндыру кіреді: KFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>, NaFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> және (NH<sub>4</sub>)Fe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>, гетит (α-FeOOH) және гематит (α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Олардың ішінде бейтараптандыру процесі кезінде ерітінділерден қиын бөлінетін темір гидроксиді коллоидының көп мөлшері түзіледі, сондықтан ол ерітіндідегі темірдің концентрациясы 3 г/л-ден аз ерітінділерге ғана жарамды. Сонымен қатар, мырыш гидрометаллургия өнеркәсібінде ярозит пен гетит «Ұлттық қауіпті қалдықтар тізіміне» енгізілген. Сондықтан ярозит процесі мен гетит процесі тиімсіз әдістер болып табылады. Гематитті темір ресурсы ретінде пайдалануға болатынына қарамастан, оны өңдеу өте жоғары операциялық және инвестициялық шығындарды талап етеді. Сонымен қатар, осы күнге дейінгі зерттеулердің көпшілігі ярозит процесіне, гетит процесіне және жоғары температура мен қысымды гематит процестеріне бағытталғанын атап өтуге болады [3].

Мырыш сульфаты ерітінділеріндегі темір иондары электртұндыру және тазарту процестері арқылы жойылуы керек. Бұл әдістерде ерітіндідегі темір иондары (Fe<sup>3+</sup>) температура, рН және тұз құрамы сияқты әртүрлі жағдайларда гидролизденіп, сәйкесінше темірді тазарту үрдісіне қол жеткізуге болады. Гидрометаллургиялық шаймалау суспензиясының рН мәні әдетте 2,5-тен 6,5-ке дейін ауытқиды. Ерітінді рН-ның темір иондарының тотығуына әсерін зерттеу үшін рН 4, 5 және 6-ға үш редуктордың реактивті қуаты мен 25 °С температурада реттеледі [4].

Келесі өнертабыста құрамында түсті металдар бар сульфат ерітінділерін темірден тазартуға темірдің (III) иондарын қышқылды әктаспен немесе әкпен бейтараптандыруды, содан кейін жоғары температура мен оттегі қысымында автоклавта оксигидролиз арқылы темірді тотықтыруды және гидроликалық тұндыруды қамтиды. Бұл жағдайда бейтараптандырудан кейін алынған пульпа оксигидролизге ұшырайды. Бұл пульпа гипс кристалдарын қамтиды, олар кристалдану орталықтары ретінде қызмет етеді және темірдің ірі, тез сүзілетін тұнба түрінде тұнбаға түсуіне ықпал етеді. Бейтараптандыруды құрамында 15-20 г/л кем емес күкірт қышқылы бар және рН 0,5-2,5 дейін болатын ерітіндіде жүргізеді [5].

Тағы бір жұмыста әртүрлі металл қоспаларының темір оксигидратымен бірге тұнбаға түсуі  $Cr^{3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$  қатарына сәйкес келетіні анықталып, бұл осы металл оксигидраттарының тұндыру алдындағы рН мәндеріне байланыстылығы дәлелденген [6].

Сонымен қатар, бірге тұндыру процестері негізінен микрокомпоненттердің тасымалдаушыдағы (макрокомпонент) концентрациясына немесе ерітінділерді микрокоспалардан тазартуға байланысты да зерттелгенін атап өтуге болады [7].

Қандай да бір процесті алып қарайтын болсақ та, гидролитикалық тұну мүмкіндігі туралы ұғымның термодинамикалық және кинетикалық мәні болатыны белгілі. Кинетикалық сипаттама ретінде рН мәні берілген температурада ерітіндінің концентрациясына тәуелді болатындығы анықталған [8].

Келесі зерттеуде диаметрі 20-40 нм болатын альфа-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наносфералары және диаметрі 150-200 нм және ұзындығы 0,5-1,0 мум FeOОН нанофералары сәйкесінше ерітінділерде Fe(NO<sub>3</sub>) және FeCl<sub>3</sub> гидролизі арқылы синтезделді. Fe<sup>3+</sup> иондары мен мочевианың молярлық қатынасы таза фазалар алынғанша өзгертілді. Таза гематит және бета-FeOОН фазаларын қамтамасыз ететін синтездің негізгі параметрі рН болады [9].

Талдаудың потенциометриялық әдісі ерітіндіге батырылған электродтың потенциалының өзгеруіне негізделген. Мұндай электродтың потенциалы ерітіндідегі сәйкес ионның концентрациясына және ерітіндінің электрохимиялық қасиетінің өзгеруіне және химиялық реакцияның үрдісі кезіндегі пайда болған анықталатын затқа байланысты болады.

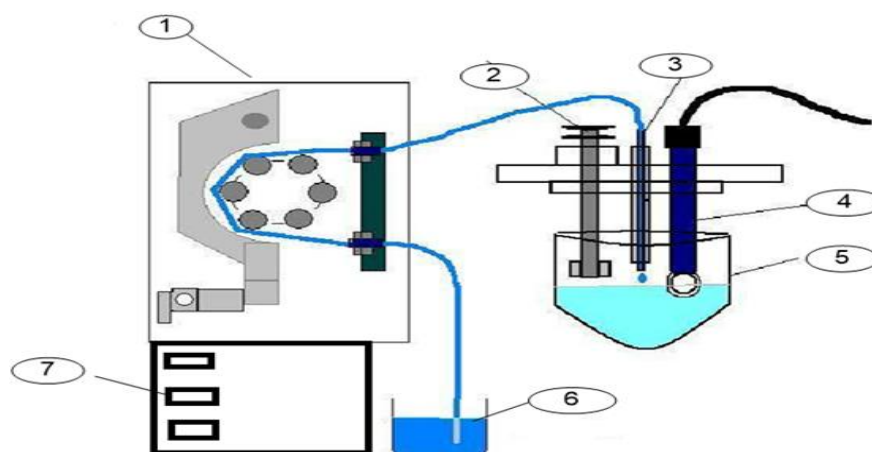
Электродтық потенциалдың шамасын өзгерте отырып, химиялық реакцияның жүруін бақылауға және айырым аналитикалық операцияларды жүзеге асыруды бақылауға болады. Тепе-теңдік потенциалының шамасын тікелей өзгерту мүмкін емес. Сандық мәліметтерді алу үшін қосымша әдіс қолданылады. Бір электродтың потенциалының шамасын келесі электродтың шамасына салыстыруға негізделген. Нақтылы потенциалдың шамасы ерітіндідегі заттарға және басым көпшілік жағдайда эксперимент арқылы ғана анықталады.

Темірді жою әртүрлі салалардағы пайдалы қазбалардан мақсатты металдарды алудағы маңызды қадам болып табылады. Ең типтік мысал ретінде мырыш гидрометаллургиясында Fe-Zn аралас минералды фильтраттан темірді алу болып табылады. Темірді келесі темір фазаларында (мысалы, темір гидроксиді, ярозит және гетит) тұндырып, жоюдың қолданыстағы әдістері көп мөлшердегі темір қалдықтарының пайда болуына әкеліп, бұл өз кезегінде жерді беталды қолдануға, ресурстарды жоғалтуға және қоршаған ортаға қауіп төндіреді. Бұл мәселені шешу үшін келесі жұмыста Fe-Zn аралас ерітіндісі сілтіге Fe-Zn аралас ерітіндісінің қосылуын бәсеңдету арқылы, мырышпен бірге тұндырылатын темірдің мөлшерін азайтатын магнетит (ең жоғары стехиометриялық темір құрамы бар минерал) ретінде жаңашыл түрде тұндырылды. Fe-Zn аралас ерітіндісінің баяу қосылуы Fe-құрамында аралық өнімдерді тұрақсыздандыратынын, содан кейін магнетиттің тез және тікелей түзілуіне ықпал ететіні анықталынды. Осылайша, ZnO және Fe-құрамында бар аралық өнімдердің бірге тұнбаға түсуі және онымен байланысты мырыштың тұнбамен бірге тұнуын болдырмайды. Кәдімгі әдіспен өндірілген құрамында темірі бар қалдықтармен салыстырғанда, баяу қосу әдісімен өндірілген магнетиттің массасы төмендеуі (1,67-ден 0,89 г-ға дейін азаюы), Zn/Fe қатынасы төмендеуі (0,214-тен 0,158-ге дейін азаюы) және магнитті бөлудің өнімділігі (38,28 г/м дейін өсті) байқалды. Аталған зерттеу темірді магнетит ретінде тиімді тұндырудың қарапайым жолын ұсынады және темір қалдықтарын азайту, онымен байланысты экологиялық мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін негізгі механизмдерді қарастырады [10].

Зерттеудің мақсаты құрамында темір иондарының концентрациясы 14-15 есе жоғары болатын мырыш сульфаты ерітіндісінен темір иондарын тұндыру арқылы бөліп алу процесін потенциометрлік әдіспен зерттеу.

### Зерттеу материалдары мен әдістері

Жұмыста қолданылған барлық реагенттер аналитикалық және химиялық таза реагенттер болды және қосымша тазартусыз қолданылды. Мырыш сульфаты ерітінділерін  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  (аналитикалық таза), темір сульфаты ерітінділерін  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  (химиялық таза), сусыз натрий сульфаты ерітіндісін  $Na_2SO_4$  (химиялық таза), сөндірілмеген әк  $CaO$  (химиялық таза) және ионсыздандырылған суды пайдаланып, дайындалды.  $FeSO_4$  ерітіндісі  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  ұнтағының белгілі бір мөлшерін 2 г/л темір ионының концентрациясына дейін еріту арқылы дайындалды. Барлық тәжірибелер табиғи температурада жүргізілді және орташа мәнді алу үшін үш рет қайталанды. Тотығу реакциясынан кейінгі ерітіндідегі  $Fe^{2+}$  қалдық концентрациясы химиялық титрлеу арқылы анықталды. Сондай-ақ темір иондарын тұндыру үшін METTLER TOLEDO маркалы G20S compact титраторы (1 сурет) қолданылды.



1-автобюретка; 2- магнитті араластырғыш; 3-бюретка; 4- аралас электрод; 5-титрлеуге арналған ұяшық; 6-титрант қоймасы; 7-микропроцессорлық басқару панелі

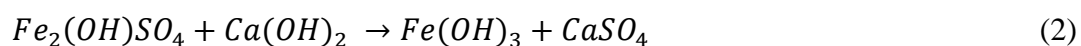
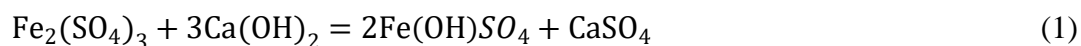
Сурет 1 – Титратордың жалпы сұлбасы

Тәжірибе потенциометриялық титрлеуге негізделген. Оның мәні зерттелетін ерітіндіні титрлеумен қатар, әк суының шығыны мен ерітіндінің рН мәні өзгеруі бойынша көрсеткіштер алуға болады. Алынған мәліметтерді титрлеу қисықтары негізінде көруге болады, олар бойынша реакциялар барысы анықталды.

Потенциометриялық талдау әдісі ерітіндіге батырылған электродтың потенциалын өлшеуге негізделген. Мұндай электродтың потенциалы ерітіндідегі тиісті иондардың концентрациясына және ерітіндінің электрохимиялық қасиеттерінің өзгеруіне немесе химиялық реакциялар процесіндегі анықталатын затқа байланысты жүреді. Электродтың потенциалының шамасын өлшей отырып, химиялық реакциялардың барысын қадағалап, жеке аналитикалық операцияларды бақылауға болады. Тепе-теңдік потенциалының шамасын тікелей өлшеуге болмайды. Сандық мәліметтерді алу үшін бір электродтың потенциалының шамасын басқа электродтың потенциалына қатысты анықтауға негізделген жанама жол қолданылады. Нақты

потенциалдың мәні ерітіндідегі заттарға байланысты және көп жағдайда оны тек тәжірибе негізінде анықтауға болады [11].

Титратордың көмегімен құрамында концентрациясы 1, 3, 5, 7 және 10 г/дм<sup>3</sup> болатын  $Fe^{3+}$  иондары қатысындағы  $ZnSO_4$  ерітіндісі 1 молярлы  $Ca(OH)_2$  ерітіндісімен титрленді. Титрлеуге арналған ұяшықта келесідей реакциялар жүреді:



Зерттеулер ерітінділермен жүргізілген тәжірибелердің үш сериясынан тұрды, г/дм<sup>3</sup>:

1. Zn – 123,8; Fe – 1, 3, 5, 7, 10.
2. Zn – 123,8; Fe – 1, 3, 5, 7, 10; Cu-1.
3. Zn – 123,8; Fe – 1, 3, 5, 7, 10; Cu-2.

Ерітінді келесі химиялық таза тұздардан дайындалды:  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

Зерттеу барысында алдымен бастапқы ерітіндінің рН мәнінің 0,5 болатындығы анықталды және бастапқы ерітінді әк суы ерітіндісімен бейтараптандырылды. Осыдан кейін алынған пульпа гидролизге ұшырайды. Бұл пульпа құрамында гипс кристалдары бар, олар кристалдану орталығы ретінде қызмет етеді және темірдің үлкен кристалды, жақсы сүзілетін тұнба түрінде тұндырылуына ықпал етеді.

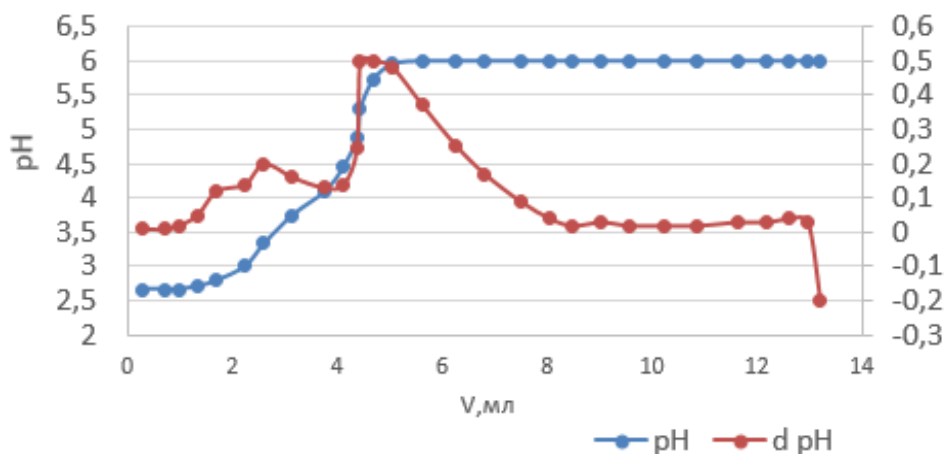
Титратордағы автоматты кюветадан реакциялық стаканға бірдей мөлшерде титрант яғни әк суы ерітіндісі жіберілді. Реакциялық стақанда шыны, хлорлы күміс және рН электродтарының қызыметін қатар атқаратын аралас электрод орналасқан. Микропроцессорлық басқару панелі арқылы титранттың және зерттелетін заттардың концентрациясын енгізілді. Нәтижесінде құрылғы титрлеудің эквиваленттік нүктесін, ерітінділердің көлемі мен рН мәні көрсетілген диаграмма арқылы дәл анықтайды.

#### **Нәтижелер мен талқылаулар**

Потенциометриялық титрлеу қисықтары қарапайым және дифференциалды түрде келтірілген. Бұл өңдеу эквиваленттік нүктені айтарлықтай дәл анықтауға мүмкіндік береді.

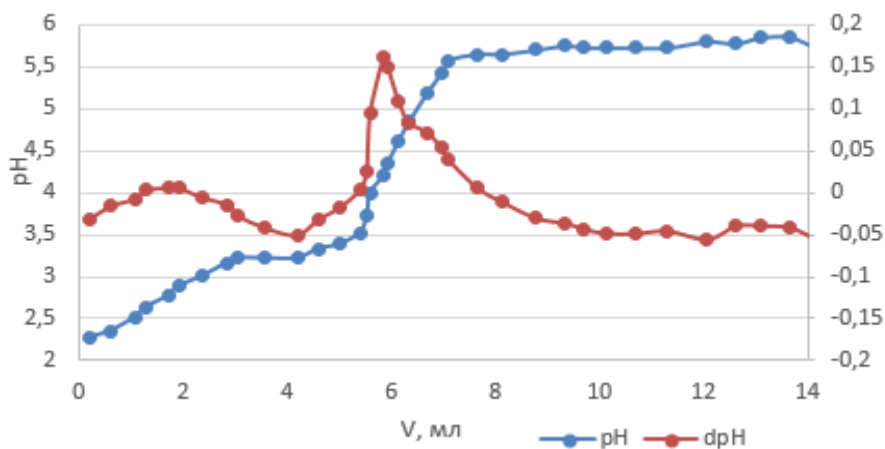
Темір иондарының сөндірілмеген әк ерітіндісімен потенциометриялық титрлеу қисықтарын талдау кезінде, процесс бірнеше дәйекті сатылардан өтеді, олар горизонтальді аймақтағы нақты қисықтардан және дифференциальды қисықтардағы пик-нүктелермен сипатталатынын айта кету керек. Осы айқын көрністер әсіресе темір иондарының концентрациясы 5-7 г/дм<sup>3</sup> болатын мөлшердегі титрлеуді сипаттайтын графиктерде байқалады.

2-суретте темір иондарының концентрациясы 1 г/дм<sup>3</sup> болатын ерітіндідегі сутектік көрсеткіш мәні мен дифференциалды мәндері келтірілген. Титрлеуді бастағанда рН мәні 2,5 болған, титранттың яғни әк суының көлемі 4,5 мл ден бастап рН мәні өзгермеді. Демек эквиваленттік нүктеге жетті. Сондай-ақ сәйкес дифференциалды графикте бұл нүктені айқын көруге болады.



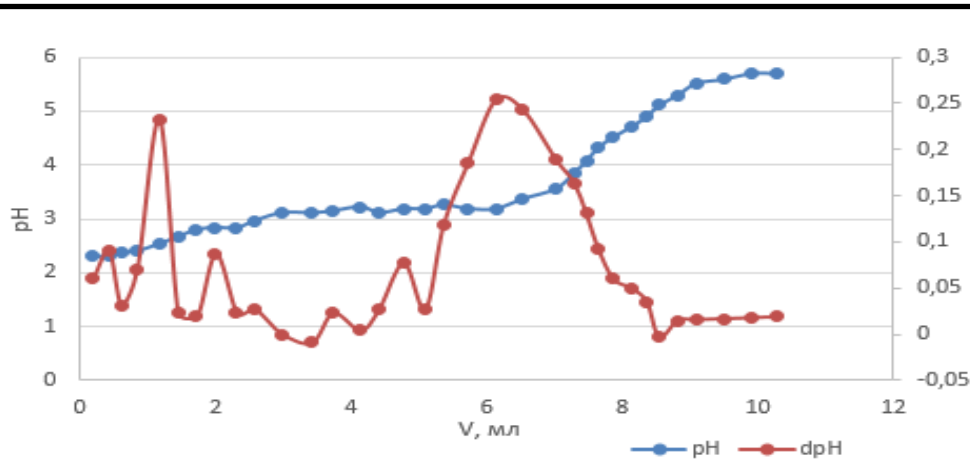
Сурет 2 – Темір гидроксидінің рН мәнінің  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ерітіндісі шығынына тәуелділігі ( $\text{Fe}^{3+}$  1 г/дм<sup>3</sup>)

Темір иондарының концентрациясы 3 г/дм<sup>3</sup> болатын ерітіндідегі сутектік көрсеткіш мәні мен дифференциалды мәндері 3-суретте келтірілген. Титрлеудің алдында рН 2,3 мәніне тек болған, титранттың көлемі 6,5 мл ден бастап рН мәні өзгермей, эквиваленттік нүктеге жететінін дифференциалды график арқылы байқауға болады.



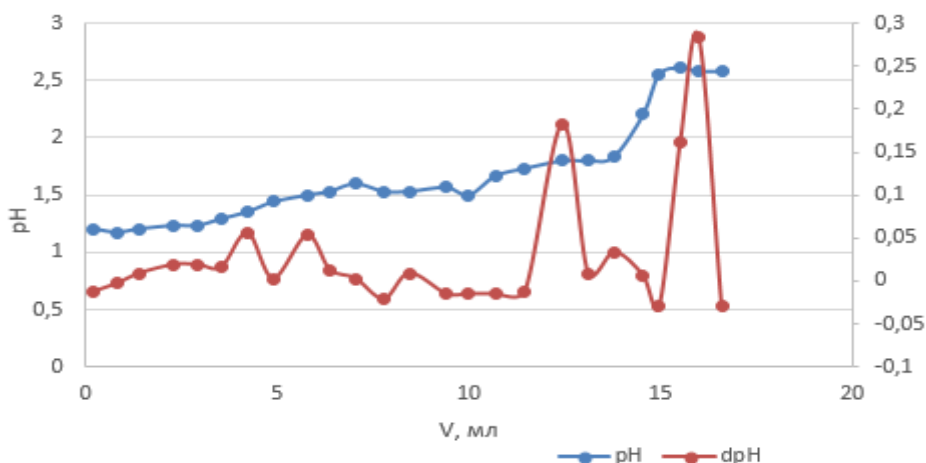
Сурет 3 – Темір гидроксидінің рН мәнінің  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ерітіндісі шығынына тәуелділігі ( $\text{Fe}^{3+}$  3 г/дм<sup>3</sup>)

Төмендегі суретте темір иондарының концентрациясы 5 г/дм<sup>3</sup> болатын ерітіндідегі рН мәні және дифференциалды мәндер келтірілген. Титрлеуді бастағанда сутектік көрсеткіш мәні 2,1- ге тең болып, титранттың яғни эк суының көлемі 7,5 мл ден бастап рН мәні өзгермейтіні анықталып, эквиваленттік нүктеге жететіні белгілі болды.



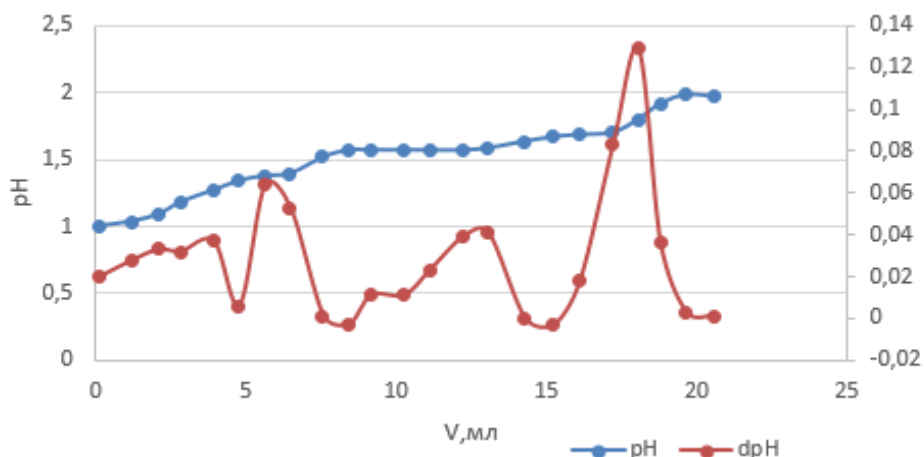
Сурет 4 – Темір гидроксидінің рН мәнінің  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ерітіндісі шығынына тәуелділігі ( $\text{Fe}^{3+}$  5 г/дм<sup>3</sup>)

Келесі 5-суретте темір иондарының концентрациясы 7 г/дм<sup>3</sup> болатын ерітіндідегі рН мәні мен дифференциалды мәндері келтірілген. Титрлеуді бастағанда рН мәні 0,3 болған, титранттың көлемі 17,5 мл-ден бастап рН мәні өзгермей, эквиваленттік нүктеге жететіні байқалады.



Сурет 5 – Темір гидроксидінің рН мәнінің  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ерітіндісі шығынына тәуелділігі ( $\text{Fe}^{3+}$  7 г/дм<sup>3</sup>)

6-суретте темір иондарының концентрациясы 10 г/дм<sup>3</sup> болатын ерітіндідегі сутектік көрсеткіш мәні мен дифференциалды мәндері келтірілген. Титрлеуді бастағанда рН мәні 0,3 болған, титранттың көлемі 19 мл-ден бастап рН мәні өзгермейтіні белгілі болды.



Сурет 6 – Темір гидроксидінің pH мәнінің Ca(OH)<sub>2</sub> ерітіндісі шығынына тәуелділігі (Fe<sup>3+</sup> 10 г/дм<sup>3</sup>)

Бұл кезеңдерде іс жүзінде бастапқыда бір немесе екі гидроксил топтары және сульфат иондары бар аз еритін кешенді қосылыстар пайда болатынын, соңынан темірдің гидроксиді толық түзілетінін нақты түрде анықтап болжауға болады.

Графиктердегі мәндерді талдау нәтижелері бойынша темір гидраты түзілген кездегі pH мәні Fe<sup>3+</sup> иондарының бастапқы концентрациясына байланысты екендігін, атап айтқанда C<sub>Fe</sub>=1 г/дм<sup>3</sup> болғанда, темір гидроксиді pH мәні 4,5 болғанда түзілетіні белгілі болды. Ал C<sub>Fe</sub>=10 г/дм<sup>3</sup> болған кезде темір гидроксидінің pH мәні, яғни сутектік көрсеткіші 3,5 болады.

Fe<sup>3+</sup> иондарының әр түрлі концентрациясында тұнбаға түсуі кезіндегі сутектік көрсеткіш мәндері және дифференциалды мәндер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Fe<sup>3+</sup> иондарының әр түрлі концентрациясында тұнбаға түсуі кезіндегі сутектік көрсеткіш мәндері және дифференциалды мәндер

C <sub>Fe3+</sub> , г/дм <sup>3</sup> )	pH	dpH
1	4,67	0,5
3	4,27	0,19
5	4,10	0,25
7	2,50	0,28
10	1,91	0,13

Сонымен, темірдің үш валентті иондарының концентрациясы артқан сайын, темір гидроксиді түзілген кездегі pH мәні азаятындығын көруге болады.

### Қорытынды

Талдау нәтижелерін қорытындылай келе, темірдің гидратының пайда болуының pH мәні Fe<sup>3+</sup> иондарының бастапқы концентрациясына байланысты екендігін көрсетті.

Атап айтқанда, бастапқы электролитта темір иондары қаншалықты көп болса, гидроксид түзілуінің рН мәні соншалықты төмен болатыны белгілі болды. Ал ерітіндіде  $\text{Fe}^{3+}$  иондарының концентрациясы төмен болған сайын гидроксид түзілуінің рН мәні соншалықты жоғары болатындығын көруге болады. Демек, құрамында жоғары концентрациялы темір иондары бар мырыш сульфаты ерітіндісін темірден тазарту үшін сәндірілмеген әкті қолдану тиімді екендігі дәлелденді. Сонымен қатар, катализатор ретінде қолданылған  $\text{Cu}^{2+}$  иондарының ерітіндіде болуы гидроксид түзілуінің рН мәніне айтарлықтай әсер етпейтіндігі анықталынды.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Rämä, M., Nurmi, S., Jokilaakso, A., Klemettinen, L., Taskinen, P., & Salminen, J. Thermal. Processing of Jarosite Leach Residue for a Safe Disposable Slag and Valuable Metals Recovery// *Metals*. – 2018. – № 8(10). P. 744
- 2 Liakyn L., Onalbayeva Zh., Kulenova N., Daumova G., Mamyachenkov S., Anisimova O. Research of the process of purification of sulfate zinc solution from iron ions using anodic oxidation // *Metals*. – 2023. – №13(1). P. 88
- 3 Peng, X., Li, X., Wei, C., Deng, Zh, Li, M., Yang, B. Mineralization process of ferrous ions from  $\text{ZnSO}_4\text{-FeSO}_4$  solution at a temperature range of 368.15–423.15 K//[Minerals Engineering](#). – 2022/ -186. P. 107769
- 4 Fu, X., Niu, Z., Lin, M., Gao, Y., Sun, W., Yue, T. Strengthened Oxygen Oxidation of Ferrous Ions by a Homemade Venturi Jet Microbubble Generator towards Iron Removal in Hydrometallurgy // *Minerals*. – 2021/ - 11. P. 1342.
- 5 Патент на изобретение 2365641С2 РФ. Шнеерсон, Я. М., Козырев, В. Ф., Чугаев, Л. В. Способ очистки сульфатных растворов цветных металлов от железа. Санкт-Петербург, опубл. 27.08.2009, бюл. № 24
- 6 Чернова, О. П., Курдюмов, Г. М., Важеркина, Т. А., Самсонов, А. К. О соосаждении примесей тяжелых металлов с оксигидратом железа (III) при очистке сточных вод // *Цветные металлы*. – 1992. – № 9. С. 30–32.
- 7 Маргулис, Е. В., Бригаднова, В. В., Струнникова, Н. А. Гидролитическое осаждение меди и цинка из смешанных сульфатных растворов // *Известия вузов. Цветная металлургия*. – 1988. – № 3. С. 54–58.
- 8 Маргулис, Е. В., Гецкин, Л. С., Запускалова, Н. А., Кравец, М. В. О химизме и кинетике гидролитического осаждения  $\text{Fe(III)}$  из сульфатных цинковых растворов// *Известия вузов. Цветная металлургия*. – 1977. – № 5. С. 49–55.
- 9 Jović, N., Cvjetićanin, N., Babić-Stojić, B., Jokanović, V. Synthesis of hematite and iron oxyhydroxide nanocrystals by precipitation of  $\text{Fe}^{3+}$  ions inside oleic acid micelles// *Ceramics International*. – 2013. – 39 (5). P. 5659–5665.
- 10 Wu, J, Shi, M., Wei, Y., Zhang, W., Tian, C., Xu, W., Ke, Y., Chai, L., Lin, Zh., Yan, X. Minimizing Fe-Bearing Waste Guided by Modulating the Precipitation Pathway: A Novel Magnetite Precipitation Approach for Zinc Hydrometallurgy // *ACS ES&T engineering*. – 2022. – 2. – 9. P.1611–1618.
- 11 Лебедева, Е. Л., Неудачина, Л. К. Электрохимическое методы анализа. Руководство к лабораторном практикум. – 2014. – С. 55–58.



## REFERENCES

- 1 **Rämä, M., Nurmi, S., Jokilaakso, A., Klemettinen, L., Taskinen, P., & Salminen, J.** Thermal Processing of Jarosite Leach Residue for a Safe Disposable Slag and Valuable Metals Recovery // *Metals*. – 2018. – № 8(10). P. 744.
- 2 **Liakyn, L., Onalbayeva, Zh., Kulenova, N., Daumova, G., Mamyachenkov, S., Anisimova, O.** Research of the process of purification of sulfate zinc solution from iron ions using anodic oxidation // *Metals*. – 2023. – №13(1). P. 88.
- 3 **Peng, X., Li, X., Wei, C., Deng, Zh, Li, M., Yang, B.** Mineralization process of ferrous ions from ZnSO<sub>4</sub>-FeSO<sub>4</sub> solution at a temperature range of 368.15–423.15 K // [Minerals Engineering](#). – 2022/ – 186. P. 107769.
- 4 **Fu, X., Niu, Z., Lin, M., Gao, Y., Sun, W., Yue, T.** Strengthened Oxygen Oxidation of Ferrous Ions by a Homemade Venturi Jet Microbubble Generator towards Iron Removal in Hydrometallurgy // *Minerals*. – 2021/ – 11. P. 1342.
- 5 Patent na izobretenie 2365641C2 RF. Shneerson, YA.M., Kozyrev, V.F., CHugaev, L.V. Sposob ochistki sul'fatnykh rastvorov cvetnykh metallov ot zheleza. Sankt-Peterburg, opubl. 27.08.2009, byul. № 24 [Patent for invention 2365641C2 RF. Shneerson, Ya. M., Kozyrev, V. F., Chugaev, L. V. A method for purifying sulfate solutions of non-ferrous metals from iron. St. Petersburg, publ. 08/27/2009, bulletin. № 24].
- 6 **Chernova, O. P., Kurdyumov, G. M., Vazherkina, T. A., Samsonov, A. K.** O soosazhdenii primesej tyazhelykh metallov s oksigidratom zheleza (III) pri ochistke stochnykh vod [On the coprecipitation of heavy metal impurities with iron (III) oxyhydrate during wastewater treatment] // *Non-ferrous metals*. – 1992. – № 9. P. 30–32.
- 7 **Margulis, E. V., Brigadnova, V. V., Strunnikova, N. A.** Gidroliticheskoe osazhdenie medi i cinka iz smeshannykh sul'fatnykh rastvorov [Hydrolytic precipitation of copper and zinc from mixed sulfate solutions // *News of universities. Non-ferrous metallurgy*]. – 1988. – № 3. P. 54–58.
- 8 **Margulis, E. V., Geckin, L. S., Zapuskalova, N. A., Kravec, M. V.** O himizme i kinetike gidroliticheskogo osazhdeniya Fe(III) iz sul'fatnykh cinkovykh rastvorov [On the chemistry and kinetics of hydrolytic precipitation of Fe(III) from zinc sulfate solutions] // *News of universities. Non-ferrous metallurgy*. – 1977. – № 5. P. 49–55.
- 9 **Jović, N., Cvjetičanin, N., Babić-Stojić, B., Jakanović, V.** Synthesis of hematite and iron oxyhydroxide nanocrystals by precipitation of Fe<sup>3+</sup> ions inside oleic acid micelles // *Ceramics International*. – 2013. – 39 (5). P. 5659–5665.
- 10 **Wu, J, Shi, M., Wei, Y., Zhang, W., Tian, C., Xu, W., Ke, Y., Chai, L., Lin, Zh., Yan, X.** Minimizing Fe-Bearing Waste Guided by Modulating the Precipitation Pathway: A Novel Magnetite Precipitation Approach for Zinc Hydrometallurgy // *ACS ES&T engineering*. – 2022. – 2. – 9. P.1611–1618.
- 11 **Lebedeva, E. L., Neudachina, L. K.** Elektrohimičeskoe metody analiza. Rukovodstvo k laboratornom praktikum [Electrochemical methods of analysis. Manual for laboratory workshop]. – 2014. – P. 55–58.

04.09.2023 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

07.12.2023 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Л. Лиакын<sup>1</sup>, Ж. С. Оналбаева<sup>1</sup>, С. В. Мамяченков<sup>2</sup>,  
Н. А. Куленова<sup>1</sup>, Г. К. Даумова<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет имени  
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б. Н. Ельцина, Российская Федерация, г. Екатеринбург

Поступило в редакцию 04.09.2023

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 07.12.2023

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИОНОВ $Fe^{3+}$ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ**

*Данная статья посвящена области гидрометаллургии цветных металлов, в частности, очистки от железа сульфатных растворов, содержащих цветные металлы. Этот метод включает нейтрализацию кислоты известняком или известью с последующим гидролитическим осаждением. Исследуется процесс осаждения трехвалентного ионов железа в растворе сульфата цинка раствором  $Ca(OH)_2$  методом потенциометрического анализа и выявляется зависимость между концентрацией ионов железа и значением водородного показателя (pH). Используя известковую воду в качестве титранта с помощью потенциометрического метода ионов железа, можно точно рассчитать, сколько известкового раствора необходимо для очистки раствора сульфата цинка от ионов железа. Кроме того, было показано, что значение pH образования гидратов железа зависит от исходной концентрации ионов  $Fe^{3+}$ . Экспериментально было установлено, что чем больше ионов железа в исходном электролите, тем ниже значение pH выпадения гидроксида. Было обнаружено, что чем ниже концентрация ионов  $Fe^{3+}$  в растворе, тем выше значение pH образования гидроксида. Кроме того, было выявлено, что присутствие в растворе ионов  $Si^{2+}$ , используемых в качестве катализатора, не оказывает существенного влияния на значение pH образования гидроксида.*

*Ключевые слова: потенциометрия, титратор, раствор сульфата цинка, трехвалентный ион железа, гидролитическое осаждение.*

*L. Liakyn<sup>1</sup>, Zh. S. Onalbayeva<sup>1</sup>, S. V. Mamyachenkov<sup>2</sup>,  
N. A. Kulenova<sup>1</sup>, G. K. Daumova<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

<sup>2</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia

B. N. Yeltsin, Russian Federation, Yekaterinburg

Received 04.09.2023.

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 07.12.2023

---

---

**STUDY OF THE PROCESS OF HYDROLYTIC PRECIPITATION OF  $Fe^{3+}$  IONS BY POTENTIOMETRIC TITRATION METHOD**

*The article considers the hydrometallurgy of non-ferrous metals, in particular, the process of removing iron from sulfate solutions containing non-ferrous metals. This method is carried out by neutralizing the acid with limestone or lime, followed by hydrolytic precipitation. The process of precipitation of trivalent iron ions by  $Ca(OH)_2$  solution from the solution of zinc sulfate was studied by the potentiometric analysis method, and the dependence between the concentration of iron ions and the hydrogen index (pH) value was determined. By using lime water as a titrant of ferric ions by the potentiometric method, it is possible to accurately calculate how much lime solution is needed to remove iron ions from zinc sulfate solution. In addition, it was shown that the pH value of the formation of iron hydrate depends on the initial concentration of  $Fe^{3+}$  ions. It was experimentally determined that the more iron ions in the initial electrolyte, the lower the pH value of the hydroxide formation. It was determined that the lower the concentration of  $Fe^{3+}$  ions in the solution, the higher the pH of hydroxide formation. In addition, it was determined that the presence of  $Cu^{2+}$  ions used as a catalyst in the solution does not significantly affect the pH value of hydroxide formation.*

*Keywords: potentiometry, titrator, zinc sulfate solution, trivalent iron ion, hydrolytic precipitation.*

А. А. Мухтар,<sup>1</sup> А. С. Макашев,<sup>1</sup> \*Б. К. Касимова<sup>1</sup>,  
М. М. Атахан<sup>2</sup>, Е. В. Кочегина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда,  
Республика Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет им. Абылка Сагинова,  
г. Караганда, Республика Казахстан

<sup>3</sup>Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетов,  
г. Караганда, Республика Казахстан

\*e-mail.ru: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

### **ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БУРОЖЕЛЕЗНЯКОВОГО КОНЦЕНТРАТА К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ**

*Статья посвящена исследованию изменения содержания оксида алюминия в Лисаковском бурожелезняковом концентрате (ЛГМК) с химическим составом исходного продукта: Fe - 48%,68; P-0,70%; SiO<sub>2</sub>-12,03%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-4,53% при термохимической подготовке концентрата к металлургическому переделу с целью получения концентрата с необходимым соотношением SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.*

*При анализе пробы ЛГМК, применены различные методы, включающие термический, рентгенофазовый анализ, а также микроскопическое исследование. Эксперименты включали комбинированные схемы обогащения: сухую магнитную сепарацию, обжиг и выщелачивание.*

*Выщелачивание продуктоаов обжига проведены методом математического планирования четырехфакторного эксперимента на пяти уровнях: температура, °С; время, мин; концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в %; соотношение жидкого к твердому, (Ж:Т) были определены оптимальные условия для максимального извлечения оксида алюминия в процессе выщелачивания, который соответствует: температура - 25°С, концентрация серной кислоты 5% и соотношение жидкого к твердому 6/1.*

*В укрупненных лабораторных условиях при установленных оптимальных режимах и продолжительности процесса выщелачивания 30 минут из обожженного ЛГМК получен кондиционный железорудный концентрат, следующего состава, железо - 64,00%, фосфор - 0,15%, кремнезём - 4,19%, оксид алюминия - 2,38% с соотношением SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,76.*

**Ключевые слова:** бурожелезняковый концентрат, оксид алюминия, термохимическая подготовка, выщелачивание, планирование экспериментов.

#### **Введение**

Разработка бурожелезняковых месторождений представляет собой одну из ключевых задач в области развития минерально-сырьевой базы черной металлургии в Казахстане. Эти месторождения, являются наиболее распространенными источниками железной руды в стране, такие как Лисаковское, Аятское, а также месторождения

Приаральской группы. Общий объем их запасов, оцениваемый примерно в 12 миллиардов тонн, составляет более половины всех утвержденных запасов железной руды в Казахстане [1; 2; 3; 4; 5]. Учитывая огромный потенциал в настоящее время освоение их в настоящее время является приоритетной задачей. Как известно, текущее решение указанной задачи основывается на эксплуатации Лисаковского месторождения.

Проведенными исследованиями подтверждено, что гравитационно-магнитный концентрат полученный из бурожелезняковой руды Лисаковского месторождения обладает неблагоприятным химическим составом, т.е. низким содержанием железа (до 49%), повышенным содержанием вредной примесей фосфора, из-за которых стандартные технологические подходы к их обработке являются неэффективными.

Факторами, способствующими росту переработки лисаковского концентрата, является повышение содержания железа и уменьшение уровня фосфора. Особенностью лисаковских руд является то, что фосфор не формирует отдельные независимые минералы, а тесно ассоциирован с минералами железа, будучи равномерно распределённым внутри оолитов. В связи с этим, процесс углубленного обогащения руды, наряду с повышением извлечения железа, неизбежно приводит к пропорциональному увеличению количества фосфора в концентрате.

В процессе обжигового обогащения Лисаковской руды содержание железа в получаемом концентрате достигает 60–62%, однако соотношение фосфора к железу оставалось на уровне, характерном для гравитационно-магнитного концентрата [6]. К тому же, кремниевый модуль (отношение  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) уменьшается до менее одной единицы. Переработка их в доменных печах сопровождается образованием тугоплавких шлаков в области геленита, что вызывает трудности в выплавке передельного чугуна с низким содержанием кремния. В металлургии это усугубляет уже существующую проблему удаления фосфора, так как требует проведения доменной плавки с более высоким запасом тепла, что является экономически неоправданным.

Установлено, что фосфор эффективно удаляется из лисаковского обожженного концентрата с использованием методов выщелачивания минеральными кислотами. Было установлено, что при обжиге гидрогетит в концентрате трансформируется в гематит или магнетит, при этом оолиты приобретают массивную мелкозернистую текстуру и растрескиваются, а фосфор перемещается в точки, доступные для проникновения кислоты, что обеспечивает его эффективное извлечение в раствор. Показано, что в результате термической деструкции оолитов и активации фосфора в них процесс выщелачивания привел к получению кека с содержанием 0,14 % фосфора и 63,83 % железа [7; 8; 9]. Однако, в полученном концентрате несмотря на снижение содержания оксидов кремния и алюминия их соотношение осталось на уровне меньше единицы.

В этой связи целью настоящей работы является исследование влияния технологических факторов на изменение содержания оксида алюминия в продуктах термохимического обогащения бурожелезнякового концентрата.

#### **Объект и методы исследования**

Для проведения лабораторных исследований отобрана представительная проба из Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата (ЛГМК), следующего химического состава, %: Fe- 48,68; P-0,70;  $\text{SiO}_2$ -12,03;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4,53. По рентгенофазовому анализу руда представлена рядом  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , а также гидрогетитом –  $\text{FeOOH}$  и

кварцем –  $\alpha$ - $\text{SiO}_2$ . На рентгенограмме (рисунок 1) представлены дифракционные максимумы, характерные для гетита, гидрогетита ( $d/n \text{ \AA}^0$  4,18; 2,69; 2,46; 2,24; 2,18) и кварца ( $d/n \text{ \AA}^0$  4,30; 3,34; 2,58; 2,28). Минеральные формы фосфора и оксида алюминия не обнаружены.

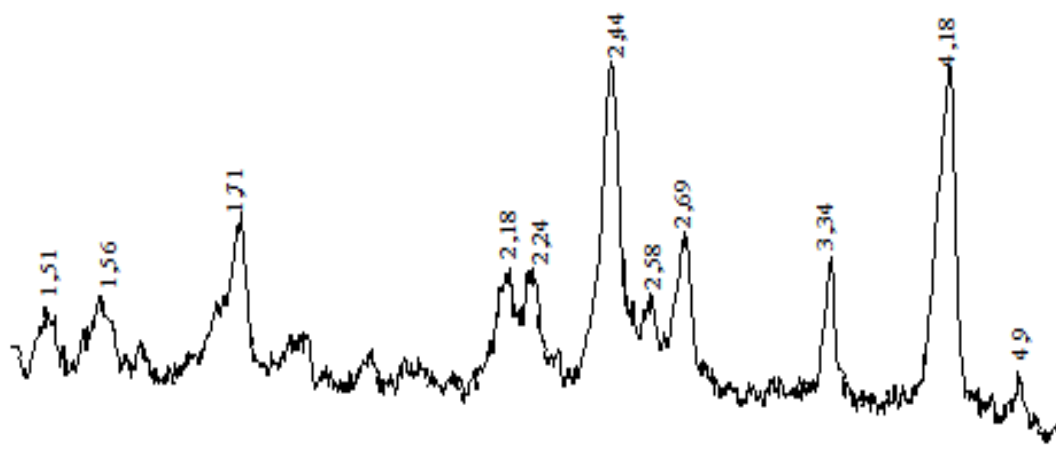


Рисунок 1 – Рентгенограмма концентрата

Термический анализ руды проведен в окислительной среде до температуры  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  на кривых ДТА фиксируется эндоэффект в области  $310 \text{ }^\circ\text{C}$  с потерей веса пробы до 8,24%, согласно наблюдаемый эффект относится процессу термической дегидратации из гетит-гидрогетитов в руде [10].

Микроскопические исследования показали, частицы исходной руды (рисунок 2а) представлены в основном оолитами крупности частиц от 1 до 2 мм, значительная часть кварца представлена от 0,1-1 мм, а крупность глинистых минералов менее 0,015-0,20 мм. В целом исходная руда имеет оолитовую структуру.

Оолиты пробы руды термического анализа (рисунок 2б) существенно изменились, целостность которых существенным образом нарушена. Общая форма некоторых частиц сохранилась, но имеют большие радиальные трещины, микроструктура поверхности характеризуется микротрещинами и шероховатостями, что указывает на то, что они подвергались значительному напряжению, из-за потери гидратной влаги в результате быстрого нагрева.

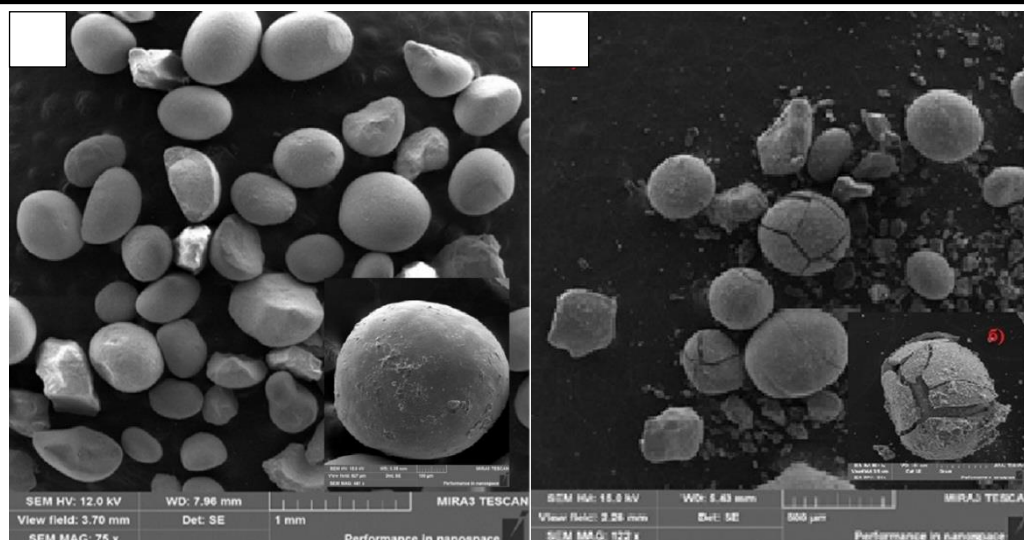


Рисунок 2 – Микрофотография исходного концентрата (а) и продукта ДТА (б)

С целью подготовки ЛГМК к выщелачиванию навеску материала подвергали сухой магнитной сепарацией (С.М.С), в результате полученный магнитный промпродукт с выходом 82,17% с содержанием железа – 52,09%, фосфора – 0,75%, оксида кремния и алюминия – 5,60% и 4,60% соответственно, обжигали в окислительной среде при температуре 850°C, в корундовом тигле в муфельной печи, время опыта составила 60 минут. В таблице 1 представлены достигнутые экспериментальные результаты термообработки продукта С.М.С. Суммарная потеря веса пробы в процессе составила 17,50% связанной удалением из оолитов гидратной и физической влаги. Выход обожжённого продукта соответствует значению 82,50%

Таблица 1 – Результаты обжига магнитного промпродукта в окислительной среде

№	Продукт	Выход, %	П.в., %	Содержание, %			
				Fe	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	Магнитный п/п	–	–	52,09	0,75	5,60	4,60
2	Обожжённый продукт	82,50	17,50	59,87	0,85	5,25	5,56

Рентгенофазовым анализом установлено присутствие в огарке оксида железа – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, диоксида кремния и оксида алюминия, индивидуальные соединения фосфора не обнаружены. Содержание железа и фосфора в обожжённом продукте значительно увеличились с 52,09% до 59,87% и с 0,75% до 0,85% соответственно, кремниевый модуль (отношение SiO<sub>2</sub> к Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) уменьшился до менее одной единицы.

Полученный таким способом железорудный огарок подвергали выщелачиванию растворами серной кислоты при различных соотношениях жидкого к твёрдому (Ж:Т) в течение 10-50 минут в интервале температур 25-85°C (таблица 2).

Таблица 2 – Уровни изучаемых факторов

Фактор	Уровень				
	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub> , температура, °C	25	40	55	70	85
X <sub>2</sub> , время, мин	10	20	30	40	50
X <sub>3</sub> , концентрации H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	1	2	3	4	5
X <sub>4</sub> , соотношение жидкого к твердому, Ж:Т	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1

Опыты проведены согласно матрице 4 факторного эксперимента на 5 уровнях, которая приведена в таблице 3, где: Y<sub>э</sub>, Y<sub>п</sub> – экспериментальные и расчетные значения степени извлечения оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в раствор; X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub> – изучаемые факторы. Значение степени извлечения оксида алюминия в раствор рассчитывали по формуле:

$$Y_{\text{э}} = \frac{\gamma_I \times \beta_I - \gamma_{\text{кек}} \times \beta_{\text{кек}}}{\gamma_I \times \beta_I} \quad (1)$$

где,  $\gamma_I, \beta_I, \gamma_{\text{кек}}, \beta_{\text{кек}}$  – выход и содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в исходном и конечном продукте

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты экспериментов по выщелачиванию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из обожженного концентрата приведены в таблице 3. Экспериментальные (Y<sub>э</sub>) значения частных функций приведены в таблице 4, частные точечные зависимости, полученные выборкой из Y<sub>э</sub> представлены на рисунке 3. Они аппроксимированы функциями приведенными в таблице 5, где также представлены расчетные (Y<sub>р</sub>) значения. Коэффициенты корреляции (R) и значимость (tr) для частных функций приведены в таблице 6.

Таблица 3 – Матрица эксперимента по выщелачиванию алюминия и полученные результаты

№ опыта	Факторы				Значения функций Y – степень извлечения, %	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>э</sub>	Y <sub>п</sub>
1	25	10	1	2/1	-0,46	2,90
2	25	30	3	4/1	26,52	24,51
3	25	20	2	3/1	11,03	11,45
4	25	50	5	6/1	32,59	64,14
5	25	40	4	5/1	31,92	42,08
6	55	10	3	3/1	12,41	13,66
7	55	30	2	6/1	28,26	16,17
8	55	20	5	5/1	30,27	39,33
9	55	50	4	2/1	6,01	13,07



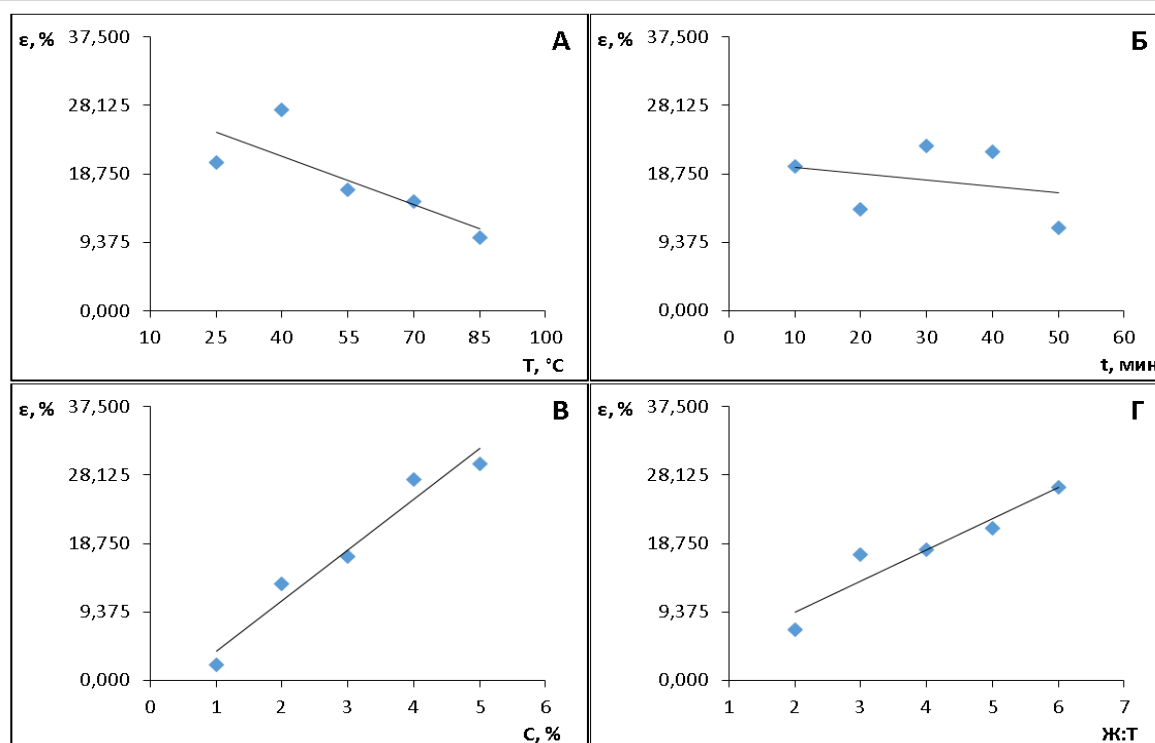
10	55	40	1	4/1	6,13	4,03
11	40	10	2	5/1	26,38	16,07
12	40	30	5	2/1	31,55	19,80
13	40	20	4	4/1	36,69	29,43
14	40	50	1	3/1	6,51	3,64
15	40	40	3	6/1	36,48	31,27
16	85	10	5	4/1	20,35	20,07
17	85	30	4	3/1	22,81	11,97
18	85	20	1	6/1	-5,62	3,75
19	85	50	3	5/1	11,97	13,98
20	85	40	2	2/1	0,79	3,64
21	70	10	4	6/1	40,42	29,88
22	70	30	1	5/1	4,01	4,06
23	70	20	3	2/1	-2,78	7,68
24	70	50	2	4/1	-0,10	8,95
25	70	40	5	3/1	33,57	19,78

Таблица 4 – Экспериментальные значения частных функций

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Y <sub>1</sub>	20,32	27,52	16,61	15,03	10,06	17,91
Y <sub>2</sub>	19,82	13,92	22,63	21,78	11,40	17,91
Y <sub>3</sub>	2,12	13,27	16,92	27,57	29,67	17,91
Y <sub>4</sub>	7,02	17,27	17,92	20,91	26,43	17,91

Таблица 5 – Расчетные значения частных функций

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Y <sub>1</sub> = -0,2201 X <sub>1</sub> + 30,0166	24,51	21,21	17,91	14,61	11,31	17,91
Y <sub>2</sub> = -0,0899 X <sub>2</sub> + 20,6055	19,71	18,81	17,91	17,01	16,11	17,91
Y <sub>3</sub> = 6,9403 X <sub>3</sub> - 2,9118	4,03	10,97	17,91	24,85	31,79	17,91
Y <sub>4</sub> = 4,2453 X <sub>4</sub> + 0,9280	9,42	13,66	17,91	22,15	26,40	17,91



от температуры (а), времени (б), концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (в) и соотношения жидкого к твердому (г).

Рисунок 3 – Частные зависимости степени Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в раствор

Частные зависимости степени извлечения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в раствор имеют линейный характер (рисунок 3), анализ которых показал, что на степень извлечения оксида алюминия в раствор наиболее сильно влияет концентрация H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и соотношение жидкого к твердому. Повышение температуры выщелачивания сопровождается снижением степени извлечения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в раствор. Повышение продолжительности выщелачивания от 10 до 50 минут существенным образом не влияет на извлечения в раствор Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, поэтому частная зависимость Y<sub>2</sub>(t) является незначимой функцией (таблица 6).

Таблица 6 – Значимость частных функций (Y<sub>i</sub>)

Y <sub>i</sub>	R	t <sub>R</sub>	Значимость функции по t <sub>R</sub> > 2,00
Y <sub>1</sub>	0,72	2,59	Значима
Y <sub>2</sub>	0,29	0,62	Не значима
Y <sub>3</sub>	0,97	28,43	Значима
Y <sub>4</sub>	0,93	11,92	Значима

Таким образом, обобщенное многофакторное уравнение выщелачивания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из обожженного бурожелезнякового концентрата состоящей из значимых частных функций имеет следующий вид:

$$Y_{II} = -0,0202 X_1 X_3 X_4 + 0,0085 X_1 X_4 + 2,7574 X_3 X_4 - 1,1568 X_4 - 0,0044 X_1 X_3 + 0,0019 X_1 + 0,6027 X_3 - 0,2529 \quad (2)$$

Значение коэффициента корреляции обобщенного уравнения ( $R=0,68$ ) указывает на приемлемое совпадение экспериментальных и расчетных данных. Ошибка уравнения составила  $\sigma=10,78\%$ .

Анализ уравнения (2) позволил определить оптимальные условия процесса выщелачивания  $Al_2O_3$  из обожженного бурожелезнякового концентрата: температура ( $X_1$ ) –  $25^\circ C$ ; концентрация  $H_2SO_4$  ( $X_3$ ) –  $5\%$ ; соотношение жидкого к твердому ( $X_4$ ) –  $6/1$ , при которых степень извлечения  $Al_2O_3$  в раствор составило –  $64,14\%$ . Таким образом, при этих режимах и продолжительности выщелачивания 30 минут в укрупненных лабораторных условиях получен кондиционный железорудный концентрат, следующего состава, железо -  $64,00\%$ , фосфор -  $0,15\%$ , кремнезём -  $4,19\%$ , оксид алюминия -  $2,38\%$  с соотношением  $SiO_2/Al_2O_3 = 1,76$ .

### **Информация о финансировании**

Исследование выполнено в рамках договора, заключенным между Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан и Химико-металлургическим институтом им. Ж. Абишева, грант ИРН №АР19675375.

### **Выводы**

Изучено влияние различных технологических факторов на процесс изменения содержания оксида алюминия в продуктах дефосфорации бурожелезнякового концентрата.

Методом математического планирования эксперимента получена обобщенная многофакторная модель выщелачивания оксида алюминия серноокислым раствором из обожженного бурожелезнякового концентрата.

Определены оптимальные условия максимального извлечения оксида алюминия ( $64,14\%$ ) при выщелачивании, который соответствует - температура  $25^\circ C$ , концентрация серной кислоты  $5\%$  и соотношение жидкого к твердому  $6/1$ .

В укрупненных лабораторных условиях при установленных оптимальных режимах и продолжительности процесса выщелачивания 30 минут из обожженного ЛГМК получен кондиционный концентрат с содержанием оксида алюминия  $2,38\%$  и кремневым модулем ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) равное  $1,76$ .

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Формозова, Л. Н.** Железные руды Северного Приаралья. М. : АН СССР, 1959. – 446 с.

2 **Слипченко, Б. В.** О двух генетических типах оолитовых железных руд Лисаковского месторождения (Северный Казахстан) // Геологический журнал. – 1981. – Т. 41. – № 6. – С. 53–61.

3 **Бекмухаметов, А. Е., Билялов, Б. Д.** Металлогения экзогенных руд железа Торгайского прогиба перспективы промышленного освоения их Лисаковским ГОК. – Алматы : НИЦ «Гылым», – 2003. – 366 с.

4 **Эрикссон, М., Лёф, А., Лёф, О.** Обзор мирового рынка железной руды за 2019-2020 годы // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 74 – 82. // DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-74-82>.

5 Яницкий, А. Л. Олигоценовые оолитовые железные руды Северного Тургай и их генезис. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 220 с.

6 Мухтар, А. А., Нускабеков, Ж. С., Момынбеков, А. Д., Коровушкин, В. В. Обжигмагнитное обогащение бурожелезняковой руды Абаилского месторождения // Обогащение руд. – 2015. – №4. С. 13-16. //DOI: 10.17580/or.2015.04.03.

7 Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Epishin, A. Yu., Artov, D. A. Enhancement of Pyro-Hydrometallurgical Technology of Dephosphorization of Brown Iron Ore of the Lisakovsk Field by Hot Leaching Method //METALLURGIST. – 2020. – Vol. 64. Issue 5–6. – P. 522–525. //DOI: 10.1007/s11015-020-01022-8.

8 Mukhtar, A. A., Mukhymbekova, M. K., Makashev, A. S., Savin, V. N. Thermomagnetic enrichment and dephosphorization of brown iron ore and concentrates // Steel in Translation. – 2018. – No. 9. – P. 553–557.// DOI: 10.3103/S0967091218090103.

9 Wang, H. H., Li, G. Q., Zhao, D., Mab, J. H., Yang, J. Dephosphorization of high phosphorus oolitic hematite by acid leaching and the leaching kinetics //Hydrometallurgy. - 2017. – Vol. 171. – P. 61–68.

10 Мухтар, А. А., Бектурганов, Н. С., Коровушкин, В. В., Вернер, И. А. Исследование продуктов обжига бурожелезняковых концентратов методами ЯГРС и термомагнитного анализа //Обогащение руд. – 2011. – № 3. – С. 28–30.

## REFERENCES

1 Formozova, L. N. Zhelezny`e rudy` Severnogo Priaral`ya [Iron ores of the Northern Aral Sea region]. Moscow : USSR Academy of Sciences, 1959. – 446 p.

2 Slipchenko, B. V. O dvux geneticheskix tipax oolitovy`x zhelezny`x rud Lisakovskogo mestorozhdeniya (Severnı`j Kazaxstan) [About two genetic types of oolitic iron ores of the Lisakovsky deposit (Northern Kazakhstan)] // Geological Journal. – 1981. – Vol. 41. – № 6. – P. 53–61.

3 Bekmuxametov, A. E., Bilyalov, B. D. Metallogeniya e`kzogenny`x rud zheleza Torgajskogo progiba perspektivy` promy`shlennogo osvoeniya ix Lisakovskim GOK [Metallogeny of exogenous iron ores of the Torgai trough, prospects for their industrial development by the Lisakovsky Mining and Processing Plant]. – Almaty : Scientific Research Center «Gylym», – 2003. – 366 p.

4 E`riksson, M., Lyof, A., Lyof O. Obzor mirovogo ry`nka zheleznoj rudy` za 2019-2020 gody` [Review of the world iron ore market for 2019-2020] // Mining industry. – 2021. – № 1. – P. 74 – 82. // DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-74-82>.

5 Yaniczkij, A. L. Oligocenovy`e oolitovy`e zhelezny`e rudy` Severnogo Turgaya i ix genesis [Oligocene oolitic iron ores of Northern Turgai and their genesis]. – Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. – 220 p.

6 Muxtar, A. A., Nuskabekov, Zh. S., Momy`nbekov, A. D. Korovushkin, V. V. Obzhigmagnitnoe obogashhenie burozheleznyakovoj rudy` Abailskogo mestorozhdeniya

[Roasting and magnetic enrichment of brown iron ore of the Abail deposit] // Ore enrichment. – 2015. – № 4. P. 13–16. //DOI: 10.17580/or.2015.04.03.

7 **Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Epishin, A. Yu., Artov, D. A.** Enhancement of Pyro-Hydrometallurgical Technology of Dephosphorization of Brown Iron Ore of the Lisakovsk Field by Hot Leaching Method //METALLURGIST. – 2020. – Vol. 64. Issue 5–6. – P. 522–525. //DOI: 10.1007/s11015-020-01022-8.

8 **Mukhtar, A. A., Mukhymbekova, M. K., Makashev, A. S., Savin, V. N.** Thermomagnetic enrichment and dephosphorization of brown iron ore and concentrates // Steel in Translation. – 2018. – No. 9. – P. 553–557. // DOI: 10.3103/S0967091218090103.

9 **Wang, H. H., Li, G. Q., Zhao, D., Mab, J. H., Yang, J.** Dephosphorization of high phosphorus oolitic hematite by acid leaching and the leaching kinetics //Hydrometallurgy. – 2017. – Vol. 171. – P. 61–68.

10 **Muxtar, A. A., Bekturganov, N. S., Korovushkin, V. V., Verner, I. A.** Issledovanie produktov obzhiga burozheleznyakovy`x koncentratov metodami YaGRS i termomagnitnogo analiza [Study of the products of roasting brown iron ore concentrates using the methods of YaGRS and thermomagnetic analysis] // Ore beneficiation. – 2011. – № 3. – P. 28–30.

Поступило в редакцию 08.02.2024

Поступило с исправлениями 19.12.23.

Принято в печать 20.02.2024

**А. А. Мухтар,<sup>1</sup> А. С. Макашев,<sup>1</sup> \*Б. К. Касымова<sup>1</sup>,  
М. М. Атахан<sup>2</sup>, Е. В. Кочегина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ж.Әбішев атындағы Химико-металлургиялық институт,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>3</sup>Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

08.02.2024 ж. баспаға түсті.

19.12.23 ж. түзетулерімен түсті.

20.02.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУГЕ БУРЫЛ ТЕМІР КОНЦЕНТРАТЫН ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ ДАЙЫНДАУ ҮРДІСІ БАРЫСЫНДА ҚҰРАМЫНДАҒЫ АЛЮМИНИЙ ОКСИДІНІҢ АУЫТҚУЫН ЗЕРТТЕУ**

*Мақала бастапқы шикізаттың химиялық құрамымен: Fe - 48%,68; P- 0,70%; SiO<sub>2</sub>-12,03%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-4,53%, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> қажетті қатынасы бар өнімді алу мақсатында концентратты металлургиялық өңдеуге термохимиялық дайындау кезінде Лисаковск бурыл темір концентратындағы (ЛГМК) алюминий оксиді құрамының өзгеруін зерттеуге арналған.*

*ЛГМК сыналасын талдау кезінде термиялық, рентгендік фазалық талдауды, сондай-ақ микроскопиялық зерттеуді қамтитын әртүрлі әдістер қолданылды. Тәжірибелер құрғақ магнитті бөлу, күйдіру және шаймалау үрдістерінің біріктірілген байыту сұлбасын қамтыды.*

*Күйдірілген өнімдерді шаймалау бес деңгейлі төрт факторлы экспериментті математикалық жоспарлау әдісімен жүзеге асырылады: температура, °C; уақыт, мин; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрациясы %; сұйықтықтың қаттыға қатынасы, (C:K). шаймалау процесінде алюминий оксидін максималды бөліп алудың оңтайлы шарттары анықталды: температура - 25°C, күкірт қышқылының концентрациясы - 5% және сұйық пен қатты қатынасы - 6/1.*

*Белгіленген оңтайлы режимдер мен шаймалау процесінің ұзақтығы 30 минут болған кезде күйдірілген ЛГМК-дан төменгі құрамдағы кондициялық темір кені концентраты, темір - 64,00%, фосфор - 0,15%, кремнезем - 4,19%, алюминий оксиді - 2,38% SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,76 болатын өнім ірілендірілген зертханалық жағдайда алынды.*

*Кілтті сөздер: бұрыл темір кен концентраты, алюминий оксиді, термохимиялық дайындау, шаймалау, эксперименттерді жоспарлау.*

**A. A. Mukhtar,<sup>1</sup> A. S. Makashev<sup>1</sup>, \*B. K. Kasymova<sup>1</sup>,  
M. M. Atakhan<sup>2</sup>, E. V. Kochergina<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Chemical and Metallurgical Institute named after J. Abishev,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda

<sup>2</sup>Karaganda Technical University named after Abylks Saginov  
Republic of Kazakhstan, Karaganda

<sup>3</sup>Karaganda University named after academician E. A. Buketov  
Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 08.02.2024

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 20.02.2024

#### **THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF ALUMINUM OXIDE IN THE PROCESS OF THERMOCHEMICAL PREPARATION OF BROWN LIMESTONE CONCENTRATE FOR METALLURGICAL PROCESSING**

*The article is dedicated to the study of changes in the content of aluminum oxide in the Lisakovsk brown iron ore concentrate (LSMC) with the chemical composition of the initial product: Fe - 48.68%; P - 0.70%; SiO<sub>2</sub> - 12.03%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 4.53%, during the thermochemical preparation of the concentrate for metallurgical conversion with the aim of obtaining a concentrate with the necessary SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio.*

*In the analysis of the (LSMC) sample, various methods were applied, including thermal, X-ray phase analysis, as well as microscopic examination. The*

---

*experiments included combined enrichment schemes: dry magnetic separation, roasting, and leaching.*

*Leaching of the roasted products was conducted using a four-factor experimental design with five levels: temperature, °C; time, min; concentration of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in %; liquid to solid ratio (L:S) optimal conditions for maximizing the extraction of aluminum oxide during leaching were determined to be: temperature - 25°C, sulfuric acid concentration - 5%, and liquid to solid ratio - 6/1.*

*Under scaled-up laboratory conditions at the established optimal regimes and with a leaching process duration of 30 minutes, a conditioned iron ore concentrate was obtained from the roasted LSMC with the following composition: iron - 64.00%, phosphorus - 0.15%, silica - 4.19%, aluminum oxide - 2.38% with a SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio of 1.76.*

*Keywords: brown iron ore concentrate, aluminum oxide, thermochemical preparation, leaching, experimental planning.*

МРНТИ 53.31.21

DOI

**Н. З. Нургали<sup>1</sup>, М. С. Алмагамбетов<sup>1</sup>, \* О. Р. Сариев<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,

Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актобе

\* e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОТИТАНИСТЫХ ШЛАКОВ**

*В статье рассмотрены электрические свойства составов шихты для электротермического обогащения ильменитовых концентратов с получением высокотитанистых шлаков, которые содержат оксид титана более 80%. Температурная зависимость усадки рудо-угольных брикетов напрямую зависит от содержания летучих и остаточной влаги углеродистого восстановителя, в качестве которых могут использоваться уголь Шубаркольский и различные виды кокса. Выплавка богатый титанистый шлак из порошковой шихты сопровождается некоторыми сложностями. Дело в том, что большая часть монооксида железа в составе ильменитового концентрата восстанавливается в жидкой фазе, т.е. в диффузионных условиях. Это обусловлено тем, что процесс плавления концентрата, сопровождаемый начальным шлакообразованием, опережает процесс его восстановления. По результатам лабораторных экспериментов установлено, что наиболее подходящими восстановителями для выплавки высокотитанистых шлаков, являются спецкокс и газовый уголь, так как брикеты с ними, обладают наибольшим электросопротивлением в интервале температур твердофазного восстановления титанового сырья. При температурах более 1200°C, электросопротивление всех исследованных шихтовых смесей выполаживается и становится практически одинаковой. Применение данных восстановителей способствует улучшению условий селективного восстановления оксидов железа и предупреждает образование легкоплавких первичных шлаков.*

*Ключевые слова:* *Высокотитанистый шлак, углеродистый восстановитель, ильменитовый концентрат, электропроводность, шихта.*



## Введение

Подбор восстановителя играет важную роль при электрокарботермическом получении богатого титанового шлака (БТШ), из порошковой или окускованной шихты. В качестве восстановителей могут быть использованы различные углеродсодержащие материалы, например, такие как антрацит, металлургический, пековый и нефтяной коксы, различные каменные угли и специальные виды кокса [1].

В процессе выплавки БТШ в условиях руднотермической электропечи углеродистые восстановители должны обладать следующими основными свойствами [1]:

- высокая реакционная способность (химическая активность);
- низкая электропроводность (высокое электросопротивление - ЭС);
- малая зольность;

а также должны быть сравнительно не дорогими и не обладать дефицитом.

Из перечисленных свойств помимо химической активности, особое значение имеет их удельное электросопротивление, и в зависимости от специфики металлургического передела, количество и состав золы. В случае выплавки БТШ лучше всего применять малозольные восстановители, так как большинство оксидов, составляющих его золу ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ ) переходят в шлак, при этом разубоживая целевой продукт – шлак. Низкая электропроводность восстановителя обеспечивает общее высокое электросопротивление шихты, глубокую посадку электродов, стабильный электрический режим и равномерный ход электродуговой печи. Как показали результаты исследований [2], по мере уменьшения восстановительной способности к титановым концентратам, восстановители размещены в следующем порядке: древесный уголь - газовый уголь - антрацит - нефтяной кокс.

Известно, что выплавка БТШ из порошковой шихты сопровождается некоторыми сложностями. Дело в том, что большая часть монооксида железа в составе ильменитового концентрата восстанавливается в жидкой фазе, т.е. в диффузионных условиях. Это обусловлено тем, что процесс плавления концентрата, сопровождаемый начальным шлакообразованием, опережает процесс его восстановления [3-5, 7-8]. В работе [4] отмечено, что восстановление в той или иной степени оказывает влияние на первичное шлакообразование сырья. В связи с этим для увеличения тугоплавкости шихты в металлургической практике производства БТШ используют предварительно окускованные шихтовые материалы [1, 3, 5, 9-11].

## Материалы и методы исследования

Известно, что использование наиболее распространенного метода окускования в металлургии – агломерации – не позволяет достичь удовлетворительных результатов. Способ брикетирования шихты, нашел широкое применение в металлургии БТШ. Однако переработка шихты состоящей из 100 % рудоугольных брикетов, сопровождается спеканием и цементированием брикетов на колошнике печи кипящим расплавом, что впоследствии приводит к нарушению газопроницаемости колошника.

Поэтому, рекомендуется плавить совместно брикетированную и порошковую шихту (количество порошковой шихты варьируется от 20 до 50 %) [6], в этом случае повышаются технико-экономические показатели процесса и улучшаются газодинамические свойства шихты.

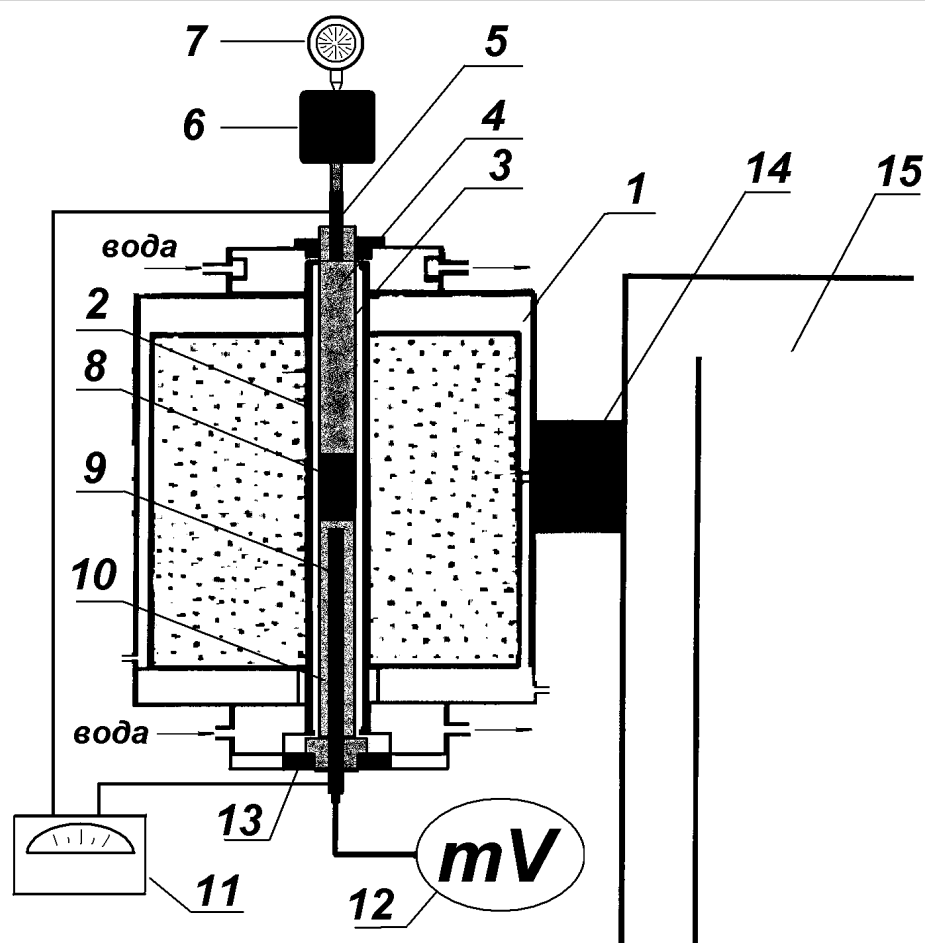
С учетом вышесказанного задачей наших исследований, было измерение электросопротивления рудоугольных брикетов, состоящих из шокашского концентрата и различных углеродистых восстановителей, согласно методикам [12–14]. Химический состав ильменитового концентрата представлен следующими данными, % от массы:  $TiO_2$ -53,7;  $FeO$ -33,9;  $Al_2O_3$ -1,89;  $SiO_2$ -3,46;  $ZrO_2$ -0,16;  $Cr_2O_3$ -1,65;  $P_2O_5$  -0,06. Технические составы углеродистых восстановителей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технический состав использованных восстановителей (% от массы)

Восстановитель	углерод	зола	летучие	влага
Газовый уголь	54,25	3,55	39	3,2
Спецкокс	92,64	3,08	2,5	1,96
Металлургический кокс	76	13	3	8
Нефтекокс	87,8	0,11	7,9	4,2

Условия проведения опытов: давление на пробу  $2\text{ кгс/см}^2$ , скорость нагрева 25-30 град/мин, внутренний диаметр алундовой трубки 0,02 м, высота слоя материала 0,005 м. Нагрев сопровождается усадкой пробы, которую фиксирует индикатор с точностью 0,01 мм.

Брикеты  $d=20\text{ мм}$ , изготавливали на лабораторном гидравлическом прессе, под давлением нажатия 120-140  $\text{кгс/см}^2$ . В качестве связующего вещества использовали 50%-ный раствор жидкого стекла ( $SiO_2=35,0\%$ ,  $Na_2O=10,5\%$ ), который добавляли в количестве 5% от массы шихты. Восстановитель в шихту для изготовления брикетов задавали в таком количестве, чтобы селективно восстановить все железо из концентрата. Сушку готовых брикетов осуществляли в муфельной печи при температуре  $300^\circ\text{C}$  в течении 2 часов. Перед тем как загружать брикеты в алундовую трубку, их дробили до класса 0-8 мм. Эксперименты по измерению электросопротивления (ЭС) рудоугольных брикетов, исполняли на лабораторной установке изображенной на рисунке 1.



1-печь сопротивления; 2-графитовая трубка; 3-алундовая трубка; 4-верхний графитовый электрод; 5-медный наконечник электрода; 6-груз; 7-индикатор; 8-шихта; 9-термопара; 10-нижний графитовый электрод; 11-омметр; 12-потенциометр (ПП-63); 13-асбестовая плитка; 14-медные шины; 15-печной трансформатор.

Рисунок 1 – Установка для измерения электросопротивления материалов

### Результаты и обсуждение

Температурная зависимость усадки, исследованных рудоугольных брикетов показана на рисунке 2. Из рисунка заметно, что сравнительно наименьшей усадкой при нагревании обладают брикеты с нефтекоксом. Установленная величина напрямую зависит от содержания летучих и остаточной влаги углеродистого восстановителя.

На рисунке 3, изображена температурная зависимость абсолютного электросопротивления (ЭС) рудоугольных брикетов, с различными восстановителями. Из рисунка видно, что в интервале температур твердофазного восстановления при 800-1150°C, наибольшим сопротивлением обладают брикеты концентрата со спецкоксом и углем. При сравнении кривых сопротивления брикетов очевидно, что они протягиваются почти параллельно до 1050°C, после чего темпы снижения

сопротивления понижаются. При более высоких температурах 1200°C, сопротивление всех брикетов сравнительно одинаковы. Это обусловлено образованием жидкой токопроводящей фазы, т.е. первичных железистых шлаков.

На рисунке 4 приведена зависимость электропроводности от температуры. По графику можно судить что наименьшей электропроводностью в интервале температур 900-1200°C, обладают брикеты со спецкоксом и газовым углем. При указанных температурах происходит твердофазное восстановление свободных и связанных в ильмените оксидов железа. Спецкокс и газовый уголь оказывают зримое положительное влияние на процессы восстановления ильменитового концентрата до расплавления рудоугольных брикетов. При температурах выше 1200°C, электропроводность последних резко увеличивается и равняется с остальными, это объясняется тем, что происходит образование продуктов восстановления FeO и металлического железа, т.е. зарождаются капли расплава.

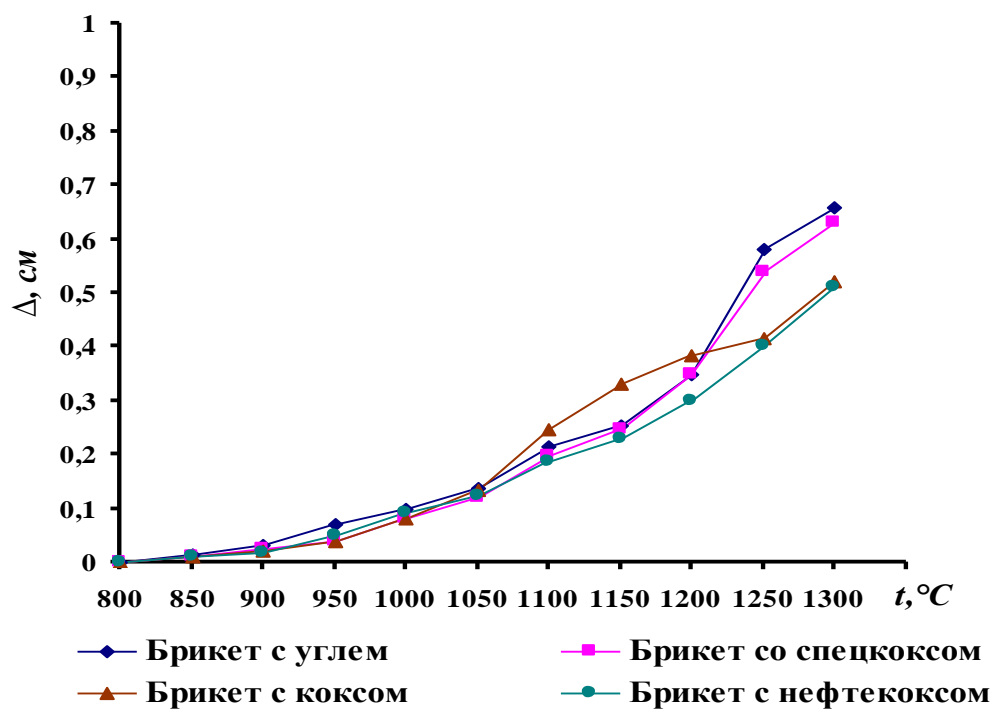


Рисунок 2 – Температурная зависимость усадки рудоугольных брикетов

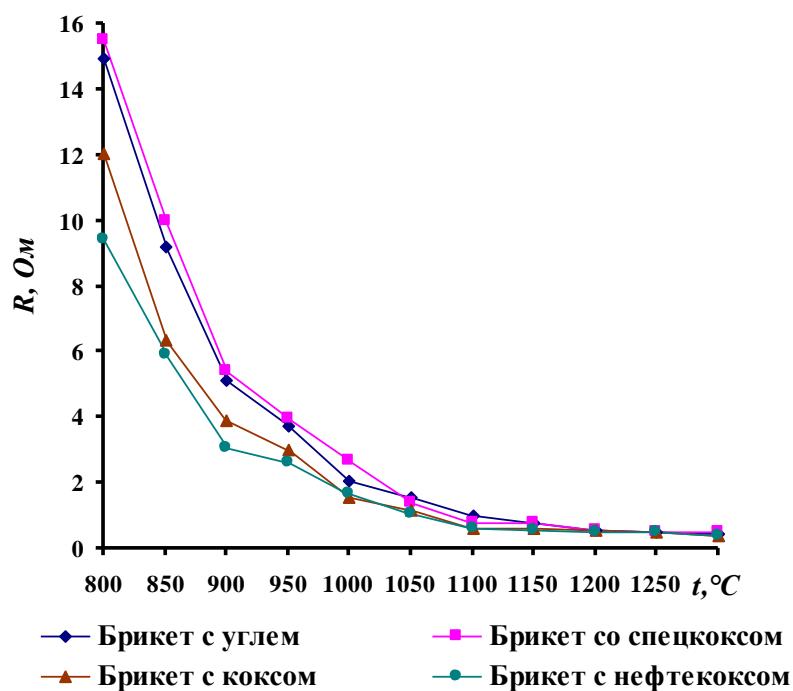


Рисунок 3 – Температурная зависимость электросопротивления рудугольных брикетов

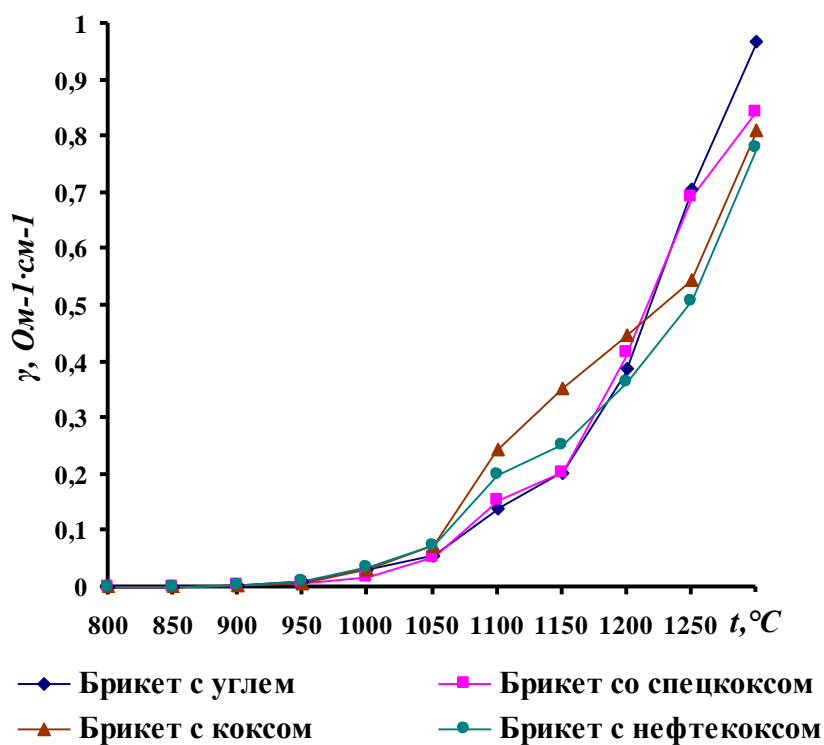


Рисунок 4 – Температурная зависимость электропроводности брикетов

**Выводы**

По результатам экспериментов можно утверждать, что наиболее специфически подходящими восстановителями для выплавки БТШ, являются спецкокс и уголь, так как брикеты с ними, обладают наибольшим ЭС в интервале температур твердофазного восстановления, и они характеризуются низкой зольностью. Применение данных восстановителей способствует улучшению условий восстановления монооксида железа и предупреждает образование легкоплавких первичных шлаков.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 **Денисов, С. И.** Электротермия титановых шлаков. – М. : Metallurgia, 1970. – 168 с.
- 2 **Рапопорт, М. Б., Козлов, В. М.** ЖПХ. – 1963. – т. XXXVI. – № 7. – С. 1442–1453.
- 3 **Сергеев, В. В., Галицкий, Н. В., Киселев, В. П., Козлов, В. М.** Metallurgia титана. – М. : Metallurgia, 1971. – 320 с.
- 4 **Резниченко В. А., Устинов В. С., Карязин И. А., Петрунько А. Н.** Электрометаллургия и химия титана. – М.: Наука, 1982. – 277 с.
- 5 **Васютинский, Н. А.** Титановые шлаки. – Изд. Metallurgia, 1972. - 208 с.
- 6 **Зеликман, А. Н., Крейн, О. Е., Самсонов, Г. В.** Metallurgia редких металлов. - 3-е изд. М., Metallurgia, 1978. – 560 с.
- 7 **Sariev, O., Kim, S., Zhumagaliev, Ye., Kelamanov, B., Sultanov, M., Nurgali, N.** Viscosity and crystallization temperature of ferroalloy slags from Kazakhstan ore. Metalurgija 58(2020)4, P. 525–528.
- 8 **Sariev, O. R., Almagambetov, M. S., Nurgali N. Z., Abdirashit, A. M., Kelamanov B. S.** Investigation of electric conductivity of ferroalloy slags. Вестник КазНТУ имени К. И. Сатпаева №4 (2020), С. 171–174.
- 9 **Резниченко, В. А., Рапопорт, М. Б., Ткаченко, В. А.** Metallurgia титана. – М. : АН СССР, 1963. – 200 с.
- 10 **Грамата, В. А., Петрунько, А. Н., Галицкий, Н. В. и др.** Титан. – Москва: Metallurgia, 1983. – 559 с.
- 11 **Кручер, Г. Н.** Производство и применение титановых полуфабрикатов за рубежом // Цветметинформация. – 1966. – С. 92.
- 12 **Жучков, В. И., Розенберг, В. Л., Ёлкин, К. С., Зельберг, Б. И.** Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей. – Челябинск: Металл, 1994. – 192 с.
- 13 **ГОСТ 23776-79.** Изделия углеродные. Методы измерения удельного электрического сопротивления.
- 14 **ГОСТ 4668-75.** Материалы углеродные. Метод измерения удельного электрического сопротивления порошка.

## REFERENCES

- 1 **Denisov, S. I.** Elektrotermiya titanovykh shlakov [Electrothermy of titanium slags]. - Moscow: Metallurgy, 1970, p. 168.
- 2 **Rapoport, M. B., Kozlov, V. M.** ZhPH. - (1963) 7, 1442-1453.
- 3 **Sergeev, V. V., Galitsky, N. V., Kiselev, V. P., Kozlov, V. M.** Metallurgiya titana [Metallurgy of titanium]. – Moscow: Metallurgy, 1971.
- 4 **Reznichenko, V. A., Ustinov, V. S., Karyazin, I. A., Petrunko, A. N.** Elektrometallurgiya i khimiya titana [Electrometallurgy and Chemistry of Titanium]. – Moscow : Nauka, 1982, p. 277.
- 5 **Vasyutinsky, N. A.** Titanovyye shlaki [Titanium slags]. - Izd Metallurgy, 1972, p. 208.
- 6 **Zelikman, A. N., Crane, O. E., Samsonov, G. V.** Metallurgiya redkikh metallov [Metallurgy of rare metals]. – 3rd Ed. Metallurgy, 1978, p. 560.
- 7 **Sariev, O., Kim, S., Zhumagaliev, Ye., Kelamanov, B., Sultanov, M., Nurgali, N.** Viscosity and crystallization temperature of ferroalloy slags from Kazakhstan ore. Metalurgija 59 (2020) 4, 525–528.
- 8 **Sariev, O. R., Almagambetov, M. S., Nurgali N. Z., Abdirashit, A. M., Kelamanov B. S.** Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF). Metalurgija 59 (2020) 4, P. 533–536.
- 9 **Reznichenko, V. A., Rapoport, M. B., Tkachenko, V. A.** Metallurgiya titana [Metallurgy of titanium]. – Moscow : USSR Academy of Sciences, 1963, p. 200.
- 10 **Gramata, V. A., Petrunko, A. N., Galitsky, N. V., etc.** Titan [Titanium]. – Moscow : Metallurgy, 1983, p. 559.
- 11 **Crusher, G. N.** Proizvodstvo i primeneniye titanovykh polufabrikatov za rubezhom [The production and use of titanium semi-finished products abroad] // Tsvetmetinform [Colormetinfo]. 1966, p. 92
- 12 **Zhuchkov, V. I., Rozenberg, V. L., Elkin, K. S., Zelberg, B. I.** Energeticheskiye parametry i konstruktsii rudovosstanovitel'nykh elektropetchey [Energy parameters and designs of ore-reducing electric furnaces]. - Chelyabinsk: Metal, 1994, p. 192.
- 13 GOST 23776-79. Karbonovyye izdeliya. Metody izmereniya udel'nogo elektrosoprotivleniya [Carbon products. Methods for measuring electrical resistivity].
- 14 GOST 4668-75. Uglerodnyye materialy. Metod izmereniya udel'nogo elektrosoprotivleniya poroshka [Carbon materials. Method for measuring the electrical resistivity of a powder].

Поступило в редакцию 28.11.2023  
Поступило с исправлениями 19.12.23.  
Принято в печать 04.02.2024

*Н. З. Нурғали<sup>1</sup>, М. С. Алмағамбетов<sup>1</sup>, \*О. Р. Сариев<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>«ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.,

<sup>2</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

## **ТИТАНҒА БАЙ ШЛАК БАЛҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ШИХТА МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ**

Мақалада құрамында 80% - дан астам титан оксиді бар жоғары титанды шлактарды өндіре отырып, ильменит концентраттарын электротермиялық байытуға арналған шихта құрамдарының электрлік қасиеттері қарастырылған. Кен-көмір брикеттерінің шөгудің температураға тәуелділігі Шұбаркөл көмірі мен кокстың әртүрлі түрлерін пайдалануға болатын көміртекті тотықсыздандырғыштың Ұша және қалдық ылғалдылығының құрамына тікелей байланысты. Балқыту ұнтақ шихтасынан бай титан шлактары кейбір қиындықтармен бірге жүреді. Шындығында, ильменит концентратының құрамындағы темір оксидінің көп бөлігі сұйық фазада, яғни диффузиялық жағдайда азаяды. Бұл концентраттың балқу процесі, бастапқы қождың пайда болуымен бірге, оны қалпына келтіру процесінен озып кететіндігіне байланысты. Зертханалық эксперименттердің нәтижелері бойынша жоғары титанды шлактарды балқыту үшін ең қолайлы тотықсыздандырғыштар арнайы кокс және газ көмірі болып табылатындығы анықталды, өйткені олармен брикеттер титан шикізатының қатты фазалық тотықсыздану температурасының интервалында ең үлкен электр кедергісіне ие. 1200°C-тан жоғары температурада барлық зерттелген шихта қоспаларының электр кедергісі ериді және іс жүзінде бірдей болады. Бұл тотықсыздандырғыштарды қолдану темір оксидтерінің селективті тотықсыздану жағдайларын жақсартуға ықпал етеді және жеңіл балқытын бастапқы токсиндердің пайда болуына жол бермейді.

*Кілт сөздер:* титанға бай шлак, көміртекті тотықсыздандырғыштар, брикет, электр кедергісі, шикіқұрам.



---

*N. Nurgali*<sup>1</sup>, *M. Almagambetov*<sup>1</sup>, *\*O. Sariyev*<sup>2</sup>, *B. Kelamanov*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ERG Research and Engineering Center LLP, Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>2</sup>K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan, Aktobe

Received 28.11.2023

Received in revised form 19.12.23.

Accepted for publication 04.02.2024

## DETERMINATION OF ELECTRICAL RESISTANCE OF CHARGE FOR PRODUCTION OF HIGH-TITANIUM SLAGS

*The article considers the electrical properties of charge compositions for the electrothermal enrichment of ilmenite concentrates to produce high-titanium slags containing titanium oxide of more than 80%. The temperature dependence of the shrinkage of ore-coal briquettes directly depends on the content of volatile and residual moisture of the carbonaceous reducing agent, which can be used as Shubarkolsky coal and various types of coke. The smelting of rich titanium slag from a powder charge is accompanied by some difficulties. The fact is that most of the iron monoxide in the composition of ilmenite concentrate is reduced in the liquid phase, i.e. under diffusion conditions. This is due to the fact that the process of melting the concentrate, accompanied by initial slag formation, is ahead of the process of its recovery. According to the results of laboratory experiments, it was found that the most suitable reducing agents for smelting high-titanium slag are special coke and gas coal, since briquettes with them have the highest electrical resistance in the temperature range of solid-phase reduction of titanium raw materials. At temperatures above 1200 °C, the electrical resistance of all the studied charge mixtures is flattened and becomes almost the same. The use of these reducing agents helps to improve the conditions for the selective reduction of iron oxides and prevents the formation of low-melting primary slags.*

*Keywords: High-titanium slag, carbonaceous reducing agent, ilmenite concentrate, electrical conductivity, charge.*

\*Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, Ж. Шошай<sup>1</sup>, А. Б. Баева<sup>2</sup>, М. Т. Тулиндинов<sup>3</sup>, Д. Р. Сапинова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>2</sup>ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭЖ, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>3</sup>КГП на ПХВ «Павлодарский машиностроительный колледж»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

### **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОЛОВА ИЗ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ СМАРТФОНОВ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ**

*При сегодняшнем уровне потребления, минеральные источники олова интенсивно истощаются, по причине широкого использования в электронной промышленности в качестве припоя. Поэтому крайне актуальным вопросом является возвращение вторичного олова в производственный цикл. В статье представлена методика гидрометаллургического извлечения олова из бывших в употреблении электронных устройств (электронных отходов) с применением ультразвуковой интенсификации. Был проведен тщательный обзор существующих и опубликованных методов извлечения олова. Была установлена потребность в комплексном методе извлечения металлов из электронных отходов. Метод должен сводить к минимуму потребление энергии и воздействие на окружающую среду. За этим последовала концептуальная разработка усовершенствованного гидрометаллургического метода извлечения олова, который был подтвержден экспериментально. При нагреве до 85 °С, без ультразвукового воздействия степень извлечения олова достигла 78,4 %, а с ультразвуковым воздействием извлечение олова достигло 91,6%. Данный факт можно объяснить снижением энергии активации процесса выщелачивания олова с 43,96 кДж/моль в нормальных условиях до 41,98 кДж/моль под действием ультразвука и смещением лимитирующей стадии процесса из химической в промежуточную область. На основе этих результатов в статье далее предлагается изучить воздействие ультразвука на процесс цементационного осаждения олова из продуктивного раствора. Следующая статья будет посвящена процессу селективного осаждения олова из продуктивного раствора.*

*Ключевые слова:* олово, ультразвук (УЗК), вторичная переработка, гидрометаллургия, электронные отходы.

---

**Введение**

Олово является одним из металлов, отнесенных ведущими экономическими странами к критически важным материалам [1]. Более 70 % всего производимого олова идет на изготовление припоев электронной промышленности. Количество минерального сырья для добычи олова сокращается и остро встает вопрос о возвращении вторичного олова обратно в производственный цикл [2]. Одним из наиболее перспективных видов оловосодержащего сырья являются – печатные платы смартфонов [3,4]. Содержание олова и других элементов в отходах печатных плат мобильных телефонов намного выше, чем в минеральной руде [5], а вторичная переработка этих металлов позволяет экономить большое количество энергии и снижает выброс  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Несмотря на множество существующих методов извлечения олова из печатных плат компьютеров, выяснилось, что тема извлечения олова из печатных плат телефонов освещена недостаточно [6].

Гидрометаллургические методы извлечения олова наиболее предпочтительны по причине экологичности и эффективности [7]. Однако несмотря на достаточно эффективные показатели, время прохождения гидрометаллургических процессов выщелачивания и цементации и довольно продолжительное ( $> 5$  ч). Этот факт делает поиск способов интенсификации процессов цементирования и выщелачивания актуальным. Исследователями проводятся работы, посвященные интенсификации гидрометаллургических процессов с помощью ультразвуковых полей различной мощности и частоты [8]. Известно о значительном сокращении по времени процесса выщелачивания свинца из отходов свинцового производства (в 8 раз) [9] и увеличении извлечения [10] при применении ультразвука по сравнению с обычными условиями выщелачивания. Таким образом, можно предположить, что применение ультразвука может положительным образом отразиться на сокращении по времени продолжительности гидрометаллургической обработки и увеличении процента извлечения олова из электронных отходов. В подтверждение этой гипотезы был проведен эксперимент по солянокислому извлечению олова из измельченных печатных плат смартфонов с ультразвуковой интенсификацией. С целью прогнозирования оптимальных условий процесса выщелачивания были построены диаграммы Пурбе Eh-pH (Пурбэ) систем олова и элементов присутствующих в перерабатываемом сырье.

**Материалы и методы**

Эксперименты проводились на базе Торайгыров Университета (г. Павлодар, Казахстан) и Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан). Для определения содержания олова и других ценных компонентов спектральным методом использовали масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой ICP-MS 7500cx. Для исследования фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO производства Panalitical. Для изучения морфологии поверхности материалов использовали микроскоп BX-51 (Olympus). Для фотовизуализации объектов исследования в ходе эксперимента использовался аппарат

CANON EOS 80D. Диаграммы Пурбэ построены и термодинамические параметры рассчитаны при помощи программного обеспечения HSC 9.

Печатные платы смартфонов (LG - H630D, LG - D686, Samsung SM - J100H / DS) измельчали до размера 8 мм с помощью дробилки QL-300 (рисунок 1а). Проведена магнитная сепарация черных металлов (рисунок 1в). Затем с помощью мельницы материал измельчали до размера менее 0,5 мм (рисунок 1с).



Рисунок 1 – Платы после: (а) барабанной дробилки QL-300; (б) мельницы; (с) магнитной сепарации

Выщелачивание. Измельченный материал выщелачивали без предварительной подготовки. В качестве выщелачивающего агента использовали HCl. Выщелачивание проводили в термостойком химическом сосуде. Оценено влияние температуры на процесс выщелачивания. Выщелачивание проводили с использованием следующих параметров:

1) Выщелачивание в нормальных условиях с перемешиванием на магнитной мешалке: концентрация HCl = 2 моль/л при температуре  $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Время выщелачивания 300 мин.

2) Выщелачивание с перемешиванием на магнитной мешалке и ультразвуковым воздействием: концентрация HCl = 2 моль/л при температуре  $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сосуд с материалом помещали в ультразвуковую ванну через 10 мин после начала процесса и далее каждые 60 мин. Время воздействия ультразвуком 5 мин. Время выщелачивания 300 мин.

Во всех тестах использовали 500 мл жидкости и 50 г твердого вещества (Т/Ж = 10/1). В течение первого часа выщелачивания через каждые 15 мин отбирали пробы для определения состава продуктивного раствора с целью изучения кинетики вымывания Sn из электронных отходов. Далее пробы отбирали каждые 1 час. Для анализа содержания Sn образец переносили в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и доводили до метки 5 % раствором азотной кислоты при перемешивании. Все испытания повторяли дважды, если разница между результатами не превышала 5 %, что требовало третьего повторения и представления среднего значения результатов.

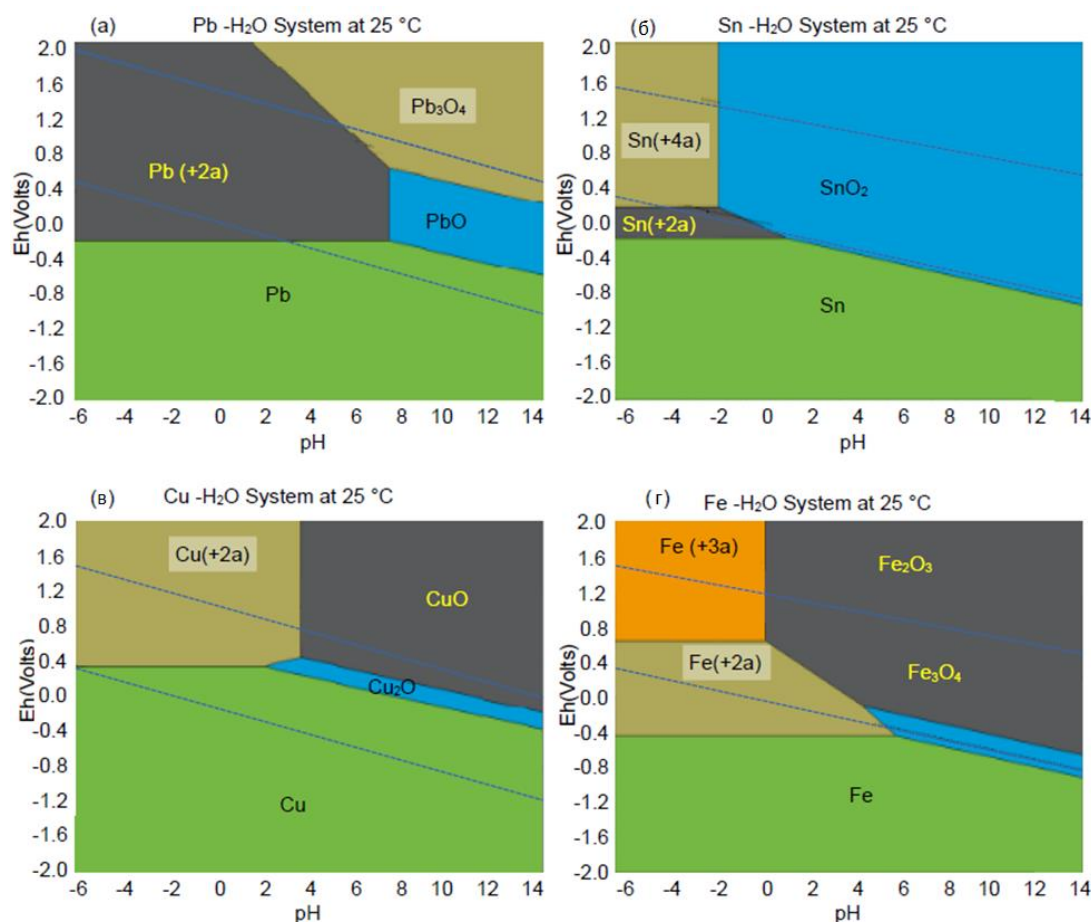
### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены средние концентрации металлов присутствующие в исследуемом объекте. Как видно по содержанию олова, меди и свинца сырье является богатым. Это говорит о перспективности направления переработки отработанных печатных плат. Изучение теории процесса выщелачивания Sn из электронных отходов должно учитывать описание термодинамических характеристик процесса. Диаграмма Пурбэ позволяет наглядно представить области существования термодинамически стабильных форм [11].

Таблица 1 – Концентрация металлов в представленном сырье ( мас, %)

металл	Cu	Al	Zn	Fe	Sn	Pb	Ni	Ag	Другие
мас,(%)	31,13	4,12	2,3	2.4	2,1	0,73	0,2	0,01	57,21

На рисунке 2 изображены диаграммы Eh-pH (Пурбэ), для систем Pb-Cu и Sn-Fe соответственно. Анализ полученных данных позволяет интерпретировать отсутствие растворения Cu в водных растворах тем, что зона существования  $Cu^{+2}$  расположена выше линии водорода (рисунок 2б).



а – Pb-H<sub>2</sub>O; б – Sn-H<sub>2</sub>O; в – Cu-H<sub>2</sub>O; г – Fe-H<sub>2</sub>O

Рисунок 2 – Диаграммы Eh-pH, отображающие области существования в водном растворе форм металлов системы Pb (0,001 М)/Cu (0,24 М)-H<sub>2</sub>O (а, б); Система Sn (0,008 М)/Fe (0,021 М)-H<sub>2</sub>O (в, г)

Напротив, стабильное состояние ионов Sn, Pb и Fe при pH = 0; 3 и 5 соответственно, вероятно, объясняется тем, что область их существования пересекает потенциальную линию водорода. Далее были рассчитаны основные термодинамические параметры ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ , K, logK) для систем Pb-Cu и Sn-Fe (таблица №2) при выщелачивании электронных отходов с HCl (при t=75°).

Таблица 2 – Основные параметры возможных реакций при 75°С

Возможные реакции	$\Delta H$ (кДж)	$\Delta S$ (Дж/К)	$\Delta G$ (кДж)	K	Log(K)
$\text{Sn}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{SnCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	11,414	163,561	-45,530	$6,786 \times 10^6$	6,832
$\text{Cu}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{CuCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	126,345	155,035	72,369	$1,384 \times 10^{-11}$	-10,859
$\text{Pb}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{PbCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	-15,044	151,660	-67,844	$1,513 \times 10^{10}$	10,180
$\text{Fe}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{FeCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	3,133	171,482	-56,568	$3,075 \times 10^8$	8,488

Отрицательные значения  $\Delta G$ , говорят о возможности самопроизвольного протекания реакций между HCl и Sn, Pb и Fe при t = 75 °С.

Выщелачивание. На первом этапе Sn извлекали раствором HCl с концентрацией 2 моль/л при перемешивании на магнитной мешалке при изменении температуры раствора от t = 25 °С до 50, 75 и 85 °С при нормальных условиях (без УЗК). Наряду с влиянием температуры среды исследовано влияние ультразвукового поля на процесс в том же диапазоне температур. Полученные данные представлены на рисунке 3. Показано, что степень выщелачивания Sn из электронных отходов при нормальных условиях и комнатной температуре составляет 40 % (рисунок 3а) и линейно возрастает с повышением температуры до 60 % при 50 °С с максимальным значением 78 % при температуре 75°С. Воздействие ультразвуком приводит к пропорциональному увеличению степени выщелачивания олова на ~ 10 % для всех диапазонов температур (рисунок 3б).

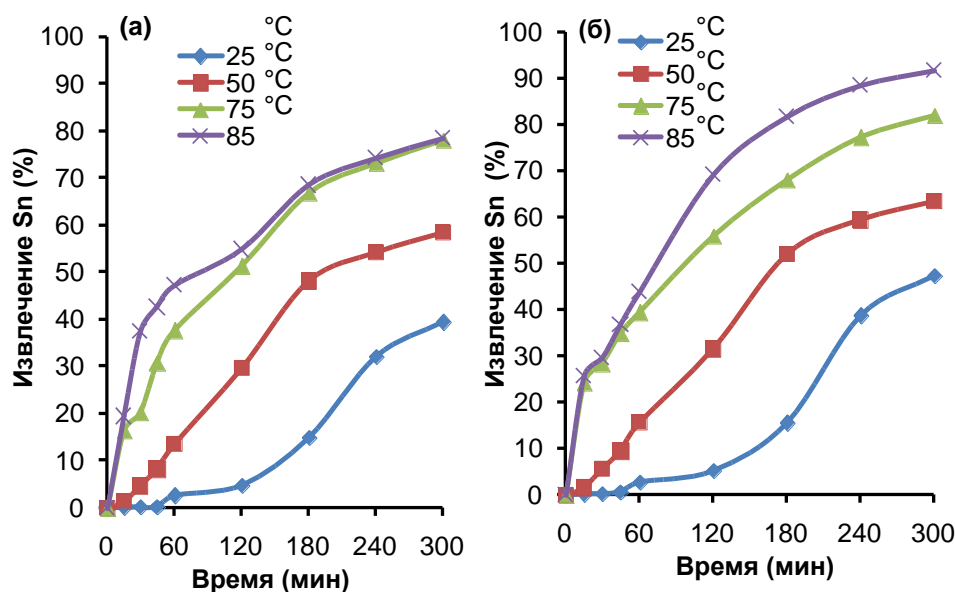


Рисунок 3 – Кинетика выщелачивания Sn из электронных отходов (в нормальных условиях - 3а, и при обработке каждый час в ультразвуковом поле - 3б)

Эффективность выщелачивания Sn при комнатной температуре составила 39,4 % соответственно в нормальных условиях и увеличилась до 47,2 % при ультразвуковом воздействии. Максимальное повышение температуры до 85 °C обеспечило извлечение Sn до 78,4 %, которое под действием ультразвука составило 91,6 %. На следующем этапе изучалось влияние ультразвука на величину энергии активации процесса. Расчеты процесса проводились по формуле Аррениуса. Для этого полученные эмпирические графики были оптимизированы методом наименьших квадратов. Затем методом регрессии были построены графики зависимости  $\lg\tau$  от  $1000/T$  ( $K^{-1}$ ) (рисунок 4) с процентами извлечения металлов 20 %, 40 % и 60 %. Коэффициенты наклона прямых  $\lg\tau = f(1/T)$  связаны со значением кажущейся энергии активации соотношением  $d(\lg\tau)/d(1/T) = E/(2,3R)$ . Показано, что энергия активации выщелачивания олова в нормальных условиях составляет 43,96 кДж/моль. Энергия активации выщелачивания Sn под действием ультразвука уменьшилась до 41,98 кДж/моль. Можно предположить, что при выщелачивании Sn в нормальных условиях лимитирующей стадией процесса было химическое взаимодействие, так как энергия активации превышала 40 кДж/моль.



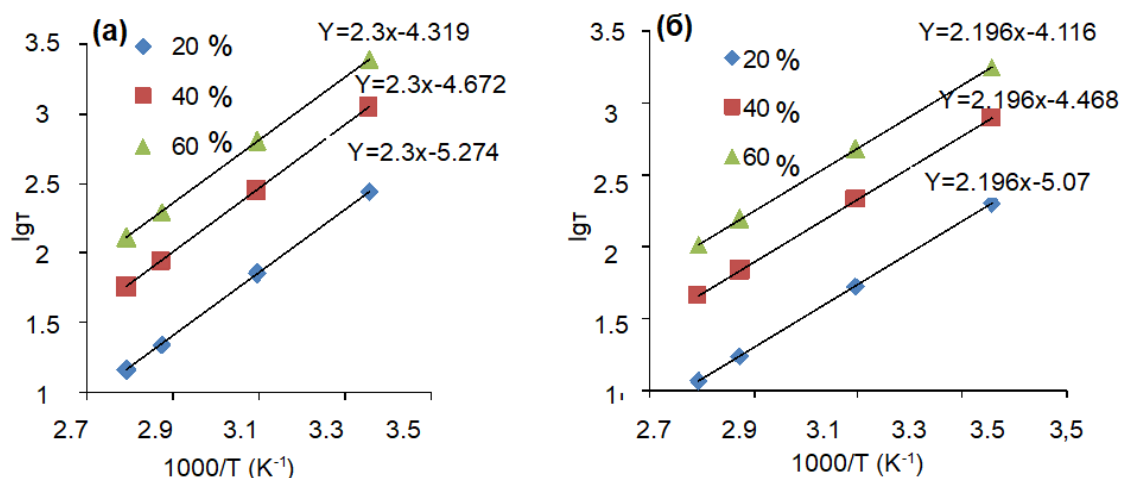


Рисунок 4 – Кинетика выщелачивания Sn из электронных отходов (при нормальных условиях - 4а, и при обработке каждый час в ультразвуковом поле - 4б)

Уменьшение значения энергии активации под влиянием периодического воздействия ультразвука, вероятно, объясняется смещением равновесия реакции и переходом лимитирующей стадии в промежуточную область.

#### Выводы

Экспериментально установлено, что использование ультразвука обеспечивает извлечение олова из раствора на 10 % и больше во всех исследованных температурных диапазонах. Данный факт можно объяснить снижением энергии активации процесса выщелачивания олова с 43,96 кДж/моль в нормальных условиях до 41,98 кДж/моль под действием ультразвука и смещением лимитирующей стадии процесса из химической в промежуточную область.

В следующей работе авторы планируют провести оценку воздействия ультразвуковой интенсификации на процесс цементации – осаждения олова из продуктивного раствора.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Официальный сайт Геологической службы США // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023.

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>

2 E-waste tin recovery success for EnviroLeach / ИТА – 2021 //

<https://www.internationaltin.org/e-waste-tin-recovery-success-for>.

3 **Oleinikova, N. V.** Status and prospects of metallurgical processing of electronic waste in Kazakhstan. НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА. ISSN 2788-8770. № 3, 2022

<https://doi.org/10.48081/DLCT7165>



- 4 **Gu F., Summers P.A., Hall P.** Recovering materials from waste mobile phones: Recent technological developments // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 237. – P. 117657.
- 5 **Wansi E., D’Ans P., Gonda L. et al.** Waste Management of Discarded Cell Phones and Proposal of Material Recovery Techniques // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 69. – P. 974–979.
- 6 China faces mobile phone recycling challenge // <https://www.ecns.cn/2017/02-15/245496.shtml>.
- 7 The Global E-Waste Statistics Partnership: Country and Regional Sheets. – 2021 // <https://globalewaste.org/statistics/country>.
- 8 **Jeon, S., Ito, M., Tabelin, C. B. et al.** A physical separation scheme to improve ammonium thiosulfate leaching of gold by separation of base metals in crushed mobile phones // *Minerals Engineering*. – 2019. – Vol. 138. – P. 168–177.
- 9 **Kasper A. C., Veit H. M.** Gold recovery from printed circuit boards of mobile phones scraps using a leaching solution alternative to cyanide // *Braz. J. Chem. Eng.* – 2018. – Vol. 35, Issue 3. – P. 931–942.
- 10 **Xie H., Zhang L., Li H. et al.** Ultrasonic enhanced replacement of lead in lead hydrometallurgy process from lead leaching solution // *R. Soc. Open Sci.* – 2019. – Vol. 6. Issue 7. – P. 1–10.
- 11 **Shishkin A., Mironovs V., Vu H. et al.** Cavitation-Dispersion Method for Copper Cementation from Wastewater by Iron Powder // *Metals*. – 2018. – Vol. 8(11). – P. 1–11.

## REFERENCES

- 1 US Geological Survey official website // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>
- 2 E-waste tin recovery success for EnviroLeach / ITA – 2021 // <https://www.internationaltin.org/e-waste-tin-recovery-success-for>.
- 3 **Oleinikova, N. V.** Status and prospects of metallurgical processing of electronic waste in Kazakhstan. *NAUKA I TEKHNIKA KAZAHSTANA*. ISSN 2788-8770. № 3, 2022 <https://doi.org/10.48081/DLCT7165>
- 4 **Gu, F., Summers P. A., Hall, P.** Recovering materials from waste mobile phones: Recent technological developments // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 237. – P. 117657.
- 5 **Wansi, E., D’Ans, P., Gonda, L. et al.** Waste Management of Discarded Cell Phones and Proposal of Material Recovery Techniques // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 69. – P. 974–979.
- 6 China faces mobile phone recycling challenge // <https://www.ecns.cn/2017/02-15/245496.shtml>.

7 The Global E-Waste Statistics Partnership: Country and Regional Sheets. – 2021 // <https://globalewaste.org/statistics/country>.

8 Jeon, S., Ito, M., Tabelin, C. B. et al. A physical separation scheme to improve ammonium thiosulfate leaching of gold by separation of base metals in crushed mobile phones // Minerals Engineering. – 2019. – Vol. 138. – P. 168–177.

9 Kasper, A. C., Veit, H. M. Gold recovery from printed circuit boards of mobile phones scraps using a leaching solution alternative to cyanide // Braz. J. Chem. Eng. – 2018. – Vol. 35, Issue 3. – P. 931–942.

10 Xie, H., Zhang, L., Li, H. et al. Ultrasonic enhanced replacement of lead in lead hydrometallurgy process from lead leaching solution // R. Soc. Open Sci. – 2019. – Vol. 6. Issue 7. – P. 1–10.

11 Shishkin A., Mironovs V., Vu H. et al. Cavitation-Dispersion Method for Copper Cementation from Wastewater by Iron Powder // Metals. – 2018. – Vol. 8(11). – P. 1–11.

Поступило в редакцию 25.02.2024

Поступило с исправлениями 14.03.2024

Принято в печать 14.03.2024

\*Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, Ж. Шошай<sup>1</sup>, А. Б. Баева<sup>2</sup>, М. Т. Тулиндинов<sup>3</sup>, Д. Р. Сапинова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup>Ұлттық сараптама орталығының филиалдары ШЖҚ РМК,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup>«Павлодар машина жасауколледжі» ШЖҚКМК,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

25.02.2024 ж. баспаға түсті.

14.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ИНТЕНСИФИКАЦИЯСЫ БАР СМАРТФОНДАРДЫҢ БАСПА ПЛАТАЛАРЫНАН ҚАЛАЙЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ АЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

*Бүгінгі тұтыну деңгейінде қалайының минералды көздері электронды өнеркәсіпте дәнекерлеу ретінде кеңінен қолданылуына байланысты қарқынды түрде сарқылуда. Сондықтан, екінші реттік қалайыны өндіріс цикліне қайтару өте өзекті мәселе болып табылады. Мақалада ультрадыбыстық интенсификацияны қолдана отырып, пайдаланылған электрондық құрылғылардан (электрондық қалдықтардан) қалайы гидрометаллургиялық алу әдістемесі келтірілген. Қалайы алудың қолданыстағы және жарияланған әдістеріне мұқият шолу жасалды. Электрондық қалдықтардан металдарды алудың кешенді әдісіне*

қажеттілік анықталды. Әдіс энергияны тұтынуды және қоршаған ортаға әсерді азайтуы керек. Осыдан кейін эксперименталды түрде расталған қалайы алудың жетілдірілген гидрометаллургиялық әдісінің тұжырымдамалық дамуы жүрді. 85 °С дейін қыздырғанда, ультрадыбыстық әсерсіз қалайы алу деңгейі 78,4 % - га жетті, ал ультрадыбыстық әсермен қалайы алу 91,6% - га жетті. Бұл фактіні қалайы сілтілеу процесінің белсендіру энергиясының қалыпты жағдайда 43,96 кДж/мольден 41,98 кДж/мольге дейін ультрадыбыспен және процесінің шектеу сатысының химиядан аралық аймаққа ауысуымен түсіндіруге болады. Осы нәтижелерге сүйене отырып, мақалада ультрадыбыстың өнімді ерітіндіден қалайы цементтеу тұндыру процесіне әсерін одан әрі зерттеу ұсынылады. Келесі мақалада өнімді ерітіндіден қалайы селективті тұндыру процесі қарастырылады

*Кілтті сөздер:* қалайы, ультрадыбыс, қайта өңдеу, гидрометаллургия, электрондық қалдықтар.

**\*R. V. Sapinov<sup>1</sup>, Zh. Shoshay<sup>1</sup>, A. B. Bayeva<sup>2</sup>, M. T. Tulindinov<sup>3</sup>, D. R. Sapinova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>2</sup>National center of expertise, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>3</sup>Pavlodar Engineering College, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 25.02.2024

Received in revised form 14.03.2024

Accepted for publication 14.03.2024

## **STUDY OF THE PROCESS OF HYDROMETALLURGICAL EXTRACTION OF TIN FROM PRINTED CIRCUIT BOARDS OF SMARTPHONES WITH ULTRASONIC INTENSIFICATION**

*At today's consumption level, tin mineral sources are being intensively depleted, due to widespread use in the electronics industry as solder. Therefore, the return of secondary tin to the production cycle is an extremely urgent issue. The article presents a technique for hydrometallurgical extraction of tin from used electronic devices (electronic waste) with the use of ultrasonic intensification. A thorough review of existing and published tin extraction methods has been conducted. The need for a comprehensive method for extracting metals from electronic waste has been identified. The method should minimize energy consumption and environmental impact. This was followed by the conceptual development of an improved hydrometallurgical method for tin extraction, which was confirmed experimentally. When heated to 85 °C, without ultrasonic exposure, the degree of tin extraction reached 78.4%, and with*

---

*ultrasonic exposure, tin extraction reached 91.6%. This fact can be explained by a decrease in the activation energy of the tin leaching process from 43.96 kJ/mol under normal conditions to 41.98 kJ/mol under the action of ultrasound and a shift of the limiting stage of the process from the chemical to the intermediate region. Based on these results, the article proposes to further study the effect of ultrasound on the process of cementation deposition of tin from a productive solution. The next article will be devoted to the process of selective deposition of tin from a productive solution. Keywords: tin, ultrasound, recycling, hydrometallurgy, e- waste.*

---

**ТРАНСПОРТ**

---

МРНТИ 73.41.61

**O. T. Balabaev<sup>1</sup>, A. V. Rozhkov<sup>1</sup>, K. K. Abishev<sup>2\*</sup>,  
A. D. Suleimenov<sup>2</sup>, I. I. Lyubimov<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Republic of Kazakhstan, Karaganda<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar<sup>3</sup>Orenburg State University, Russian Federation, Orenburge-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)**DETERMINATION OF GRAVITY COAL SHOOT  
GEOMETRICS FOR A COAL MINE**

*This article presents the results of scientific research carried out by the authors in the field of transportation technology in industrial transport. The application of a gravity coal intake device designed to lower coal from the upper horizon to the averaging warehouse of the lower horizon of a coal mine is considered. The velocities of the uniform movement of the load along the gravitational angle are determined depending on the angle of inclination. The numerical integration algorithm is implemented in the software environment of the Scilab application program. The results of calculating the speed of movement from the current value of the descent depth, for the required descent depth of 40 meters and for placement options in various sections of the section at the angles of inclination of the acceleration sections of 30, 40 and 45 degrees are presented. The main geometric parameters of the gravitational coal intake device for a coal mine are determined from the condition of limiting the speeds of coal movement. The design of the gravitational coal intake must be performed based on the condition at the beginning of accelerated movement, then movement at a steady speed and then slow motion to the required speed of coal exit from the coal intake at the required speed of 2 m/sec. The presented research results allowed us to determine the main parameters of the gravitational device (coal intake) proposed for use in the cyclic flow scheme of the «Molodezhny» coal mine of «Kazakhmys Corporation» LLP.*

*Keywords: coal mine, cyclic flow technology, coal transportation, gravity device, coal intake.*

**Introduction**

The scheme of cyclic-flow technology developed for the conditions of the «Molodezhny» coal mine of the «Kazakhmys» Corporation (Kazakhstan, Karaganda region) provides for the

use of a gravitational device - a coal discharge, designed to lower coal from the upper horizon to the homogenization warehouse of the lower horizon. Next, the coal is transported through a conveyor system of three belt conveyors to the processing plant [1; 2].

### Materials and methods

To design a gravitational device, it is necessary to determine its geometric parameters. To reduce the cost of constructing a coal dump, it is most rational to provide an angle of inclination equal to the angle of the natural edge of the open-pit mine, because when the installation angle is greater than the angle of repose, capital mining work is required, and when the installation angle is less than the angle of repose, both the length of the coal outlet itself and the supporting structures increase. At the same time, at significant installation angles, the coal flow velocity can exceed the permissible values - the maximum is 4 m/sec, limited by the conditions of possible excessive grinding of coal and the maximum at the coal exit from the gravity device - 2 m/sec, according to safety conditions [3; 4; 5].

Thus, it is necessary to determine the dependence of the speed of movement of coal along the gravitational device on the current value of the depth of the lowered coal.

The differential equation for the movement of cargo along a gravitational device has the form

$$mg \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - g \cos \alpha \cdot \omega_g \quad (1)$$

where  $\alpha$  – is the angle of inclination of the coal outlet;

$\omega_g$  – coefficient of resistance of the gutter [2];

$$\omega_g = f_B \left( 1 + n_l \frac{h}{B} \right) \quad (2)$$

where  $f_B$  – coefficient of friction of the transported load on the walls of the gutter;

$B$  – gutter width;

$n_l$  – lateral pressure coefficient;

$$n_l = \frac{\kappa_c (1,2 + v)}{1 + 2f^2} \quad (3)$$

where  $\kappa_c$  – an empirical coefficient taken equal to 1 for stationary devices;

$v$  – скорость груза;

$f$  – the coefficient of internal friction of the load; for coal  $f = 0,51 - 1,0$  we take  $f = 0,75$  [2].

Substitute (2) and (3) into (1), we get

$$\frac{dv}{dt} = \sin \alpha - f_B \left[ 1 + \frac{(1,2 + v) \cdot h}{1 + 2f^2} \cdot \frac{h}{B} \right] \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Obviously, with acceleration  $\frac{dv}{dt} = 0$ , the load will move at a uniform speed. Substituting  $\frac{dv}{dt} = 0$ , in (4) we determine the value of the speed of steady-state (non-accelerated) motion

$$\sin \alpha = f_B \cos \alpha + f_B \cdot \frac{1,2 \cos \alpha \cdot v}{(1 + 2f^2)} \cdot \frac{h}{B} + \frac{f_B \cos \alpha \cdot v}{(1 + 2f^2)} \cdot \frac{h}{B} \quad (5)$$

Divide both sides of (5) by  $\cos \alpha$ , we get

$$\operatorname{tg} \alpha = f_B + \frac{1,2 f_B}{(1 + 2f^2)} \cdot \frac{h}{B} + \frac{f_B \cdot v}{(1 + 2f^2)} \cdot \frac{h}{B} \quad (6)$$

We multiply both sides of (6) by  $\frac{(1+2f^2)B}{h \cdot f_B}$  we get

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha (1 + 2f^2) B}{h \cdot f_B} = \frac{(1 + 2f^2) B}{h} + 1,2 + v \quad (7)$$

Where

$$v = \frac{\operatorname{tg} \alpha (1 + 2f^2) B}{h \cdot f_B} - \frac{(1 + 2f^2) B}{h} - 1,2 \quad (8)$$

Let us determine the limits of change in the parameters that determine the speed of steady motion in formula (8).

The productivity of coal discharge can be determined by the formula [6, 7].

$$Q = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \rho \quad (9)$$

where  $\rho$  – the bulk density of the cargo, let's take 0,8 т/м<sup>3</sup> for the angle [1];  
 $F$  – cross-sectional area of the coal outlet.

Operating with the average height of the load thickness  $h$ , we can write

$$F = B \cdot h \quad (10)$$

where  $B$  – coal outlet width.

Considering that uncrushed rock mass is subject to transportation, we accept

$$B = \alpha_{max} + 200 \quad (11)$$

where  $\alpha_{max} = 1200$  мм – the maximum size of a piece of uncrushed rock mass, i.e.  $B = 1,4$  м.

Then

$$h = \frac{F}{B} = \frac{Q}{v \cdot \rho \cdot B \cdot 3600} \quad (12)$$

where  $v$  – speed of cargo movement along the coal outlet.

Substituting (12) into (8) we get

$$v = \frac{[tg\alpha - f_B(1 + 2f^2)] \cdot B \cdot v\rho \cdot B \cdot 3600}{Q} - 1.2f_B \quad (13)$$

Where

$$v = \frac{1.2f_B \cdot Q}{3600[tg\alpha - f_B(1 + 2f^2)]B^2\rho - Q} \quad (14)$$

or

$$v = \frac{1.2f_B Q}{3600} \cdot \frac{1}{[tg\alpha - f_B(1 + 2f^2)]B^2 \cdot \rho - \frac{Q}{3600}} \quad (15)$$

Let us set the following values of the parameters included in formula (15):  $Q = 1000 \div 2000$  t/h in increments of 500 t/h;  $\alpha = 16^0 \div 40^0$  with steps of  $2^0$ ;  $f = 0,30 \div 0,85$  with step 0,5;  $f_B = 0,5 \div 0,8$  in increments of 0,1.

### Results and discussion

To calculate the speed values using formula (15), an algorithm was compiled, implemented in the Scilab software environment [8]. The calculation results for  $f_B = 0,3$  and  $Q = 1500$  t/hour are presented in Figure 1.

As can be seen from the graph, the maximum speeds of steady-state movement do not exceed the speed limit of 4 m/sec.



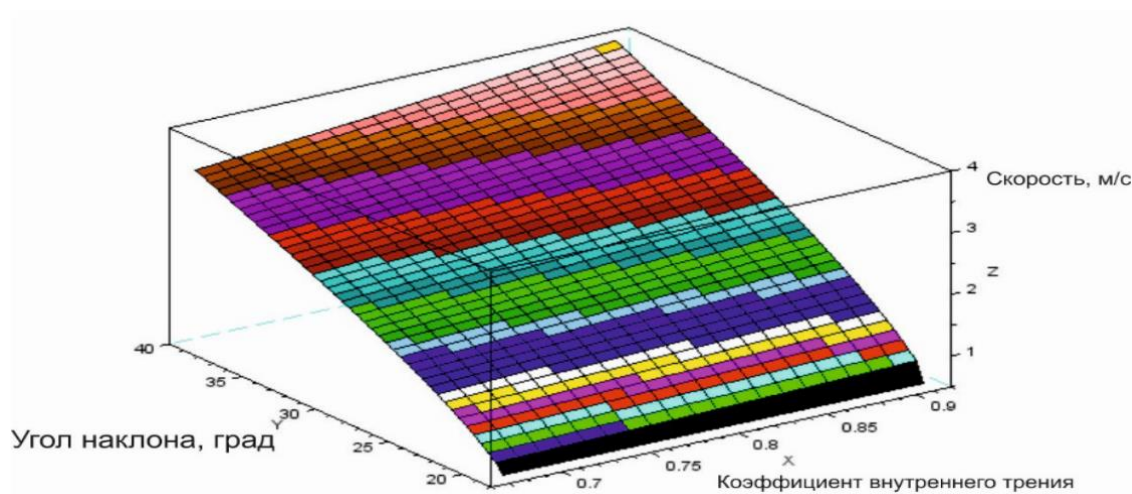


Figure 1 – Speeds of uniform movement of cargo along the coal discharge

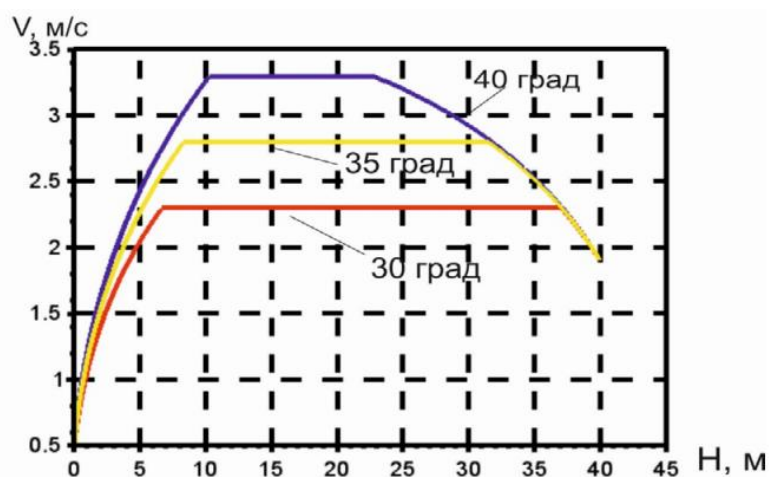


Figure 3 – Dependence of the speed of movement of coal on the depth of descent

The geometric dimensions of the coal outlet for installation at various slope angles of the pit sides are presented in Table 1.

Table 1 – Geometric dimensions of coal outlet

Angle of repose of the quarry side, degrees	Acceleration parameters		Parameters of the braking section	
	angle, degree	depth, m	angle, degree	depth, m
30	30	37	28	3
35	35	31.5	28	8.5
40	40	22.7	28	17.3

## Conclusions

To transport almost the entire range of bulk cargo, a device that operates using gravitational forces is used. These transport elements are called gravity devices.

Massive use of gravity devices occurs when unloading various containers, silos, and bunkers. Gravity devices are primarily intended to ensure uniform and uninterrupted supply of piece and bulk cargo from the place of unloading of the bunker and similar equipment to the next place of use in accordance with the technological chain [9; 10].

The Kazakhmys Corporation uses gravitational devices - a coal chute, designed to lower coal from the upper horizon to the leveling warehouse of the lower horizon.

Research aimed at determining the main parameters of the gravitational device (coal discharge) used in the cyclic-flow scheme of the «Molodezhny» coal mine of «Kazakhmys» Corporation LLP is relevant and is of paramount importance. Such work needs to be accelerated in the future.

#### REFERENCES

1 **Rozhkov, A. V., Balabaev, O. T., Marinchenko, O. S.** K voprosu primeneniya uglespuska v usloviyah ugol'nogo razreza «Molodezhnyj» TOO Korporaciya «Kazakhmys» [On the issue of using coal discharge in the conditions of the «Molodezhny» coal mine of «Kazakhmys» Corporation LLP] // Trudy universiteta, g. Karaganda, 2018. № 1. – P. 76.

2 **Malybaev, S. K., Rozhkov, A. V., Balabaev, O. T.** Perspektivy primeneniya ciklichno-potochnoj i potochnoj tekhnologij na otkrytyh gornyh rabotah [Prospects for the use of cyclic-flow and flow technologies in open-pit mining] // Respublikanskij zhurnal «Trudy Universiteta». – 2006. – № 1.

3 **Zenkov, I. I., Ivashkov, I. I., Kolobov, L. N.** Mashiny nepreryvnogo transporta. [Continuous transport machines] – Moscow : Mashinostroenie, 1987 – 432 p.

4 **Galkin, V. I., Sheshko, E. E.** Transportnye mashiny. [Transport vehicles] – M. : Gornaya kniga, 2010 – 625 p.

5 Конвейеры : Spravochnik [Conveyors : Directory] / R. A. Volkov, A. N, Gnutov, V. K. D'yachkov i dr, Pod obshch. red. YU. A. Pertena. L.; Mashinostroenie, Leningr, otd-nie, 1984. 367 p. s il.

6 **Adilova, N. D.** Optimizaciya vnutrennih perevozok metallurgicheskogo kombinata (na primere AO «ArselorMittal Temirtau») [Optimization of internal transportation of a metallurgical plant (using the example of «ArcelorMittal Temirtau» JSC)] : dis. ... dok. PhD: – Almaty : KazATK im. M. Tynyshpaeva, 2018. – 115 p. – Reg. № 0618RK00156.

7 **Sotnikov, I. B.** Ekspluataciya zheleznyh dorog v primerah i zadachah [Operation of railways in examples and problems], – Moscow : Transport, 1990. 232 p.

8 **Pavlova, M. I.** Rukovodstvo po rabote s paketom SCILAB [Guide to working with the SCILAB package] [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.statproject.ru> (data obrashcheniya 23.01.2017).

9 Pod'emno-transportnye mashiny: uchebnik [Lifting and transport machines: textbook] / M. N. Erohin , S. P. Kazancev , I. YU. Ignatkin [i dr.]; Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSKHA imeni K. A. Timiryazeva (Moscow). — Moscow, 2022. – 456 p.

10 **Makarov, YU. I.** Apparaty dlya smesheniya sypuchih materialov [Apparatus for mixing bulk materials] / YU. I. Makarov. Moscow: Mashinostroenie, 1973. pp. 180-184.

Received 10.03.2024

Received in revised form 14.03.2024

Accepted for publication 11.03.2024

**О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, А. В. Рожков<sup>1</sup>, К. К. Абишев<sup>2\*</sup>,**

**А. Д. Сулейменов<sup>2</sup>, И. И. Любимов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2</sup>Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup>Орынбор мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Орынбор қ.

10.03.2024 ж. баспаға түсті.

14.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

11.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **КӨМІР РАЗРЕЗІНІҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ КӨМІР ШЫҒАРУДЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**

*Бұл мақалада өнеркәсіптік көліктегі тасымалдау технологиясы саласындағы авторлардың ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері берілген. Көмірді жоғарғы горизонттан көмір шахтасының төменгі горизонтының гомогенизация қоймасына түсіруге арналған гравитациялық көмір ағызу құрылғысын пайдалану қарастырылады. Жүктің гравитациялық көмір шұңқыры бойымен біркелкі қозғалу жылдамдықтары көлбеу бұрышына байланысты анықталады. Сандық интеграция алгоритмі Scilab қолданбалы бағдарламалық жасақтама ортасында жүзеге асырылады. Ағымдағы түсу тереңдігінің мәнінен қозғалыс жылдамдығын есептеу нәтижелері, қажетті түсу тереңдігі үшін 40 метр және әртүрлі кесу учаскелерінде 30, 40 және 45 градус үдеу учаскелерінің көлбеу бұрыштарында орналастыру нұсқалары ұсынылған. Көмірдің қозғалу жылдамдығын шектеу жағдайында көмір шахтасы үшін гравитациялық көмір ағызу құрылғысының негізгі геометриялық параметрлері анықталды. Гравитациялық көмір шұңқырының конструкциясы жеделдетілген қозғалыстың басындағы жағдайға, содан кейін бірқалыпты жылдамдықпен қозғалуға, содан кейін көмірдің қажетті жылдамдығына 2 м/с қажетті жылдамдықпен көмір шұңқырынан шығатын баяу қозғалысқа негізделуі*

*керек. Ұсынылған зерттеу нәтижелері «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС «Молодежный» көмір кенішінің циклдік-ағынды сызбасында пайдалануға ұсынылған гравитациялық құрылғының (көмір разрядының) негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді.*

*Кілтті сөздер: көмір кеніші, циклдік-ағындық технология, көмір тасымалдау, гравитациялық құрылғы, көмір түсіру.*

**О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, А. В. Рожков<sup>1</sup>, К. К. Абишев<sup>2\*</sup>,**

**А. Д. Сулейменов<sup>2</sup>, И. И. Любимов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>2</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>3</sup>Оренбургский государственный университет, Российская Федерация, г. Оренбург

Поступило в редакцию 10.03.2024

Поступило с исправлениями 14.03.2024

Принято в печать 11.03.2024

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО УГЛЕСПУСКА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

*В данной статье представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных авторами в области технологии перевозок на промышленном транспорте. Рассмотрено применение устройства гравитационного углеспуска, предназначенного для спуска угля с верхнего горизонта на усреднительный склад нижнего горизонта угольного разреза. Определены скорости равномерного движения груза по гравитационному углеспуску в зависимости от угла наклона. Алгоритм численного интегрирования реализован в программной среде прикладной программы Scilab. Представлены результаты расчета скорости движения от текущего значения глубины спуска, для требуемой глубины спуска 40 метров и для вариантов размещения на различных участках разреза под углами наклона участков разгона 30, 40 и 45 град. Определены основные геометрические параметры устройства гравитационного углеспуска для угольного разреза из условия ограничения скоростей движения угля. Конструкция гравитационного углеспуска должна быть выполнена исходя из условия вначале ускоренного движения, затем движения с установившейся скоростью и затем замедленного движения до требуемой скорости выхода угля из углеспуска с требуемой скоростью 2 м/сек. Приведенные результаты исследований, позволили определить основные параметры гравитационного устройства (углеспуска) предложенного для применения в*

*циклично-поточной схеме угольного разреза «Молодежный» ТОО «Корпорация Казахмыс».*

*Ключевые слова: угольный разрез, циклично-поточная технология, перевозка угля, гравитационное устройство, углеспуск.*

**\*С. П. ДЮРЯГИН, А. Х. МУСТАФИН, Н. С. СЕМБАЕВ,  
В. П. ВАСИЛЕВСКИЙ, А. Б. БАЙГУШКАРОВА**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕНИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА ПЬЕЗОПЛАСТИНЫ И РОТОРА ВИБРОПРИВОДА**

*В данной статье рассматриваются вопросы исследования характеристик трения в зоне контакта пьезопластины и ротора с целью улучшения динамических характеристик вибропривода.*

*Исследования вибродвигателей показали их исключительные качества: высокую разрешающую способность по перемещению, широкий температурный диапазон, полное отсутствие влияния паразитных магнитных или электрических (в частности радиационных) полей. Но главной особенностью вибродвигателей, следует считать высокое динамическое качество в переходных режимах движения (т.е. при пуске и остановке, в старт-стопных и шаговых режимах), так как колеблющийся элемент с момента отключения питания становится тормозящим.*

*Существующие электродвигатели не всегда удовлетворяют повышенным требованиям: они обладают большой постоянной времени, вводят в динамическую схему прибора элементы пониженных жёсткостей, имеют ограниченный диапазон скоростей. Разрешающая способность существующих электродвигателей (включая шаговые и редукторные) довольно низкая и измеряется в единицах угловых минут или десятых долей миллиметра в линейных приводах. Такие характеристики не в состоянии удовлетворить возросшие требования к электромеханическим узлам. Поэтому создание нового вида привода, основанного, на преобразовании высокочастотных микровибраций в направленное движение, вызвало большой интерес у разработчиков прецизионной аппаратуры и устройств точной механики.*

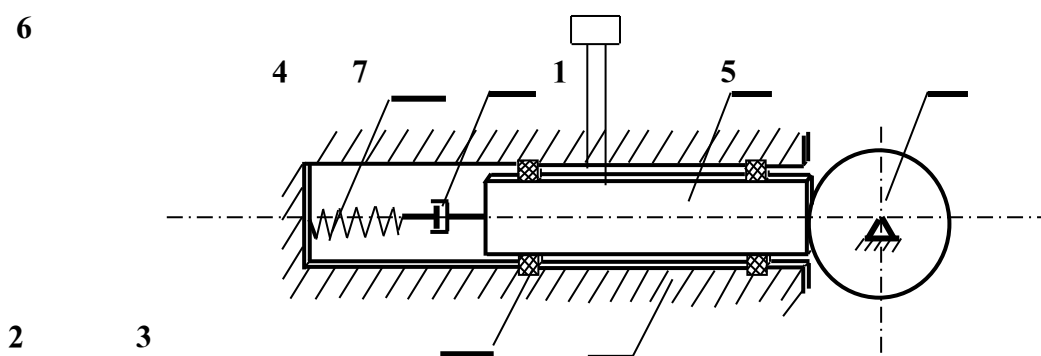
*Ключевые слова: трение, износ, вибродвигатель, ротор, демпфирующий элемент, равномерность вращения, пьезопластина.*

### **Введение**

По мере совершенствования вибродвигатели находят всё более широкое применение в различных областях науки и техники[1]. Одной из задач совершенствования вибродвигателей является повышение равномерности вращения ротора. Поскольку вращение ротора обеспечивается силой трения, возникающей в паре

трения между пьезопластиной и ротором, то на равномерность вращения существенное влияние оказывает нестационарность процессов трения.

Для уменьшения влияния фрикционных автоколебаний, возникающих в процессе трения и существенно влияющих на динамические характеристики вибропривода, предложена конструкция вибродвигателя с дополнительным демпфирующим элементом (Рисунок 1)[2]. На данную конструкцию получено авторское свидетельство на изобретение № 1769677 от 15.06.1992г.



1-пьезопластина; 2-направляющие пьезопластины; 2-корпус вибродвигателя; 4-пружина; 5-ротор; 6-блок управления; 7-демпфирующий элемент.

Рисунок 1–Схема вибродвигателя

### Материалы и методы

Теоретический анализ научной и специальной литературы по проблеме исследования; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Одной из задач совершенствования вибродвигателя является повышение равномерности вращения ротора. Поскольку вращение ротора обеспечивается силой сухого трения, возникающей в паре трения между износостойкой металлокерамической накладкой на пьезопластине и стальным ротором, то на равномерность вращения существенное влияние оказывает нестационарность процессов трения.

В частности условием появления фрикционных автоколебаний, которые наблюдались при проведении экспериментальных исследований, является наличие подающего участка характеристики трения, где  $\frac{dR}{dv} < 0$  (рисунок 2).

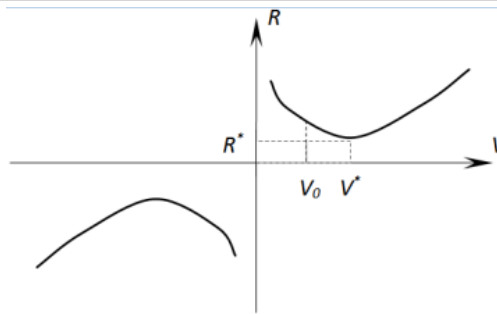


Рисунок 2 – Характеристика трения

При автоколебаниях скорость скольжения колеблется возле среднего значения  $V_0$ .

Характеристики трения получены при исследовании вибродвигателей с демпфирующим элементом, установленным с пружиной поджима пьезопластины к ротору, и без него. Сила трения определялась по усилию прижатия и коэффициенту трения пары: сталь – металлокерамика по формуле:

$$R = f \cdot N$$

Скорость скольжения принималась равной окружной скорости точки контакта ротора с накладкой пьезоэлемента. Принимая коэффициент трения вышеуказанной пары  $f = 0,18$  [3] при диаметре ротора 0,11м, определены характеристики трения вибродвигателя (рисунок 3).

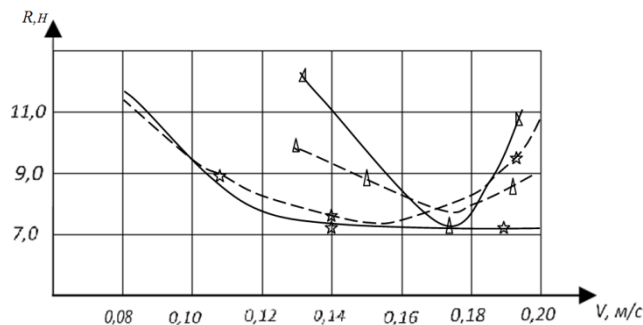


Рисунок 3–Характеристика трения вибродвигателя

Рисунок характеристики трения вибродвигателя без демпфера ( $\Delta$ ), с демпфером (\*). При скорости  $V > 0$  характеристику трения с достаточной для расчётов точностью можно аппроксимировать в виде кубической функции

$$R = 3R_* \left( 1 - \frac{V}{V_*} + \frac{V^3}{V_*^3} \right)$$

где  $R_*$  – наименьшая величина силы трения;



$V_*$  – соответствующая минимальной силе трения скорость скольжения.

При одинаковой минимальной силе трения скорости скольжения в точке перегиба кривых трения имеются разные значения: на кривой трения с демпфером скорость

$$V_* = 0,14 \text{ м/с}$$

и далее при её увеличении сила трения практически не изменяется. На кривой трения вибродвигателя без демпфера скорость больше и составляет  $V_* = 0,175 \text{ м/с}$ , сила трения имеет склонность к увеличению при дальнейшем повышении скорости скольжения.

Кривые трения, построенные по результатам расчётов, представлены на рисунке 3 штриховыми линиями.

### Фрикционные автоколебания пьезопластины вибродвигателя

Для упрощения расчётов, изгибные колебания пьезоэлемента, поджатого пружиной к ротору, рассматриваются как вертикальные автоколебания упруго закреплённого тела, прижатого к вращающему диску (рисунок 4).

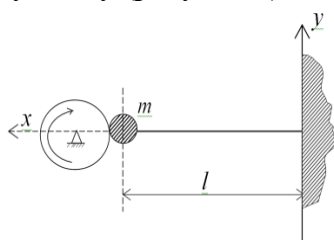


Рисунок 4 – Схема для расчёта колебаний пластины

Дифференциальное уравнение возмущённого движения имеет вид

$$m\ddot{y} + \Delta R(V_0, \dot{y}) + cy = 0$$

В уравнении разность

$$\Delta R(V_0, \dot{y}) = R(V_0) - R(V_0 - \dot{y})$$

представляет приращение силы трения из-за изменения скорости скольжения. На падающем участке характеристики эта разность отрицательна, что способствует появлению автоколебаний.

Для определения амплитуды установившихся автоколебаний используется уравнение энергетического баланса [4]

$$\int_0^{\frac{2\pi}{P}} \Delta R \dot{y} dt = 0$$

В нашем случае

$$\Delta R = \frac{3R_*}{V_*} \left[ \dot{y} \left( 1 - \frac{V_0^2}{V_*^2} \right) + \frac{V_0 \cdot \dot{y}^3}{V_*^2} - \frac{\dot{y}^3}{3V_*^2} \right]$$

Получают амплитуду автоколебаний

$$a = \frac{2V_x}{p} \sqrt{1 - \frac{V_0^2}{V_*^2}}$$

Наибольшая скорость колебаний

$$\dot{y}_{MAX} = ap = 2V_x \sqrt{1 - \frac{V_0^2}{V_*^2}}$$

Скорость автоколебаний ни должна быть больше скорости скольжения  $V_0$ .  
Условие существования автоколебаний

$$V_* \sqrt{1 - \frac{V_0^2}{V_*^2}} < V_0 < V_*$$

или

$$0,895 V_* < V_0 < V_*$$

Автоколебания невозможны при нарушении правого неравенства, при нарушении левого автоколебания будут носить релакционный характер, т.е. существенно отличаться от гармонических. Здесь же возможны появления интервалов полного сцепления (отсутствия скольжения). Поэтому при определении амплитуды колебаний пьезоэлементавибродвигателя без демпфера средняя скорость  $V_0$  должна удовлетворять вышеуказанному условию.

Результаты расчётов амплитуд колебаний в вышеуказанном интервале скоростей представлены на рисунке 5

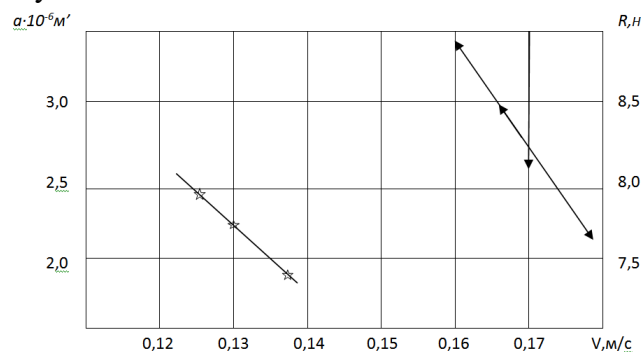


Рисунок 5 – Амплитуды квазилинейных автоколебаний

Вибродвигатели, имеющие демпферную прокладку между пружиной поджима и пьезоэлементом, создают меньшую амплитуду автоколебаний. Это явление обусловлено смещением скорости скольжения контактной зоны пластины и ротора в область меньших скоростей. При увеличении силы поджима или силы трения автоколебания из квазилинейных, т.е. носящих гармонический характер, превращаются в релаксионные.

Закон колебаний существенно отличается от гармонических и имеют пилообразную характеристику (рисунок 6).

При значительном падении характеристики трения можно пренебречь инерционной слагаемой уравнения и рассматривать её как дифференциальное уравнение первого порядка

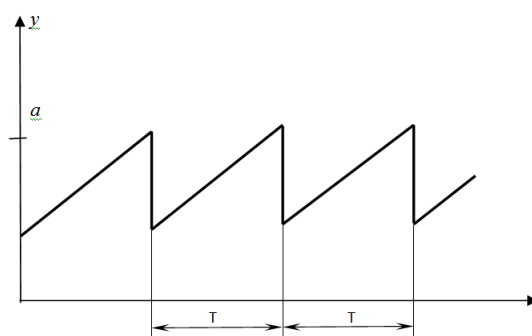


Рисунок 6 – Характеристика релаксионных автоколебаний

Решение дифференциального уравнения представлено в следующем виде:

$$y = \frac{t}{T} \cdot a$$

где  $T = \frac{2\pi}{P}$  – период пилообразной характеристики, частота колебаний которой принимается равной частоте собственных колебаний.



Рисунок 7 – Амплитуды релаксионных автоколебаний

Скорость изменения амплитуды

$$\dot{y} = \frac{a}{T}$$

После подстановки приращение силы трения в уравнение энергетического баланса

$$\int_0^T \left[ \dot{y} \left( 1 - \frac{V_0^2}{V_*^2} \right) + \frac{V_0 \cdot \dot{y}^3}{V_*^2} - \frac{\dot{y}^3}{3V_*^2} \right] \dot{y} dt = 0$$

Отсюда амплитуда колебаний

$$a = \frac{3\pi}{p} \left( \sqrt{\frac{4}{3} V_*^2 - \frac{1}{3} V_0^2} - V_0 \right)$$

Амплитудно-скоростная характеристика релакционных автоколебаний для двух вариантов вибродвигателей при  $V_0 < 0,895V_*$  представлены на рисунке 7.

При релакционных колебаниях из-за значительного поджатия пластины к ротору скорость скольжения уменьшается, а амплитуда колебания увеличивается. Диапазон изменения амплитуд колебаний вибродвигателя без демпфера составляет

$$(4,2 \div 7,8) \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

### **Характеристики амплитуд колебаний и неравномерности вращения ротора**

На участках скорости  $V_0 < V_*$  кривая трения (рисунок 3) вибродвигателя без демпфера имеет практически линейно возрастающую характеристику, а на аналогичном участке кривой трения с демпфером характеристика остается почти постоянной.

Приняв силу трения в зоне контакта пьезопластины с ротором за внешнюю нагрузку можно по известной жёсткости пластины определить статическое смещение (начальная амплитуда колебания).

Так при

$$R(V) = 7,2H$$

амплитуда

$$a = \frac{7,2}{3,2 \cdot 10^6} = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Аналогично определяются амплитуды колебаний конца пластины для остальных дискретных значений  $R(V)$ . Амплитуды колебаний пластин обоих вариантов вибродвигателей во всем диапазоне скорости скольжения ротора и пьезопластин совмещают с кривыми изменений коэффициентов неравномерности вращения ротора полученных экспериментальным путём (рисунок 8).

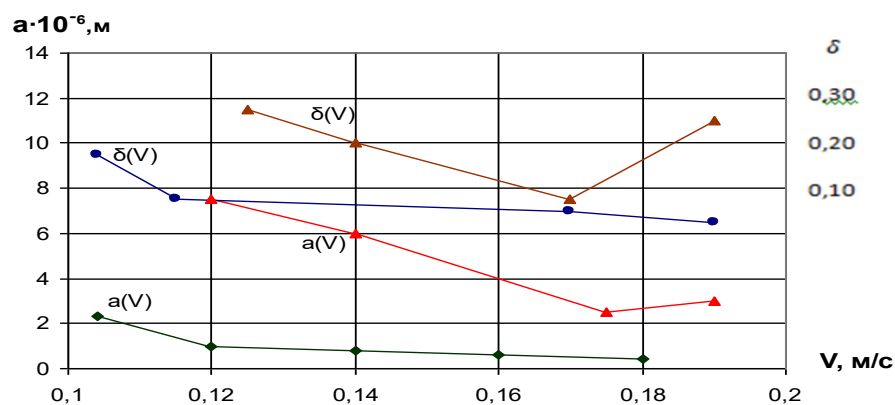


Рисунок 8 – Характеристика амплитуды колебаний и неравномерности вращения

### Результаты и обсуждение

Из анализа характеристик следует, что между кривыми изменениями  $a(v)$  и  $\delta(v)$  имеется определённая корреляционная зависимость, выражающаяся в соответственном совместном увеличении или уменьшении этих параметров. Необходимо отметить хорошее совмещение амплитуд колебаний на граничных участках характеристик трения: квазилинейные автоколебания-релаксионные-вынужденные. При этом важно отметить, что для вибродвигателей с демпфером амплитуда колебаний на всех участках скоростей в  $1,5 \div 3,0$  раза, а коэффициент неравномерности в  $1,5 \div 2,0$  раза меньше, чем для вибродвигателя без демпфера.

### Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что применение демпфирующего элемента в конструкции вибродвигателя позволило улучшить динамические характеристики вибропривода.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бансявичюс, Р. Ю., Рагульскис, К. М. – Вибродвигатели. Вильнюс : Мокслас.1981 – 322 с.
- 2 Биргер, И. А., Пановко, Я. Г. - Прочность. Устойчивость. Колебания. Справочник в 3 томах .1998 – 228 с.
- 3 Дюрягин, С. П., Сорокин, А. Н, Мустафин, А. Х. Вибродвигатель с улучшенными динамическими характеристиками // Вестник ПГУ. Павлодар, 2003. №2. – С. 22
- 4 Бабицкий, В. И. Теория виброударных систем. – М. : Наука 1978. – 352 с.
- 5 Бараускас, Р. А., Кульветис, Г. П., Рагульскис, К. М. Расчёт и проектирование вибродвигателей. - Л. : Машиностроение, 1984. – 102 с.
- 6 Блехман, И. И., Джанелидзе, Г. Ю. Вибрационное перемещение. – М. : Наука, 1994 – 410 с.

7 Лавриненко, В. В., Карташёв, И. А., Вишневский, В. С. Пьезоэлектрические двигатели. – М. : Энергия, 1980. – 112 с.

8 Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. –Л. : Машиностроение, 1976. – 320 с.

9 Анурьева, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. М. : Машиностроение, 2001. – Т.2 - 897 с.

10 Дюрягин, С. П., Сорокин, А. Н., Молокова, Н. И. Автоматизированная лазерная технологическая установка. Вестник ПГУ № 4 2003.

## REFERENCES

1 Bansevicius, R. Yu., Ragulskis, K. M. – Vibrodvigateli [Vibration motors]. Vilnius : Mokslas.1981 - 322 p.

2 Birger, I. A., Panovko, Ya. G. Prochnost'. Ustojchivost'. Kolebaniya. [Strength. Stability.Fluctuations. ] Handbook in 3 volumes .1998 – 228 p.

3 Dyuryagin, S. P., Sorokin, A.N., Mustafin, A. H. Vibrodvigatel` s uluchshenny`mi dinamicheskimi karakteristikami [Vibration motor with improved dynamic characteristics] // Bulletin of PSU. Pavlodar, 2003. No. 2. – P. 22.

4 Babitsky, V. I. Teoriya vibroudarny`x sistem [Theory of vibration shock systems]. – Moscow : Nauka 1978. – 352 p.

5 Barauskas, R. A., Kulvetis, G. P., Ragulskis, K. M. Raschyot i proektirovanie vibrodvigatelej [Calculation and design of vibration motors]. - L. : Mechanical Engineering, 1984. – 102 p.

6 Blekhnman, I. I., Dzhanlidze, G. Yu. Vibracionnoe peremeshhenie [Vibrational displacement]. – Moscow : Nauka, 1994 – 410 p.

7 Lavrinenko, V. V., Kartashev, I. A., Vishnevsky, V. S. P`ezoe`lektricheskie dvigateli [Piezoelectric motors]. – Moscow: Energiya, 1980. – 112 p.

8 Panovko, Ya. G. Osnovy` prikladnoj teorii kolebanij i udara [Fundamentals of the applied theory of vibrations and impact]. –L.: Mechanical Engineering, 1976. – 320 p.

9 Anuryeva, V. I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel [Handbook of the designer-machine builder].- Moscow : Mechanical Engineering, 2001. – Vol.2 – 897 p.

10 Dyuryagin, S. P., Sorokin, A. N., Molokova, N. I. Avtomatizirovannaya lazernaya texnologicheskaya ustanovka [Automated laser technological installation]. Bulletin of PSU 2003, No. 4. – P. 36.

Поступило в редакцию 14.02.2024

Поступило с исправлениями 14.03.2024

Принято в печать 03.03.2024

*С. П. Дюрягин\*, А. Х. Мұстафин, Н. С. Сембаев,*

*В. П. Василевский, А. Б. Байгушкарова*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

14.02.2024 ж. баспаға түсті.

14.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

03.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ПЬЕЗОПЛАСТИНА МЕН ДІРІЛ РОТОРЫНЫҢ ЖАНАСУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ҮЙКЕЛІС СИПАТТАМАЛАРЫ**

*Бұл мақалада діріл жетегінің динамикалық өнімділігін жақсарту мақсатында пьезопластина мен ротордың жанасу аймағындағы үйкеліс сипаттамаларын зерттеу мәселелері қарастырылады.*

*Діріл қозғалтқыштарын зерттеу олардың айрықша қасиеттерін көрсетті: Жоғары қозғалыс ажыратымдылығы, кең температура диапазоны, паразиттік магниттік немесе электрлік (атап айтқанда радиациялық) өрістердің толық әсер етпеуі. Бірақ діріл қозғалтқыштарының басты ерекшелігі-өтпелі қозғалыс режимдеріндегі жоғары динамикалық сапа (яғни, іске қосу және тоқтату кезінде, старта-аялдама және қадам режимдерінде), өйткені қуат өшірілген сәттен бастап тербелмелі элемент тежегішке айналады.*

*Қолданыс тағы электр қозғалтқыштары әрдайым жоғары талаптарды қанағаттандыра бермейді: олар үлкен уақыт константасына ие, құрылғының динамикалық схемасына төмен қаттылық элементтерін енгізеді, шектеулі жылдамдық диапазонына ие. Қолданыстағы электрқозғалтқыштарының ажыратымдылығы (қадамдық және редукторлық қозғалтқыштарды қосалғанда) өте төмен және сызықтық жетектердегі доғалық минуттардың бірліктерімен немесе миллиметрдің оннан бір бөлігімен өлшенеді.*

*Мұндай сипаттамалар электромеханикалық түйіндерге қойылатын талаптарды қанағаттандыра алмайды. Сондықтан жоғары жиілікті микровибрацияларды бағытталған қозғалысқа түрлендіруге негізделген жетектің жаңа түрін жасау дәлдік аппаратурасы мен дәл механика құрылғыларын жасаушылардың үлкен қызығушылығын тудырды.*

*Кілтті сөздер: үйкеліс, тозу, дірілқозғалтқышы, ротор, демпферлік элемент, айналу біркелкілігі, пьезопластина.*

---

*S. P. Dyuryagin\**, *A. H. Mustafin*, *N. S. Sembayev*,  
*V. P. Vasilevsky*, *A. B. Baiguchkarova*

Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

## **FRICION CHARACTERISTICS IN THE CONTACT ZONE OF THE PIEZO PLATE AND THE ROTOR OF THE VIBRATION DRIVE**

*This article discusses the issues of studying the friction characteristics in the contact zone of the piezo plate and the rotor in order to improve the dynamic characteristics of the vibration drive.*

*Studies of vibration motors have shown their exceptional qualities: high moving resolution, wide temperature range, complete absence of influence of parasitic magnetic or electric (in particular radiation) fields. But the main feature of vibration motors should be considered high dynamic quality in transient modes of movement (i.e., when starting and stopping, in start-stop and step modes), since the oscillating element becomes braking from the moment the power is turned off.*

*Existing electric motors do not always meet the increased requirements: they have a large time constant, introduce elements of reduced stiffness into the dynamic circuit of the device, and have a limited speed range. The resolution of existing electric motors (including stepper and gear motors) is quite low and is measured in units of angular minutes or tenths of a millimeter in linear drives. Such characteristics are not able to meet the increased requirements for electromechanical components. Therefore, the creation of a new type of drive based on the conversion of high-frequency micro-vibrations into directional motion aroused great interest among developers of precision equipment and precision mechanics devices.*

*Keywords: friction, wear, vibration motor, rotor, damping element, uniformity of rotation, piezo plate.*



**\*А. Б. Забиева, Б. Б. Тогизбаева, Ж. Р. Алипбаев**

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

\*e-mail: [aliya.zhakupovazabieva@gmail.com](mailto:aliya.zhakupovazabieva@gmail.com)

## **COMMON RAIL ОТЫН БҮРКУ ЖҮЙЕСІМЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДАҒЫ БҮРКУ ЖӘНЕ ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ КОМПЬЮТЕРЛІК ДИАГНОСТИКАСЫ**

*Пайдаланылған газ компоненттерінің шығарындыларын шектейтін стандарттар енгізілмес бұрын, тартқыштарды, серіппелерді, жұдырықшаларды және рычагтарды қолданатын қозғалтқышты басқару жүйелері механикалық болған. Мұндай басқарудың сапасы жанармай бүрку және жану процесінде басқару параметрлерінің қажетті қайталануын қамтамасыз етпеді. Пайдаланылған газдың компоненттерінің шығарындыларын шектейтін стандарттар енгізілгеннен кейін, жоғарыда аталған қозғалтқышты басқару жүйелері талаптарға сай бола алмады. Компьютерлік технологиялар мен бағдарламалық жасақтаманың дамуымен механикалық реттеуді электронды басқару жүйелеріне ауыстыру мүмкіндігі пайда болды. Дәл осы компьютерлік технологиялар мен бағдарламалық қамтамасыз етудің дамуы сынақ нәтижелерінің жеткілікті дәлдігі мен қайталануымен қозғалтқыштардағы бүрку және жану процестерінің параметрлерін басқару жүйелерін жобалауға мүмкіндік берді. Қазіргі заманғы электрондық дизельді басқару (EDC-electronical diesel control) басқару жүйесі, соңғы жылдары микропроцессорлардың есептеу қуатының артуына байланысты Common Rail бүрку жүйелерінің жоғары талаптарын қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Common Rail жүйесі-дизельді қозғалтқыштарға отын бүрку саласындағы жоғары тиімді технология. Мақалада төрт тақырыптық деңгей саласындағы сұрақтар келтірілген: қозғалтқышты жобалау және жаңарту, оны пайдалану, агрегаттардың істен шығу себептерін анықтау мақсатында диагностика мәселелері және агрегаттарды жөндеу тиімділігін бағалаудың стендтік әдістері, сондай-ақ баламалы отын түрлері мәселелері.*

*Кілтті сөздер: дизель, қозғалтқыш, бүрку процесі, жану процесі, диагностика, Common Rail.*

### **Кіріспе**

Қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз етумен бірге компьютерлік зерттеулерді қолдану қозғалтқыш диагностикасында бірнеше салаларда орын алады[1]. Бір-бірімен әртүрлі тәсілдермен байланысты төрт негізгі сынақ бар. Олар:

- қозғалтқыштардың жаңа конструкцияларын сынау, қозғалтқыш конструкцияларының жаңа шешімдеріндегі диагностика;
- диагностиканы қоса алғандағы пайдалану процесінде қозғалтқыштың техникалық жай-күйін тексеру;
- қозғалтқыш агрегаттарын жөндеуден кейін диагностикалау;
- жаңа балама отын түрлері [2].

Соңғы бірнеше онжылдықта сығу арқылы тұтанатын қозғалтқыштар үшін баламалы отынды қолданудың салдары туралы қарқынды және ауқымды зерттеулер жүргізілді. Мұнда өсімдік отыны және оның күрделі эфирлері басым рөл атқарады. Өткен ғасырдың жетпісінші жылдарының басынан бастап сығымдалған тұтану қозғалтқыштары үшін өсімдік отындары мен олардың күрделі эфирлерін өндіруде де, пайдалану әрекеттерінде де қарқынды диагностикалық зерттеулер жүргізілді.

Жану процесін жақсарту үшін қозғалтқышты жоспарланған жаңарту мыналардан тұрады:

- отын бүрку тізбегін электрлік бақылау;
- жоғары қысым және жоғары бүрку жылдамдығы;
- қозғалтқыштың бір жұмыс циклінде көп фазалы отын бүрку.

Қозғалтқыштардағы бүрку және жану процесінің параметрлерін өлшеу үшін жылдам өзгеретін параметрлерді тіркеуге мүмкіндік беретін компьютерлік диагностикалық жүйелерді қолдану қажет, мысалы:

- отын бүрку процесінде отын қысымының өзгеруі
- жану камерасындағы қоспаның қысымы (индикатор диаграммасы);
- форсунка инесін көтеру (ұзақтығы);
- қозғалтқыштың иінді білігінің бүкіл жұмыс диапазонында бір циклде айналу бұрышы [3].

### **Материалдар мен әдістер**

Common rail отын бүрку жүйесі тікелей бүркуі бар сығымдалған тұтану жүйесі бар дизельдік қозғалтқыштарына арналған. Ол алдыңғы қозғалтқыштың отын жүйелеріне қарағанда отын бүрку жүйесін реттеуде үлкен икемділікті қамтамасыз етеді.

Жоғары бүрку қысымы (шамамен 260 МПа дейін), жанармай бүркуінің ауыспалы басталуы, бөлінген дозада отын бүркуі (бір бүркуде тоғыз дозаға дейін), сондай-ақ қозғалтқыш жүктемесіне байланысты реттелетін отын бүрку қысымы қозғалтқыштың тиімділігінің жоғарылауына және пайдаланылған газдардың компоненттерінің шығарындыларының төмендеуіне әкеледі.[4]

Бұған пьезоэлектрлік форсункаларды қолдану арқылы қол жеткізілді. Отынды бүрку және оны мөлшерлеу әдісі бүрку мен жану процесінің параметрлеріне түбегейлі

әсер етеді. Бұл пайдаланылған газдардағы азот оксидтерінің NOx құрамын төмендетеді, сонымен қатар иінді біліктің айналу дәрежесіне қарай жану камерасындағы қысымның төмендеуіне байланысты қозғалтқыштың төмен шуымен сипатталады.

Мотор отындары сығу арқылы тұтанатын қозғалтқыштардың дамуын имитациялайды. Біз әлі де пайдаланылған газ компоненттері мен шу деңгейіне қатысты қатаң шектеулерге тап боламыз, бұл қозғалтқыштың құрылымы мен жанармай қасиеттерін үнемі жетілдіруге мәжбүр етеді. EURO VI шығарындыларының жаңа стандарттары азот оксидтерінің (NOx), көмірсутектердің (CnHm), көміртегі тотығының (CO) және қатты бөлшектердің (PM) рұқсат етілген деңгейлерін анықтайды.

Бұрын сығымдалған тұтану қозғалтқышының қуат жүйелері жоғары жылдамдықты қозғалтқыштардағы тапсырмаларды орындай алмады. Бұл жоғары қысымды желілік сорғылармен, жоғары қысымды тарату сорғылармен және серіппелі форсункалы сорғымен жабдықталған сығымдалған тұтану қозғалтқыштарының қоректендіру жүйелеріне қатысты болып келеді.[5].

Осы жобалық шешімдерге қатысты параметрлерді диагностикалау кезінде иінді біліктің бұрышына байланысты отын бүрку процесі кезіндегі отын қысымының мәндері пайдаланылды.

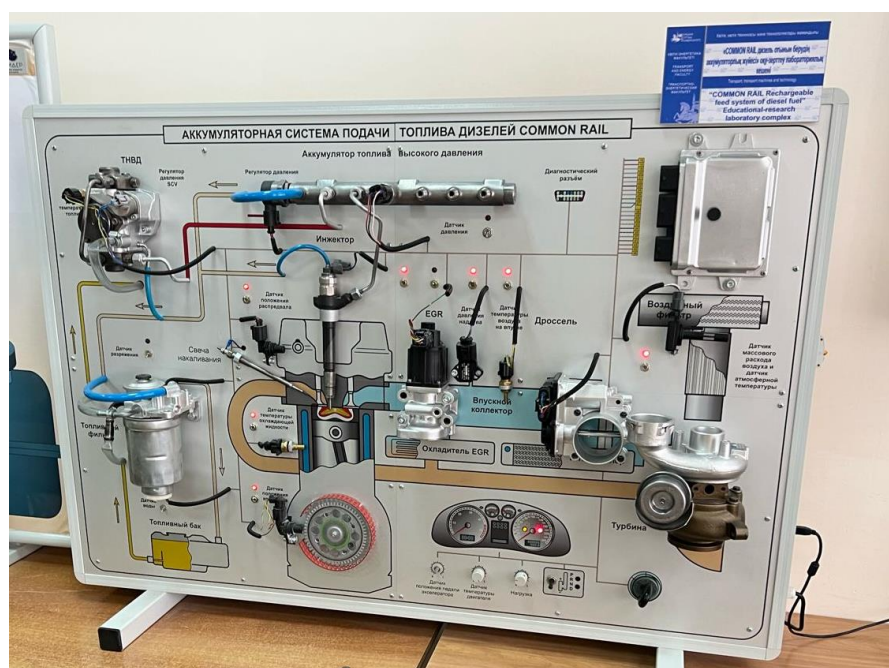
Электрлік басқару жүйелеріндегі соңғы жетістіктерді пайдалана отырып, басқару параметрлерін (кіріс және шығыс) оңтайландыру қажет болды. Қозғалтқыштың диагностикалық параметрлерін бұрынғыдай қозғалтқыштың бірінші цилиндрі үшін ғана емес, әрбір цилиндр үшін бөлек бейімдеу қажет болды. Common rail отын бүрку жүйесімен жабдықталған сығымдалған тұтану қозғалтқыштарына арналған соңғы қуат беру жүйесі осы талаптарды қанағаттандыруға тырысады.

Жанармай бүрку процесінің параметрлері қозғалтқыш цилиндріндегі жану процесін айтарлықтай анықтайды, сондықтан қозғалтқыш қуаты тұрғысынан шешуші болып табылады.

Әрбір ішкі жану қозғалтқышы, соның ішінде сығымдалған жану қозғалтқышы күрделі басқару объектісі болып табылады, сондықтан осы уақытқа дейін қолданылған механикалық-гидравликалық және пневматикалық басқару жүйелері басқару параметрлерін олардың міндеттері тұрғысынан оңтайландыруда сәтсіздікке ұшырады. Мұндай қозғалтқыштың мәні интеграцияланған электронды басқару жүйесін қолдану арқылы кіріс немесе шығыс параметрлері (немесе олардың сипаттамалары) арасындағы қатынасты оңтайландыру арқылы қоршаған ортаны қорғау стандарттарының талаптарын сақтау болып табылады. Бұл параметрлер жабық кері байланыс тізбегінде бақыланады, мысалы, отын мен ауа мен пайдаланылған газдардың құрамы арасында.[6]. Барлық осы реттеу және бақылау жүйесінің нәтижесі айналу жиілігіне байланысты қозғалтқыштың болжамды момент сипаттамаларын алуы керек.

### Нәтижелер және талқылау

Бұрку және жану процесінің диагностикалық параметрлері төрт цилиндрлі Daewoo/Chevrolet Rezzo Takuma Engine 1.6 зерттеу қозғалтқышында сыналды. Сынақ стендінің көрінісі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1– МТ 10 Light бағдарламалық құралыбар Common rail стенді

Өздігінен тұтанудың кідіріс құбылысын егжей-тегжейлі талдау үшін сығымдалған тұтанғыш қозғалтқыш таңдалды: Daewoo/Chevrolet Rezzo Takuma Engine 1.6

Rezzo Takuma Engine 1.6 қозғалтқышы COMMON RAIL отын беру жүйесімен және электронды басқарылатын форсункамен жабдықталған[7]. Ол пилоттық отын дозасы бар екі фазалы отын бұрку жүйесімен жабдықталған. Rezzo Takuma Engine 1.6 қозғалтқышының негізгі техникалық параметрлері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1– Қозғалтқыштың сипаттамалары

Цилиндрлер саны	1
Тесік өлшемі	85.01 мм
Жүріс	90.00 мм
Орын ауыстыру	511.00 см <sup>3</sup>
Жану түрі	Сығудан тұтану
Клапан жүйесі	4 клапан
Қысу коэффициенті	17.0 ÷ 17.5
Жанармай құю жүйесі	Common Rail

Максималды тиімді қуат	6 кВт
Максималды тиімді қуат	16 кВт
Қозғалтқыштың номиналды айналу жиілігі	4200 мин <sup>-1</sup>
Бүркудің максималды қысымы	180 МПа

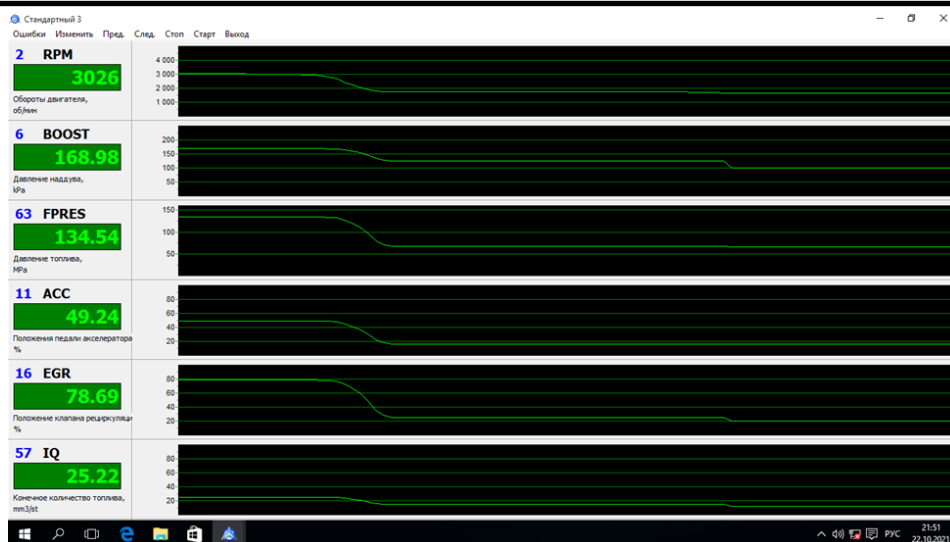
MT 10 Light бағдарламалық құралының 1.0.0 нұсқасымен және Rezzo Takuma Engine 1.6 нұсқасымен жабдықталған компьютерлердің арқасында процестерді өлшеу, қозғалтқыштың жұмыс параметрлерін қарау және оларды өңдеу мүмкін болады.

Rezzo Takuma Engine 1.6 ұсынған MT 10 Light автоматтандыру үшін пайдаланылады және жаңа сынақтарды жасауға мүмкіндік береді. MT 10 Light бағдарламалық құралын HIL модельдеу үшін пайдалануға болады[8].

Ашық бастапқы MT 10 Light бағдарламалық құралын пайдалану үшін Microsoft Windows 7 немесе XP операциялық жүйесін пайдаланылады.

Жанармай бүрку жүйесінің негізгі функциялары отын бүркүді басқаруды, негізінен бүркүді іске қосуды, бүрку қысымын және отын дозасын қамтиды. Олардың негізгі міндеті - қозғалтқыштың біркелкі жұмысын қамтамасыз ететін қозғалтқыштың жоғары тиімділігін және бүрку қысымының жоғары қайталануын сақтау. Common Rail жүйесімен жабдықталған қозғалтқыштағы айдау және жану процесінің параметрлері олардың кернеуін қолайлы диапазонға шектейтін контроллермен бақыланады. Контроллер қозғалтқыштың әрбір жүктемесінде айдалатын отынның қысымы мен дозасына, сондай-ақ бүркүді дұрыс бастау бұрышына жауап береді. Қозғалтқышты басқару картасының шамамен отынның қысымы мен дозасының көрінісі 2-суретте көрсетілген. Бұл жағдайда координаттар ретінде Rezzo Takuma Engine 1.6 қозғалтқышының айналу жылдамдығы және 0-ден 100% аралығындағы қажетті қозғалтқыш жүктемесі үшін доза қарастырылады.

Сондай-ақ, Rezzo Takuma Engine 1.6 қозғалтқышындағы жүктеме картасын екі рет отынмен қамтамасыз ету арқылы пайдалануға қатысты ауқымды зерттеулер жүргізілді.



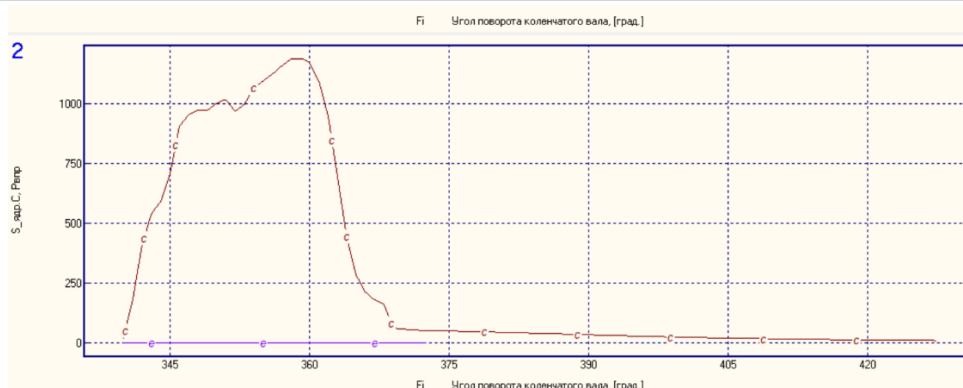
Сурет 2 – Отын қысымы(FPRES, IQ)

Конструкторлық зауыттарда іштен жанатын қозғалтқыштардың жаңа конструкциясын зерделеу немесе оларды модернизациялау кезінде жану процесінің келесі диагностикалық параметрлері өлшенеді:

- индикаторлық диаграмма;
- автоматты тұтанудың кідіріс бұрышы;
- иінді біліктің айналу бұрышына байланысты жану қысымының бұрышы (соның ішінде  $P_{max}$ );
- жанудың басталу бұрышы;
- жану процесінің ұзақтығы, [9] сондай-ақ тиісті бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалану, мысалы:
  - жану қысымының жоғарылау дәрежесі (қозғалтқыштың қаттылығы);
  - жанармай дозасының 50% жану дәрежесі;
  - жанармай дозасының 90%-дан 100%-ға дейін жану дәрежесі.

Қозғалтқыштағы жанармай бүрку параметрлері мен жану процесінің толық анықтамаларын олардың графикалық парағымен бірге библиография бөлімінен табуға болады.

3-суретте форсунканы ашу үшін бүркудің басталу бұрышы, дәлірек айтсақ, электр импульсінің іске қосылуының басталуы көрсетілген.



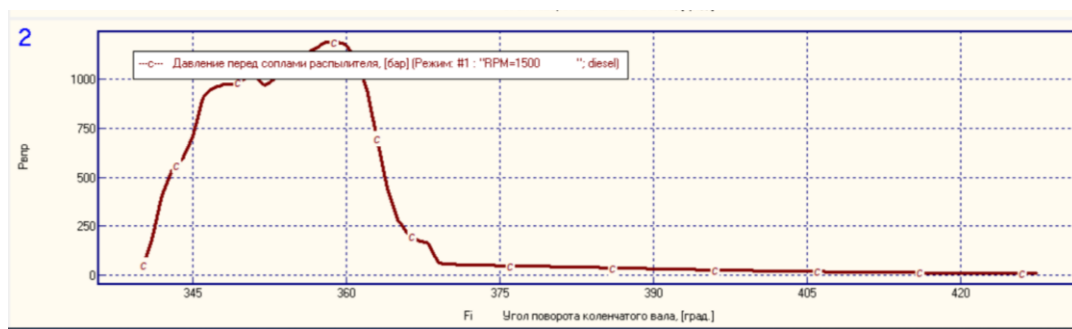
Сурет 3 – Иінді біліктің айналу бұрышынан пайдалануға дейінгі жанармай қысымының шамамен өзгеруі

Rezzo Takuma Engine 1.6 қозғалтқышының прототипі қозғалтқыштың жылу өнімділігін жақсарту және түтін шығарындыларын азайту мақсатында бүрку қысымын және қозғалтқыштың газ тарату жүйесінің құылымын оңтайландыру үшін пайдаланылды.

Қозғалтқыштардағы айдау және жану процестерін оңтайландыру бойынша зерттеулерде қозғалтқыштың жану камерасындағы тұтану процестерін сипаттау үшін диагностикалық тәжірибелік сандық модельдер де қолданылды.

Дегенмен, қозғалтқыштардың жұмыс жағдайында олардың техникалық жағдайы операциялық тексеру процедуралары немесе ағымдағы ақауларды диагностикалау қажеттілігі негізінде бағаланады. Кәдімгі бүрку жүйелері.[10] бар сығымдалған тұтану дизельді қозғалтқыштарын отынмен қамтамасыз ету жүйесі және Common Rail жүйесі көптеген техникалық ақаулармен сипатталады - негізінен инжекторлар мен жоғары қысымды отын сорғылары.

Жеке цилиндрлерге құйылған отынның орташа дозаларының қысымы арасындағы айырмашылықтардың зерттелетін параметрлері 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4 – Daewoo/Chevrolet Rezzo Takuma Engine 1.6 жеке цилиндрлерге құйылған отынның орташа дозаларын қысымы арасындағы айырмашылықтар

Бұл жерде қозғалтқыш цилиндрлеріне құйылатын отын дозаларының бірегейлігі жану процесінің көрсетілген параметрлерінің бірегейлігін анықтайтынын атап өткен

жөн. Оларды формула бойынша берілген параметрдің бірегейлігінің (өзгергіштігінің) көрсеткіштері ретінде анықтауға болады:

$$X(P_{cmax}) = \frac{\sigma(P_{cmax})}{(P_{cmax})} = \frac{\sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k [(P_{cmax})_i] - (\overline{P_{cmax}})^2}}{\overline{P_{cmax}}}$$

Мұндағы,

$\sigma(P_{cmax})$  – орташа квадраттық ауытқу;

$i(\overline{P_{cmax}})$  – жану камерасындағы максималды қысым;

$(P_{cmax})_i$  – осы циклдегі жану камерасындағы максималды қысым;

$k$  – талданатын циклдар саны.

Бүрку және жану процесінің параметрлерінің бірегейлігіне байланысты қозғалтқыштың айналу моментінің өзгергіштігі талданады. Бұл негізінен қозғалтқыштың өтпелі режимдерде жұмыс істеуіне қатысты болып келеді. Белгіленген жұмыс жағдайында айналу моменті иінді біліктің бір айналымы үшін белгілі бір диапазонда өзгереді. Сондықтан қозғалтқыштың иінді білігінің бұрыштық жылдамдығы тұрақты емес. Демек, қозғалтқыштың иінді білігінің қозғалысы қозғалтқыштың біркелкі жұмыс істемеуімен сипатталады. Оны жақсарту үшін иінді біліктің ұшына маховик орнатылады.

Қозғалтқыштың пайдалану шығындарын төмендету мақсатында Common Rail отын беру жүйесінің тораптары, атап айтқанда жоғары қысымды отын сорғысы және форсункалар диагностикалық стендтердегі зақымдарды тексеруге енгізіледі.

Ол үшін диагностикалық тестерлер мен компьютерлік диагностикалық станциялар бар, олардың параметрлерін өндірушінің ұсыныстарына сәйкес қалпына келтіруге арналған тиісті бағдарламалар бар. Бұл процестер зақымдалған бөліктерді ауыстырып, түзетулер енгізгеннен кейін жүзеге асырылады.

Жоғары қысымды отын сорғысын сынау диагностикалық сынақ кестелерінде жүргізіледі. Мұнда жоғары қысымды отын сорғысының жекелеген бөлімдерінің мөлшерлеу біркелкілігін тексеру мүмкіндігі бар және отынды мөлшерлеу нәтижелері негізінде жоғары қысымды отын сорғысының жылдамдық сипаттамаларын дайындауға болады.

BOSCH сынақ стенділерінің соңғы үлгілері сәйкес бағдарламалық жасақтамасы бар диагностикалық компьютерлермен басқарылады және 23 түрлі қосымша құралдар жиынтығымен жабдықталған. Бұл барлық өндірушілердің жоғары қысымды отын сорғыларын диагностикалауға мүмкіндік береді. Тиісті бағдарламаларды қолдану арқылы белгілі бір мөндерді алу, мысалы,  $\Delta P$  (жану камерасындағы артық қысым, айдау қысымы мен жану камерасындағы қысым арасындағы айырмашылық) жанғыш қоспаны құру саласындағы бірқатар параметрлерді есептеуге мүмкіндік береді.

Олар келесі диагностикалық параметрлерді қамтуы мүмкін:

– қозғалтқыштың жану камерасына айдалатын отынның тозаңдануының бастапқы шығыны;



- отынның ыдырауының критикалық жылдамдығы;
- отын тамшыларының диаметрінің критикалық мәні;
- отын ағынының микроқұрылымын;
- отынның тік бүрку бұрышы.

Төменде тестілеу құрылғыларының мониторларынан немесе тиісті бағдарламалық жасақтамасы бар компьютерлік жүйелермен жабдықталған диагностикалық жинақтардан тікелей оқи алатын отын бүрку процесінің параметрлері берілген. Осыған келесідей диагностикалық параметрлерді жатқызуға болады:

- отын бүрку бұрышының басталуы;
- отын бүрку бұрышының соңы;
- бүрку ұзақтығы;
- максималды бүрку қысымы.

### **Қорытынды**

Бұл басылым Common Rail отын беру жүйесі бар қозғалтқыштарға ерекше назар аударып, сығымдалған тұтану қозғалтқыштарының диагностикалық параметрлері бойынша зерттеулердің маңызды бағыттарын ұсынады.

Қоршаған ортаны қорғау мақсатында пайдаланылған газдар шығарындыларына қойылатын қатаң шектеулер, мотор отындарын өндірушілерді қолданыстағы отын түрлерін өзгертуге мәжбүр етеді.

Жоғарыда айтылғандай, бұл диагностикалық зерттеулер төрт негізгі салада жүргізіледі. Қозғалтқышқа отын беру жүйелерінің жаңа конструкцияларына көп көңіл бөлінеді. Ең жаңа шешім - Common Rail жанармай беру жүйесі. Бұл сынақтардың барлығы қозғалтқышты пайдалану процесінде диагностикалауға, сондай-ақ оларды қайта пайдалануға беру мақсатында зақымдалған компоненттерді жөндеуге қатысты болып табылады.

Мәселе мақалада егжей-тегжейлі қарастырылды, атап айтқанда, Common Rail отын беру жүйесі бар қозғалтқыштағы бүрку және жану процесінің диагностикалық параметрлерін модельдеу және онтайландыру мақсатында жоғары есептеу қуаты бар компьютерлік процестерге қатысуға баса назар аударылды. Қозғалтқыштарды сынау стендтеріндегі сынақтардың қымбаттығына байланысты кәсіби диагностикалық бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, осы процестердің модельдік сынақтары да қолданылады.

### **ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1. Агарвал, А. К., Дхар, А., Гупта, ДЖ. Г., Ким, В. И., Чой, К., Ли, К. С., Парк, С. Жанармай бүрку қысымына және биодизель қоспаларының бүрку уақытына жанармай бүрку, қозғалтқыштың өнімділігі, шығарындылар және жану сипаттамаларына әсері. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.004> б.

2 Анас, М. И., Халид, А., Зулкифли, Ф.Х., Хушим, М. Ф. Манхур, Б., Заман, И. Бүрку қысымның пальма майынан, балдырлардан және өсімдік майының қалдықтарынан биодизельдің тұтануының кешігуіне және жану процесіне әсерін талдау. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/914/1/012008>.

3 Аскерази, А. З. Биодизель қоспаларымен жұмыс істейтін дизелді қозғалтқыштардың шығарындылары мен өнімділігін модельдеу, бүріккіштердің жануы және бүріккіштердің ыдырауының әртүрлі үлгілері арқылы талдау: сандық зерттеу. Термиялық Талдау және Калориметрия журналы. [https://doi.org/2020;139\(4\):2527-2539](https://doi.org/2020;139(4):2527-2539).

4 Грабоски, Р. Л. "Дизельді қозғалтқыштарда май мен өсімдік майынан алынатын отынның жануы". [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8).

5 Чонг, К. Т., Лим, М., Тран, М., Валерамедина, А. Оттегімен қаныққан күнбағыс биодизель: реактивті құйынды бүрку жағдайында спектроскопиялық және эмиссиялық мөлшерлеу. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.201> б.

6 Хейвуд, ДЖ. Б. Халықаралық жану қозғалтқышының негіздері. Нью-Йорк, Mc GrawHil. 2018.

7 Лотко, В. Common rail бүрку жүйесімен жабдықталған қозғалтқыштарға метил эфирлерінің әсері. <https://doi.org/10.12913/22998624/138725> б.

8 Марчез, Т. Л., Кронлейн, К., Кептіргіш, Ф. Л. Май қышқылының метил эфирінің отын тамшыларының тұтануының кешігуі. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2010.06.044> б.

9 Меркиш, Дж., Рыхтер, М., Лиевский, П. Common Rail басқару жүйесі <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117108>.

10 Нгуен, Т., Фам, М., Анх, Т. Л. Биодизель қоспаларымен жұмыс істейтін Common Rail дизельді қозғалтқышы. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117108>.

## REFERENCES

1 Agarwal, A. K., Dhar, A., Gupta, J. G., Kim, W. I., Choi, K., Lee, C. S., Park S. Janarmai бүрку қысымына және биодизель қоспаларының бүрку уақытына жанармай бүрку, қозғалтқыштың өнімділігі, шығарындылар және жану сипаттамаларына әсері. [Effect on fuel injection pressure and injection timing of Karanja biodiesel blends on fuel spray, engine performance, emissions and combustion characteristics. Energy Conversion and Management. 2015;91:302-314. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.004>.

2 Anas, M. I., Khalid, A., Zulkifli, F. H., Hushim, M. F., Manhoor B., Zaman, I. Бүрку қысымының пальма майынан, балдырлардан және өсімдік майының қалдықтарынан биодизельдің тұтануының кешігуіне және жану процесіне әсерін талдау. [Analysis of the effect of the injection pressure on ignition delay and combustion process of biodiesel from palm oil, algae and waste cooking oil. Journal of Physics: Conference Series. 2008;914(1):012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/914/1/012008>.

3 **Askhezari, A. Z.** Biodizel qospalarymen jümьs isteitin dizeldi qozğaltqyşardyñ şyğaryndylary men önimdiligini modeldeu, bürikkışterdiñ januy jäne bürikkışterdiñ ydyraunyñ ärtürlü ülgileri arqyly taldau: sandyq zertteu. Termialyq Taldau jäne Kalorimetria jurnalы [Emission and performance analysis of DI engines fuelled by biodiesel blends via CFD simulation of spray combustion and different spray breakup models: a numerical study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020;139(4):2527-2539.

4 Graboski, M. S. "Dizeldi qozğaltqyşlarda mai men ösümdik maiynan alynatyn otynnyñ januy" ["Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines". *Progress in Energy and Combustion Science*". 1998;24(2):125- 164. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8).

5 **Chong, C. T., Lim, M., Tran, M., Valeramedina, A.,** Ottegimen qanyqqan künbağys biodizel: reaktivti qüiyndy bürku jağdaiynda spektroskopialyq jäne emisialyq mölşerleu. [Oxygenated sunflower biodiesel : Spectroscopic and emission quantification under reacting swirl spray conditions. *Energy*]. 2019;178:804-813. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.201>.

6 **Heywood, J. B.** ] [International combustion engine fundamentals]. New York, Mc GrawHil. 2018.

7 **Lotko, W.** Common rail bürku jüiesimen jabdyqtalğan qozğaltqyştarğa metil efirleriniñ äseri [The Impact of Rapeseed Oil Methyl Esters on fuel injection parameters in a diesel engine equipped with the Common Rail injection system]. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2021;15(3):76-87. <https://doi.org/10.12913/22998624/138725>.

8 **Marchese, A. J., Vaughn, T. L., Kroenlein, K., Dryer, F. L.** Mai qyşqylynyñ metil efiriniñ otyñ tamşylarynyñ tütanuynyñ keşigui. [Ignition delay of fatty acid methyl ester fuel droplets. Microgravity Experiments and Detailed Numerical Modeling. *Proceedings of the Combustion Institute*]. 2011;33(2):2021-2030. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2010.06.044>.

9 **Merkisz, J, Rychter, M, Lijewski, P.** Common Rail basqaru jüiesi [integration of the Common Rail system with the EOBD on-board diagnostic system in modern internal combustion engines]. *Journal of Kones*. 2002.

10 **Nguyen, T., Pham, M., Anh, T. L.** Biodizel qospalarymen jümьs isteitin Common Rail dizeldi qozğaltqyşy [Spray, combustion, performance and emission characteristics of a Common Rail diesel engine fuelled by fish-oil biodiesel blends. *Fuel*]. 2020;269:117108. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117108>.

15.02.2024 ж. баспаға түсті.

04.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

07.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. Б. Забиева\*, Б. Б. Тогизбаева, Ж. Р. Алипбаев*

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилев,

Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 15.02.2024

Поступило с исправлениями 04.03.2024

Принято в печать 07.03.2024

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ВПРЫСКА И СГОРАНИЯ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ТОПЛИВА COMMON RAIL**

*До введения стандартов, ограничивающих выбросы компонентов выхлопных газов, системы управления двигателем с использованием тяг, пружин, кулачков и рычагов были механическими. Качество такого управления не обеспечивало необходимого дублирования параметров управления в процессе впрыска топлива и горения. После введения стандартов, ограничивающих выбросы компонентов выхлопных газов, вышеупомянутые системы управления двигателем не соответствовали требованиям. С развитием компьютерных технологий и программного обеспечения появилась возможность замены механического регулирования электронными системами управления. Именно развитие компьютерных технологий и программного обеспечения позволило разработать системы управления параметрами процессов впрыска и сгорания в двигателях с достаточной точностью и воспроизводимостью результатов испытаний. Современная система управления электронным дизельным управлением (EDC-electronical diesel control), благодаря увеличению вычислительной мощности микропроцессоров в последние годы, позволяет удовлетворить высокие требования систем впрыска Common Rail. Система Common Rail-высокоэффективная технология в области впрыска топлива в дизельные двигатели. В статье представлены вопросы в области четырех тематических уровней: проектирование и модернизация двигателя, его эксплуатация, вопросы диагностики с целью выявления причин отказов агрегатов и стендовые методы оценки эффективности ремонта агрегатов, а также вопросы альтернативных видов топлива.*

*Ключевые слова: дизель, двигатель, процесс впрыска, процесс сгорания, диагностика, Common Rail.*

---

*\*A. B. Zabiyeva, B. B. Togizbayeva, Z. R. Alipbayev*

Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Republic of Kazakhstan, Astana

Received 15.02.2024

Received in revised form 04.03.2024

Accepted for publication 07.03.2024

### **COMPUTER DIAGNOSTICS OF FUEL INJECTION AND COMBUSTION PROCESSES IN ENGINES USING THE COMMON RAIL FUEL INJECTION SYSTEM**

*Prior to the introduction of standards limiting emissions of exhaust components, engine control systems using rods, springs, cams and levers were mechanical. The quality of such control did not provide the necessary duplication of control parameters during fuel injection and gorenje. After the introduction of standards limiting emissions of exhaust components, the above-mentioned engine management systems did not meet the requirements. With the development of computer technology and software, it has become possible to replace mechanical control with electronic control systems. It was the development of computer technologies and software that made it possible to develop systems for controlling the parameters of injection and combustion processes in engines with sufficient accuracy and reproducibility of test results. The modern electronic diesel control system (EDC-electronic diesel control), thanks to the increase in the computing power of microprocessors in recent years, makes it possible to meet the high requirements of Common Rail injection systems. The Common Rail system is a highly efficient technology in the field of fuel injection into diesel engines. The article presents issues in the field of four thematic levels: engine design and modernization, its operation, diagnostic issues in order to identify the causes of unit failures and bench methods for evaluating the effectiveness of unit repairs, as well as issues of alternative fuels.*

*Keywords: diesel, engine, injection process, combustion process, diagnostics, Common Rail.*

**\*О. Г. Киселёва<sup>1</sup>, Юн Чэнь<sup>2</sup>, А. С. Избаирова<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, Алматы

\*e-mail: [kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

## **ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ СЛЕДОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОЛИГОНЕ**

*В статье рассмотрена актуальная задача формирования оптимальной маршрутной сети для продвижения контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона. Целью научного исследования является разработка вариантов решения задачи по критерию - минимизации затрат. Для решения поставленной задачи предложено использовать математическую модель о многопродуктовом потоке минимальной стоимости с применением метода релаксации, который позволяет на каждом шаге итерации выбирать наиболее эффективный вариант следующего решения.*

*Задача оптимизации маршрутов следования контейнерных поездов решается путем построения мультиграфа с множеством вершин и дуг, исходными данными являются удельные затраты на транспортировку единицы продукции, максимальные и минимальные значения потоков между вершинами. При использовании теории графов имеется возможность поиска оптимального распределения контейнеропотоков на сети при условиях сохранения потока в вершинах графа и ограничений на величину потока по дугам. В исследовании установлено, что для реализации поставленной задачи необходимо учитывать удельные затраты на следование контейнерных поездов между узлами железнодорожного полигона с учетом пропускных способностей ветвей между узловыми станциями. Дополнительно к оптимизации маршрутов следования контейнерных поездов разработанная математическая модель позволяет принять решение при выборе рационального варианта инвестиций для развития транспортной инфраструктуры и усиления пропускной способности железнодорожных участков полигона. Использование предлагаемой модели дает возможность определить участки с ограниченной пропускной способностью с целью наиболее эффективного перераспределения потоков. Данные решения позволят получить максимально возможный экономический эффект за счет снижения стоимости затрат на транспортировку.*

*Ключевые слова: контейнерный поезд, метод релаксации, мультиграф, пропускная способность, железнодорожный полигон.*

---

**Введение**

Для большинства железнодорожных администраций контейнерные перевозки являются основным долгосрочным фактором роста железнодорожного сектора. Наиболее перспективным сегментом перевозок на Евразийском пространстве являются перевозки по маршрутам КНР-ЕС-КНР, где большую часть грузопотока составляют контейнерные поезда. Это связано с интенсивным экономическим развитием западных и центральных регионов Китая и субсидированием данными регионами контейнерных перевозок в страны Европейского союза.

Также на рост объемов контейнерных перевозок оказала позитивное влияние реализация ряда масштабных инфраструктурных проектов. Среди них стоит отметить строительство новых железнодорожных линий и модернизацию участков с дефицитом пропускной способности [1; 2]. На сегодняшний день улучшены процессы, направленные на увеличение скорости продвижения транзитных контейнерных поездов, и введены гибкие тарифы на транзит контейнерных перевозок [3]. Для привлечения транзитных грузов в ближайшей перспективе необходимо максимально снижать сроки доставки по транзитным направлениям и затраты на контейнерные перевозки с учетом интенсивного развития контейнерных терминалов и перспективных логистических маршрутов [4]. Кроме того, при выборе направлений следования контейнеропотоков существенно важным являются интересы грузовладельцев с точки зрения учета логистических рисков и минимизации транспортных издержек [5]. Таким образом, увеличение объема контейнерных грузоперевозок является стратегически важным направлением в развитии транспортной системы в целом.

Целью научного исследования является разработка вариантов решения задачи формирования оптимальной маршрутной сети для продвижения контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона по основному критерию - минимизации затрат. Анализ научно-исследовательских работ позволил заключить, что вопросы оптимизации контейнерных перевозок по-прежнему являются актуальными в мировом сообществе [6; 7; 8; 9; 10]. В работах обосновывается, что в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов наиболее целесообразно проводить мероприятия оптимизационного характера. Например, эффективными мерами являются прогнозирование размеров контейнерных поездов и рационализация распределения контейнеропотока по железнодорожной сети.

Реализация оптимизационных мер в перспективе позволит увеличить размеры движения контейнерных поездов по международным транспортным коридорам.

**Материалы и методы**

Задачу распределения потоков контейнерных поездов возможно представить как задачу о многопродуктовом потоке минимальной стоимости, которая сводится к определению оптимального варианта транспортировки грузов в сетевой постановке. Многопродуктовая транспортная задача имеет большое прикладное значение и

исследовалась рядом авторов для оптимизации маршрутов на железнодорожной сети [11; 12].

Смоделировать данный процесс можно через построение мультиграфа  $G(V, A)$ , который состоит из пары множеств:  $V$  – вершины и  $A$  – направленные дуги.

Каждая вершина  $i \in V$  характеризуется величиной интенсивности  $s_i$ . Например, если интенсивность вершины составляет более 0 ( $s_i > 0$ ), то такая вершина является источником, откуда требуется отправить  $s_i$  количество груза. Если интенсивность вершины составляет менее 0 ( $s_i < 0$ ), то такая вершина является стоком, в которую требуется доставить  $|s_i|$  количество груза. Если интенсивность вершины равняется 0 ( $s_i = 0$ ), то такая вершины будет относиться к нейтральным, в которой грузопоток будет только перераспределяться.

Каждой дуге  $(i, j) \in A$  присваивается направление и задаются следующие параметры:

- $c_{ij}$  - расходы на перевозку груза из пункта  $i$  в пункт  $j$ ;
- $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  - наименьший и наибольший размеры грузопотоков  $x_{ij}$  по дуге  $(i, j)$ .

В математической модели поставленной задачи поставлено условие, что общий размер отправленных грузов равен общему размеру прибывших, то есть на сети обеспечивается баланс грузопотоков:

$$\sum_{i \in V} s_i = 0. \quad (1)$$

Решая задачу о многопродуктовом потоке минимальной стоимости необходимо минимизировать целевую функцию:

$$z(x) = \sum_{(i, j) \in A} \sum_{k=1}^N c_{ij}^{(k)} x_{ij}^{(k)} \rightarrow \min \quad (2)$$

С учетом следующих ограничений:

$$\sum_{j | (i, j) \in A} x_{ij}^{(k)} - \sum_{j | (j, i) \in A} x_{ji}^{(k)} = s_i^{(k)}, \quad \forall i \in V, \quad (k = \overline{1, N}), \quad (3)$$

$$a_{ij}^{(k)} \leq x_{ij}^{(k)} \leq b_{ij}^{(k)}, \quad \forall (i, j) \in A, \quad (k = \overline{1, N}), \quad (4)$$



$$a_{ij} \leq \sum_{k=1}^N x_{ij}^{(k)} \leq b_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A. \quad (5)$$

В задаче о многопродуктовом потоке минимальной стоимости для вершин дополнительно вводятся значения интенсивности для каждого  $k$ -го вида груза  $s_i^{(k)}$  ( $k = \overline{1, N}$ ), а для дуг - величины расходов на перевозку  $k$ -го вида груза  $c_{ij}^{(k)}$  и значения минимальных и максимальных размеров грузопотоков  $k$ -го вида  $a_{ij}^{(k)}, b_{ij}^{(k)}$ .

Из выражения (2) определяются общие расходы на транспортировку грузов с применением мультиграфа  $G(V, A)$  и выбирается минимальное их значение. В каждой вершине мультиграфа  $i \in V$  поток должен быть сохранен с учетом ее интенсивности. В выражении (3) представлены две суммы: первая – это исходящий поток всех видов грузов, вторая - это входящий поток всех видов грузов. Если вершина  $i$  - источник, то разница между исходящим и входящим потоками составит  $s_i$ . Если вершина  $i$  - сток, то разница между входящим и исходящим потоками составит  $|s_i|$ . Если вершина  $i$  - нейтральная, то исходящий и входящий потоки будут равны.

Из выражения (4) следует, что в каждой дуге  $(i, j) \in A$  должны выполняться следующие условия: значение потока  $k$ -го вида груза  $x_{ji}^{(k)}$  должно быть не менее величины  $a_{ij}^{(k)}$  и не более величины  $b_{ij}^{(k)}$ . В рассматриваемой задаче принято всегда неотрицательное значение нижней границы размера потока  $x_{ji}^{(k)} \geq 0$ , таким образом задано  $a_{ij} = 0$  для каждой дуги  $(i, j) \in A$ .

Из выражения (5) следует, что общий размер всех перевозимых грузов по дуге  $(i, j)$  должен находиться в определенных пределах от  $a_{ij}$  до  $b_{ij}$ , ( $\forall (i, j) \in A$ ).

Задача решается при выполнении условия баланса для всех видов груза  $\sum_{i \in V} s_i^{(k)} = 0$ , ( $k = \overline{1, N}$ ).

Итак, поставленная задача заключается в определении минимальной стоимости транспортировки грузопотоков  $x = \{x_{ij}^{(k)}\}$ ,  $(i, j) \in A$ ,  $(k = \overline{1, N})$ , которые проходят по дугам мультиграфа  $G(V, A)$  и удовлетворяют ограничениям (3), (4) и (5). В поставленной задаче требования по сохранению размеров потоков в вершинах и ограничения размеров потоков по дугам мультиграфа должны быть строго выполнимыми.

Поставленную оптимизационную задачу можно решить с помощью методов линейного программирования, например, методом релаксации. Эффективность метода релаксации в решении задач по оптимизации потоков на сети заключается в высокой скорости отбора лучшего варианта на каждом шаге итерации.

### Результаты и обсуждения

Контейнерные поезда, проходящие по участкам железнодорожного полигона, наглядно представлены на мультиграфе  $G(V, A)$ , который имеет 19 вершин и 25 дуг (рисунок 1).

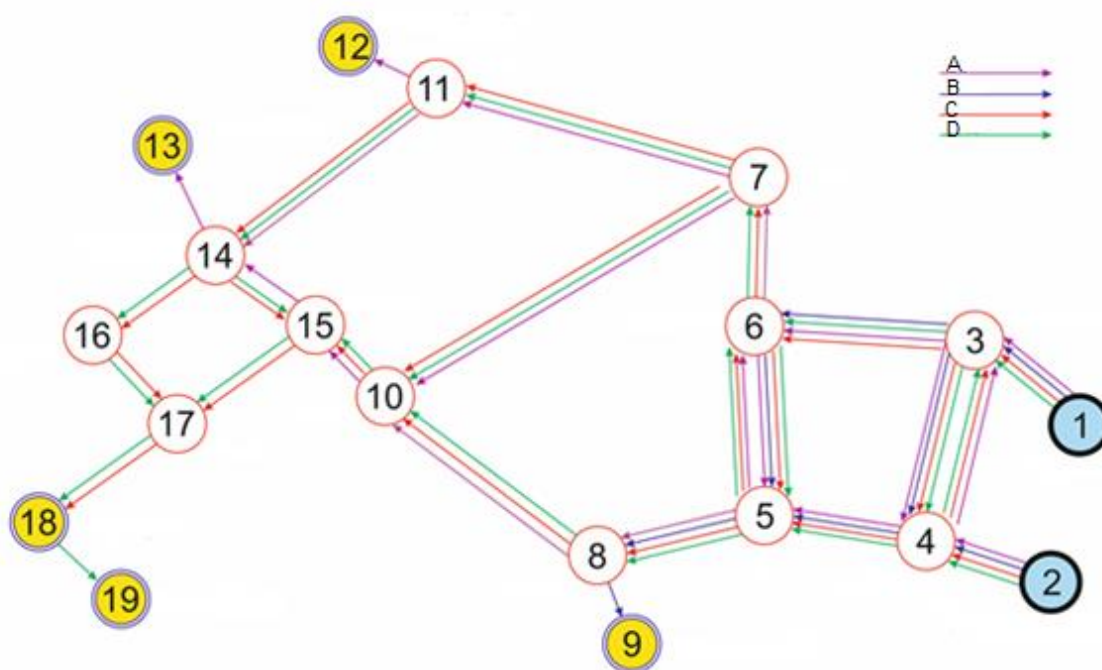


Рисунок 1 – Схема транзитных контейнеропотоков на железнодорожном полигоне

Расчеты проводились по четырем маршрутам следования контейнерных поездов на полигоне - А, В, С и D. Поэтому на мультиграфе некоторые вершины соединяются несколькими одинаково направленными дугами. Также на мультиграфе имеются некоторые дуги, по которым контейнеропотоки следуют в обоих направлениях - это дуги (3, 4) и (4, 3); (5, 6) и (6, 5); (14, 15) и (15, 14).

На железнодорожном полигоне контейнеропотоки зарождаются в двух пунктах - это вершины 1 и 2, которые на мультиграфе являются источниками. Контейнеропотоки следуют по участкам полигона в четырех направлениях. Поэтому из вершин 1 и 2 отправляются четыре контейнеропотока. В решаемой задаче о многопродуктовом потоке минимальной стоимости следует считать, что контейнеропотоки разных

направлений являются разнородными и в пути следования не должны смешиваться между собой.

На железнодорожном полигоне контейнеропотоки погашаются в пяти пунктах – это вершины 12, 13, 9, 18 и 19. Вершины 12 и 13 являются стоками для маршрута следования контейнерных поездов в направлении А, вершина 9 – в направлении В, вершина 18 – в направлении С и вершина 19 – в направлении D.

Остальные вершины мультиграфа (вершины 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16 и 17) являются нейтральными, потому что в них размеры входящих и выходящих контейнеропотоков не изменяются.

Исходными данными для решения поставленной задачи являются характеристики вершин и дуг. Каждая вершина характеризуется каким пунктом она является (источник, сток или нейтральная), направлением следования контейнеропотоков и интенсивностью  $s_i$  (контейнерных поездов/сутки). Характеристики дуг включают протяженность участка  $l_{ij}$  (км), затраты на транспортировку 1 контейнерного поезда  $c_{ij}$  (усл.ед.) и пропускная способность участка  $b_{ij}$  (поездов/сутки).

Расчеты проводились для входящего контейнеропотока, который сформирован в вершинах 1 и 2, по двум вариантам:

1 вариант – 12 контейнерных поездов;

2 вариант – 14 контейнерных поездов.

По 1-му варианту – 12 поездов. Из общего количества поездов 7 контейнерных поездов следует по маршруту А, 3 поезда – по маршруту В, 1 поезд – по маршруту С и 1 поезд – по маршруту D. Из 7 контейнерных поездов, следующих по маршруту А, 2 поезда погашаются в вершине 12 и 5 поездов – в вершине 13.

Необходимо найти оптимальный вариант перераспределения контейнерных поездов на полигоне железнодорожной сети. Для этого потребуется видоизменить исходный мультиграф. То есть следует ввести дополнительную вершину 0, которая является источником и имеет интенсивность  $s_0 = 12$  контейнерных поездов/сутки.

После введения дополнительной вершины 0, вершины 1 и 2 будут относиться к нейтральным. После введения дополнительной вершины следует ввести дополнительные дуги (0, 1) и (0, 2) с пропускной способностью  $b_{01} = b_{02} = 12$  поездов, причем затраты на транспортировку по этим дугам принимаются равными  $c_{01} = c_{02} = 0$ .

Таким образом, перевозки по дугам (0, 1) и (0, 2) не будут включены в целевую функцию (2). Данное преобразование мультиграфа позволяет автоматически получить оптимальные размеры контейнеропотоков через вершины 1 и 2.

Для реализации задачи о многопродуктовом потоке минимальной стоимости использована стандартная программа Graph::minCost в среде MatLab. Результаты работы программы показали, что минимальное значение удельных затрат на

перемещение контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона получено при следующем варианте распределения 12 контейнерных поездов – через вершину 1 проследуют 7 поездов, через вершину 2 – 5 поездов.

Зная значения многопродуктовых потоков можно также определить количество и маршруты следования контейнерных поездов. Так, в рассмотренной задаче для потока 12 контейнерных поездов, все 7 контейнерных поездов, которые сформированы в вершине 1, следуют в направлении А. В вершине 2 формируются 5 поездов, из которых 3 поезда следуют в направлении В, 1 поезд – в направлении С и 1 поезд – в направлении D.

По 2-му варианту – 14 поездов. Из общего количества поездов 8 контейнерных поездов следует по маршруту А, 3 поезда – по маршруту В, 2 поезда - по маршруту С и 1 поезд – по маршруту D. При этом количество и направления формируемых контейнерных поездов в терминалах могут быть следующими: из вершины 1 выходят 9 контейнерных поездов, в том числе 8 поездов – в направлении А и 1 поезд – в направлении D, а из вершины 2 выходят 5 контейнерных поездов, из них 3 – в направлении В и 2 – в направлении С.

Анализируя результаты, полученные по 2-му варианту, отмечено, что при значении потока  $s_0 = 14$  к.п./сут. имеются дуги, в которых величина потока  $x_{ij}$  равна пропускной способности дуги  $b_{ij}$ . Такие дуги называются «насыщенными». В «насыщенных дугах» отсутствует резерв пропускной способности, поэтому на них невозможно увеличить размеры движения поездов. Выявление «насыщенных дуг» на железнодорожном полигоне имеет большое практическое значение. Это – «узкие места» в существующей железнодорожной сети, которые мешают реализации планов по наращиванию контейнерных грузопотоков через территорию Республики Казахстан. Например, если не изменять величину потока, а увеличить пропускные способности «насыщенных дуг» в 2 раза, то возможно значительно снизить суммарные транспортные затраты.

### **Выводы**

Предложенный способ решения оптимизационной задачи позволяет распределить контейнерные поезда на железнодорожном полигоне с минимальными затратами на организацию маршрутов их следования.

Для решения задачи была разработана модель грузопотоков на сети - мультиграф. На мультиграфе указаны пункты зарождения и погашения грузопотоков, направления следования грузопотоков. На мультиграфе грузопотоки, следующие по разным маршрутам, представлены дугами разных цветов. Рассмотренная транспортная задача была представлена как задача о многопродуктовых потоках минимальной стоимости. Многопродуктовая транспортная задача сводится к определению максимальных размеров разнородных грузопотоков при минимальных затратах на перевозку.

Для решения многопродуктовой транспортной задачи был использован один из наиболее эффективных итерационных методов - метод релаксации. Данный метод

позволяет быстро определить оптимальный вариант распределения грузопотоков на сети при выполнении условий сохранения потоков при прохождении через вершины и ограничений по пропускной способности дуг на мультиграфе.

Таким образом, разработанная математическая модель перераспределения контейнеропотоков дает возможность принятия оптимальных решений при выборе рационального варианта инвестиций для развития транспортной инфраструктуры и усиления пропускной способности участков сети. Использование предлагаемой модели дает возможность определить участки с ограниченной пропускной способностью с целью наиболее эффективного перераспределения потоков. Данные решения позволят получить максимально возможный экономический эффект за счет снижения стоимости затрат на транспортировку.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

**1 Śladkowski, A., Abdirassilov, Z., Molgazhdarov, A.** Transnational Value of the Republic of Kazakhstan in International Container Transportation // *Transport Systems and Delivery of Cargo on East–West Routes.* – 2018. – P. 171–204.

**2 Abdullayev, S., Kiseleva, O., Adilova, N., Bakyt, G., Vakhitova L.** Key development factors of the transit and transport potential of Kazakhstan // *Transport Problems.* – 2016. – V. 11. – P. 17–26.

**3 Sokolov, Y., Efimova, O., Lavrov, I., Pokrovskaya, O.** Investigation of the market potential of transport and logistics services in the 1520 space // *IOP conference series: earth and environmental science.* – IOP Publishing, 2019. – V. 403. – № 1. – P. 012213.

**4 Bekzhanova, S., Issina, B., Altayeva, Zh., Suyunbayev, Sh.** Introduction of a single intellectual management system and automation of production processes on railway transport // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.* – 2020. – V. 12. – № P 6. – P. 706–712.

**5 Pokrovskaya, O., Reshetko, N., Kirpicheva, M., Lipatov, A., Mustafin, D.** The study of logistics risks in optimizing the company's transportation process // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – IOP Publishing, 2019. – V. 698. – № 6. – P. 066060.

**6 Wang, J., Jiao, J., Ma, L.** An organizational model and border port hinterlands for the China-Europe Railway Express // *Journal of Geographical Sciences.* – 2018. – V. 28. – P. 1275–1287.

**7 Lakhmetkina, N., Oleinikov, A., Pilipchak, A., Dmitrieva, E.** Development Barriers of Eurasian Container Transportation // *Transformation of Transportation.* – 2021. – P. 123–139.

**8 Jia, H., Lam, J. S. L., Tran N. K.** Spatial variation of travel time uncertainty in container shipping // *Transportation Research Procedia.* – 2020. – V. 48. – P. 1740–1749.

**9 Abdirassilov, Z., Sładkowski, A.** Application of artificial neural networks for shortterm prediction of container train flows in direction of China–Europe via Kazakhstan //Transport Problems. – 2018. – V. 13. – P. 103–113.

**10 Abdirassilov, Z., Sładkowski, A., Izbaïrova, A., Sarbaev, S.** Application of Artificial Neural Networks for Short-Term Forecasting of Container Flows in Kazakhstan //Modelling of the Interaction of the Different Vehicles and Various Transport Modes. – 2020. – P. 131–158.

**11 Zhao, L., Cheng Z., Li H., Hu, Q.** Evolution of the China Railway Express consolidation network and optimization of consolidation routes //Journal of Advanced Transportation. – 2019. – V. 2019. – 16 p.

**12 Isler, C. A., Asaff, Y., Marinov, M.** Designing a geo-strategic railway freight network in Brazil using GIS //Sustainability. – 2020. – V. 13. – №. 1. – P. 85.

Поступило в редакцию 31.01.2024

Поступило с исправлениями 04.03.2024

Принято в печать 31.01.2024

*\*О. Г. Киселева<sup>1</sup>, Юн Чэнь<sup>2</sup>, А. С. Избаïрова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Сәтбаев Университет, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>2</sup>Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

31.01.2024 ж. баспаға түсті.

04.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

31.01.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

## ТЕМІРЖОЛ ПОЛИГОНЫНДА КОНТЕЙНЕРЛІК ПОЙЫЗДАРДЫҢ ЖҮРУ МАРШРУТТАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛІ

*Мақалада теміржол полигонының учаскелері бойынша контейнерлік пойыздарды жылжыту үшін оңтайлы маршруттық желіні қалыптастырудың өзекті міндеті қарастырылған. Ғылыми зерттеудің мақсаты - шығындарды азайту критерийі бойынша мәселені шешудің нұсқаларын әзірлеу. Тапсырманы шешу үшін қайталанудың әр қадамында келесі шешімнің ең тиімді нұсқасын таңдауға мүмкіндік беретін релаксация әдісін қолдана отырып, ең төменгі құнның көп өнімді ағыны туралы математикалық модельді қолдану ұсынылады.*

*Контейнерлік пойыздардың жүру маршруттарын оңтайландыру міндеті көптеген шыңдары мен доғалары бар мультиграф құру арқылы шешіледі, бастапқы мәліметтер-бұл өнім бірлігін тасымалдауға кететін шығындар, шыңдар арасындағы ағындардың максималды және минималды мәндері. Графиктер теориясын қолданған кезде графиктің шыңдарындағы ағынның сақталуы және доғалар бойынша ағынның шамасына шектеулер*

*болған жағдайда желіде контейнер ағындарының оңтайлы таралуын іздеу мүмкіндігі бар. Зерттеуде қойылған міндетті іске асыру үшін тораптық Станциялар арасындағы тармақтардың өткізу қабілеттілігін ескере отырып, теміржол полигонының тораптары арасындағы контейнерлік пойыздардың жүруіне жұмсалатын үлестік шығындарды ескеру қажет екендігі анықталды. Контейнерлік пойыздардың жүру маршруттарын оңтайландырудан басқа, әзірленген математикалық модель көлік инфрақұрылымын дамыту және полигонның теміржол учаскелерінің өткізу қабілетін күшейту үшін инвестициялардың ұтымды нұсқасын таңдау кезінде шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Ұсынылған модельді пайдалану ағындарды тиімді қайта бөлу мақсатында өткізу қабілеті шектеулі учаскелерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл шешімдер тасымалдау шығындарының құнын төмендету арқылы мүмкін болатын экономикалық тиімділікті алуға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: контейнерлік пойыз, релаксация әдісі, мультиграф, өткізу қабілеті, теміржол полигоны.*

**\*O. G. Kisselyova<sup>1</sup>, Yun Chen<sup>2</sup>, A. S. Izbaïrova<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Academy of Logistics and Transport, Kazakhstan, Almaty

Received 31.01.2024

Received in revised form 04.03.2024

Accepted for publication 31.01.2024

## **AN OPTIMIZATION MODEL FOR THE FORMATION OF CONTAINER TRAIN ROUTES AT A RAILWAY LANDFILL**

*The article considers the urgent task of forming an optimal route network for the promotion of container trains along the sections of the railway landfill. The purpose of the scientific research is to develop options for solving the problem according to the criterion of minimizing costs. To solve this problem, it is proposed to use a mathematical model of a multi-product flow of minimum cost using the relaxation method, which allows choosing the most effective option for the next solution at each iteration step.*

*The problem of optimizing the routes of container trains is solved by constructing a multigraph with a set of vertices and arcs, the initial data are the unit costs of transporting a unit of production, the maximum and minimum values of flows between vertices. When using graph theory, it is possible to find the optimal distribution of container flows on the network under conditions of maintaining the flow at the vertices of the graph and restrictions on the amount of*

---

*flow along the arcs. The study found that in order to achieve this task, it is necessary to take into account the unit costs of running container trains between the nodes of the railway polygon, taking into account the carrying capacity of the branches between the nodal stations. In addition to optimizing the routes of container trains, the developed mathematical model allows you to make decisions when choosing a rational investment option for the development of transport infrastructure and increasing the capacity of railway sections of the landfill. The use of the proposed model makes it possible to identify areas with limited bandwidth in order to redistribute flows most effectively. These solutions will allow you to get the maximum possible economic effect by reducing the cost of transportation costs.*

*Keywords: container train, relaxation method, multigraph, capacity, railway landfill.*



**Авторлар туралы ақпарат**

**Anna Kawalek**, Өндірістік Инженерия және Материалдар Технологиясы факультеті, Czestochowa University of Technology, Ченстохова қ., 42-201, Польша, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Fuad Khoshnaw**, PhD, аға оқытушы, Де Монтфорт университеті, Лестер, 103077, Ұлыбритания, e-mail: [fuadmkhoshnaw@gmail.com](mailto:fuadmkhoshnaw@gmail.com)

**Абдикаримова Гулмира**

**Бахтияровна**, стажер-оқытушы, Қарағанды медициналық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [baha\\_777\\_84@mail.ru](mailto:baha_777_84@mail.ru)

**Адамова Гульден Хасеновна**,

Металлургия мамандығы бойынша докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [guldenaa@mail.ru](mailto:guldenaa@mail.ru)

**Акбердин Александр Абдуллаевич**,

техника ғылымдарының докторы, профессор, Бор зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Akberdon\\_38@mail.ru](mailto:Akberdon_38@mail.ru)

**Алипбаев Жасулан Ратканович**,

техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Көлік-энергетика факультеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Alipbaev.1977@mail.ru](mailto:Alipbaev.1977@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**,

техника ғылымдарының кандидаты, пирометаллургия менеджері, ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы ЖШС, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: [iic-aktobe@mail.ru](mailto:iic-aktobe@mail.ru)

**Арынгазин Капар Шакимович**,

Директор, ТОО Экострой НИИ-ПВ, 140008, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ecostroi\\_nii\\_pv@mail.ru](mailto:ecostroi_nii_pv@mail.ru)

**Сведения о авторах**

**Anna Kawalek**, Факультет технологии производства и материаловедения, Czestochowa University of Technology, г. Ченстохова, 42-201, Польша, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Fuad Khoshnaw**, PhD, ст. преподаватель, университет Де Монтфорт, г. Лестер, 103077, Великобритания, e-mail: [fuadmkhoshnaw@gmail.com](mailto:fuadmkhoshnaw@gmail.com)

**Абдикаримова Гулмира**

**Бахтияровна**, преподаватель – стажер, Карагандинский медицинский университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [baha\\_777\\_84@mail.ru](mailto:baha_777_84@mail.ru)

**Адамова Гульден Хасеновна**, докторант

по специальности Metallurgy, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [guldenaa@mail.ru](mailto:guldenaa@mail.ru)

**Акбердин Александр Абдуллаевич**,

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Бор Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [Akberdon\\_38@mail.ru](mailto:Akberdon_38@mail.ru)

**Алипбаев Жасулан Ратканович**,

кандидат технических наук, ст. преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Транспортно-энергетический факультет, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [Alipbaev.1977@mail.ru](mailto:Alipbaev.1977@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**,

кандидат технических наук, менеджер по пирометаллургии, ТОО Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG, г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: [iic-aktobe@mail.ru](mailto:iic-aktobe@mail.ru)

**Арынгазин Капар Шакимович**,

Директор, ТОО Экострой НИИ-ПВ, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ecostroi\\_nii\\_pv@mail.ru](mailto:ecostroi_nii_pv@mail.ru)

**Information about heauthors**

**Anna Kawalek**, Faculty of Production Engineering and Materials Technology, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, 42-201, Poland, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Fuad Khoshnaw**, Senior Lecturer, Assistant Professor, PhD, De Montfort University, Leicester, 103077, United Kingdom, e-mail: [fuadmkhoshnaw@gmail.com](mailto:fuadmkhoshnaw@gmail.com)

**Abdikarimova Gulmira**

**Bakhtiyarovna**, trainee teacher, Karaganda Medical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [baha\\_777\\_84@mail.ru](mailto:baha_777_84@mail.ru)

**Adamova Gulden**, PhD student in

Metallurgy, NPJSC Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [guldenaa@mail.ru](mailto:guldenaa@mail.ru)

**Akberdin Aleksandr**, doctor of technical sciences, professor, head of laboratory, Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Akberdon\\_38@mail.ru](mailto:Akberdon_38@mail.ru)

**Alipbayev Zhasulan Ratkanovich**, Candidate of technical sciences, Tutor, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Faculty of Transport and Energy, Astana 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Alipbaev.1977@mail.ru](mailto:Alipbaev.1977@mail.ru)

**Almagambetov Maral**

**Sarsenbayevich**, candidate of Technical Sciences, Pyrometallurgy Manager, ERG Scientific Research Engineering Center LLP, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan, e-mail: [iic-aktobe@mail.ru](mailto:iic-aktobe@mail.ru)

**Aryngazin Kapar Shakimovich**,

Director, EcostroyNII-PV LLP, Pavlodar city, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ecostroi\\_nii\\_pv@mail.ru](mailto:ecostroi_nii_pv@mail.ru)

**Атамбаев Жасулан Нурбаевич,**  
Металлургия мамандығы бойынша докторант, А. Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Жоғары оқу орнынан кейінгі білім басқармасы, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [atambaev.jasulan@mail.ru](mailto:atambaev.jasulan@mail.ru)

**Атахан Муратхан Мұхтарханұлы,**  
Магистрант, Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Аубакиров Алматы Муканович,** аға оқытушы, магистр, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almat.aubakirov@list.ru](mailto:almat.aubakirov@list.ru)

**Баева Асель Бакытовна,** Ұлттық сараптама орталығы ШЖҚ РМК Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана ҚР ДСМ КЭК ҚР, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

**Байғушкарова Айнаш Базаркановна,** аға оқытушысы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ainashmereke@mail.ru](mailto:ainashmereke@mail.ru)

**Быков Петр Олегович,** техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)

**Василевский Владимир Павлович,** техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Vasilevskii1950@mail.ru](mailto:Vasilevskii1950@mail.ru)

**Даумова Гульжан Камалбекқызы,** профессор, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Metallurgy және пайдалы қазбаларды байыту мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070001, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gulzhan.daumova@mail.ru](mailto:gulzhan.daumova@mail.ru)

**Атамбаев Жасулан Нурбаевич,**  
Докторант по специальности Metallurgy, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Управление послевузовского образования, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [atambaev.jasulan@mail.ru](mailto:atambaev.jasulan@mail.ru)

**Атахан Муратхан Мухтарханұлы,**  
Магистрант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Аубакиров Алматы Муканович,** ст. преподаватель, магистр, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [almat.aubakirov@list.ru](mailto:almat.aubakirov@list.ru)

**Баева Асель Бакытовна,** ФРГП на ПХВ Национальный центр экспертизы санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

**Байғушкарова Айнаш Базаркановна,** ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ainashmereke@mail.ru](mailto:ainashmereke@mail.ru)

**Быков Петр Олегович,** кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)

**Василевский Владимир Павлович,** кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Vasilevskii1950@mail.ru](mailto:Vasilevskii1950@mail.ru)

**Даумова Гульжан Камалбекқызы,** кандидат технических наук, ассоц. профессор, школа Metallurgy и обогащения полезных ископаемых, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070001, Республика Казахстан, e-mail: [gulzhan.daumova@mail.ru](mailto:gulzhan.daumova@mail.ru)

**Atambayev Zhasulan Nurbayevich,**  
Doctoral student in the specialty Metallurgy, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Department of Postgraduate Education, Karaganda 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [atambaev.jasulan@mail.ru](mailto:atambaev.jasulan@mail.ru)

**Atakhan Muratkhan Mukhtarkhanuly,** Master's Student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Aubakirov Almat Mukanovich,** Senior Lecturer, Master's degree, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almat.aubakirov@list.ru](mailto:almat.aubakirov@list.ru)

**Bayeva Assel,** RGF on PCB National Centre for Expertise sanitary-hygienic laboratory in Pavlodar region SCEC MH RK, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

**Baiguchkarova Ainach Bazarkanovna,** Senior lecturer, Department of «Transport Engineering and Technology», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ainashmereke@mail.ru](mailto:ainashmereke@mail.ru)

**Bykov Petr Olegovich,** candidate of technical sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)  
**Vasilevsky Vladimir Pavlovich,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Transport Engineering and Technology», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Vasilevskii1950@mail.ru](mailto:Vasilevskii1950@mail.ru)

**Daumova Gulzhan Kamalbekkyzy,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the School of Metallurgy and Mineral Processing, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070001, Republic of Kazakhstan, e-mail: [gulzhan.daumova@mail.ru](mailto:gulzhan.daumova@mail.ru)

**Досекенов Мурат Сагитжанұлы**, техника ғылымдарының магистрі, аспирант, Бас инженер технолог, ЖШС ҒЗИО ERG, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Досекенов Мурат Сагитжанович**, магистр технических наук, аспирант, Главный инженер технолог, ТОО НИИЦ ERG, город Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Dossekenov Murat Sagitzhonovich**, master of technical sciences, postgraduate student, chief engineer technologist, LTD SERC ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Дюрягин Сергей Павлович**, аға оқытушысы, Көлік техникасы және логистика кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dyuring@mail.ru](mailto:dyuring@mail.ru)

**Дюрягин Сергей Павлович**, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [dyuring@mail.ru](mailto:dyuring@mail.ru)

**Dyuryagin Sergey Pavlovich**, Senior Lecturer, Faculty of Engineering, Department of Transport Equipment and Technologies of Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dyuring@mail.ru](mailto:dyuring@mail.ru)

**Ержанова Айгүл Туралиевна**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушысы, «Инжинирингтік технологиялар» кафедрасы, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Erzhanova.ng@mail.ru](mailto:Erzhanova.ng@mail.ru)

**Ержанова Айгүл Туралиевна**, магистр технологических наук, ст. преподаватель, кафедра инжиниринговых технологий, Кызылординский университет имени Коркыт ата, 120000, г. Кызылорда, Республика Казахстан, e-mail: [Erzhanova.ng@mail.ru](mailto:Erzhanova.ng@mail.ru)

**Erzhanova Aigul Turalievna**, Master of Technological Sciences, Senior Lecturer of the Department of Engineering Technologies, Korkyt ata Kyzylorda University, Kyzylorda city, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Erzhanova.ng@mail.ru](mailto:Erzhanova.ng@mail.ru)

**Жабагиев Аслан Мухамедиярович**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, «Инжинирингтік технологиялар» кафедрасы, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Zhabagiev@mail.ru](mailto:Zhabagiev@mail.ru)

**Жабагиев Аслан Мухамедиярович**, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра «инжиниринговых технологий», Кызылординский университет имени Коркыт ата, г. Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: [Zhabagiev@mail.ru](mailto:Zhabagiev@mail.ru)

**Zhabagiev Aslan, Mukhamediyarovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of «Engineering Technologies», Korkyt ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Zhabagiev@mail.ru](mailto:Zhabagiev@mail.ru)

**Жұнісов Абылай Қайыртасұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Металлургия кафедрасының менгерушісі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Жұнусов Аблай Каиртасович**, кандидат технических наук, профессор, Заведующий кафедрой металлургии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Zhunusov Ablay Kairtassovich**, Candidate of Technical Science, Professor, Head of the Department of Metallurgy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Жұнісова Айгүл Қайыргелдықызы**, докторант, Металлургия кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>, e-mail: [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru)

**Жұнусова Айгүл Каиргельдиновна**, докторант, Кафедра Металлургия, Торайгыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>, e-mail: [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru)

**Zhunusova Aigul Kairgeldinovna**, doctoral student, Department of Metallurgy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>, e-mail: [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru)

**Забиева Әлия Батырбекқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент м. а., Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aliya.zhakupovazabieva@gmail.com](mailto:aliya.zhakupovazabieva@gmail.com)

**Забиева Алия Батырбековна**, кандидат технических наук, и. о. Доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [aliya.zhakupovazabieva@gmail.com](mailto:aliya.zhakupovazabieva@gmail.com)

**Zabiyeva Aliya Batyrbekovna**, Candidate of technical sciences, Acting Associate Professor, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aliya.zhakupovazabieva@gmail.com](mailto:aliya.zhakupovazabieva@gmail.com)

**Заякин Олег Вадимович**, техника

**Заякин Олег Вадимович**, доктор

**Zayakin Oleg**, Doctor of Technical

ғылымдарының докторы, профессор, ғылыми жұмыс бойынша директор орынбасары, РФА Урал бөлімшесінің металлургия институті, Екатеринбург қ., 620000, Ресей Федерациясы, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**, Техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инженерингтік орталығының металлургия зертханасының басшысы, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Избаирова Алия Сериковна**, қауымд. профессор, техника ғылымдарының кандидаты, М. Тынышбаев атындағы келік инженериясы және логистика мектебі, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aliyas@mail.ru](mailto:aliyas@mail.ru)

#### **Итыбаева**

##### **Галия Төлеубайқызы**,

Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машина жасау және стандартау кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Какимов Мухтарбек Муханович**, Тамақ және өңдеу өнеркәсібінің технологиясы кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты, доцент С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [muhtarbek@mail.ru](mailto:muhtarbek@mail.ru)

**Калиакпаров Алтай Гиндуллинович**, Бас сарапшы, ERG Capital Projects, техника ғылымдарының докторы, ERG Capital Projects, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [altay.recenrc@yandex.kz](mailto:altay.recenrc@yandex.kz)

**Калиева Айнагуль Балгаувна**, профессор, жаратылыстану ғылымдарды факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ainanurlina80@mail.ru](mailto:ainanurlina80@mail.ru)

**Квон Светлана Сергеевна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Металлургия және нанотехнологиялар кафедрасы, А. Сағынов атындағы Қарағанды

техникалық наук , профессор, заместитель директора по научной работе, Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, 620000, Российская Федерация, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**, Кандидат технических наук, Начальник лаборатории металлургии ТОО Научно-исследовательского инженерингового центра ERG, Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Избаирова Алия Сериковна**, ассоц. профессор, кандидат технических наук, Школа транспортной инженерии и логистики имени М. Тынышпаева, Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [aliyas@mail.ru](mailto:aliyas@mail.ru)

#### **Итыбаева**

##### **Галия Тулеубаевна**,

Кандидат технических наук, профессор, кафедра Машиностроение и стандартизация, Факультет инженерии, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Какимов Мухтарбек Муханович**, Зав. кафедрой Технология продовольственных, пищевых и перерабатывающих производств кандидат технических наук, доцент Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [muhtarbek@mail.ru](mailto:muhtarbek@mail.ru)

**Калиакпаров Алтай Гиндуллинович**, Главный эксперт, ERG Capital Projects, доктор технических наук ERG Capital Projects, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [altay.recenrc@yandex.kz](mailto:altay.recenrc@yandex.kz)

**Калиева Айнагуль Балгаувна**, профессор, Факультет Естественных наук, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ainanurlina80@mail.ru](mailto:ainanurlina80@mail.ru)

**Квон Светлана Сергеевна**, кандидат технических наук, профессор, кафедра Металлургии и нанотехнологий, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова,

Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620000, Russian Federation, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**, Candidate of technical sciences, The head of Laboratory of Metallurgy LTD Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Izbairova Aliya**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of transport engineering and logistics named after M. Tynyshpayev, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aliyas@mail.ru](mailto:aliyas@mail.ru)

#### **Итыбаева Галия Тулеубаевна**,

Candidate of Technical Sciences, Professor, Department Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Kakimov Mukhtarbek**, candidate of technical sciences, Head of the Department of Food Technology and Processing Products S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [muhtarbek@mail.ru](mailto:muhtarbek@mail.ru)

**Kaliakparov Altai Gindullinovich**, Chief Expert, Doctor of Technical Sciences, ERG Capital Projects, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [altay.recenrc@yandex.kz](mailto:altay.recenrc@yandex.kz)

Kaliyeva Ainagul Balgauovna, Professor, Faculty of Natural Science, Toraighyrov University, Pavlodar city, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ainanurlina80@mail.ru](mailto:ainanurlina80@mail.ru)

**Kvon Svetlana Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Nanotechnology, Karaganda Technical University



техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100000,  
Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[svetlana.1311@mail.ru](mailto:svetlana.1311@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**,  
техника ғылымдарының кандидаты,  
профессор, Металлургия және тау-кен  
ісі кафедрасы, Техникалық факультет, Қ.  
Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік  
университеті, Ақтөбе қ., 030000,  
Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Кенжебекова Анар Ерболатқызы**,  
магистр, аға оқытушы, Металлургия  
кафедрасы, Торайғыров университеті,  
Павлодар, 1400008, Қазақстан  
Республикасы, <https://orcid.org/0000-0002-8111-6755>  
e-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru)

**Ким Александр Сергеевич**, техника  
ғылымдарының докторы, Бор  
зертханасының бас ғылыми қызметкері,  
Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия  
институты, Қарағанды қ., 100009,  
Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[boron\\_213@mail.ru](mailto:boron_213@mail.ru)

**Киселева Ольга Геннадьевна**,  
қауымд. профессор, техника  
ғылымдарының кандидаты, Сәтбаев  
университеті, М.Тынышбаев атындағы  
көлік инженериясы және логистика  
мектебі, Алматы қ., 050013,  
Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Косатбекова Динара Шадиарбековна**,  
аға оқытушы, техника ғылымдарының  
магистрі, PhD докторант, С. Сейфуллин  
атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу  
университеті, Астана қ., 010000,  
Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

**Кочегина Елена Вячеславовна**,  
басшы оқытушы, Академик Е. А.  
Бөкетов атындағы Қарағанды  
университеті, Қарағанды қ., 100000,  
Қазақстан Республикасы,  
e-mail: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Қуандықов Алмаз Болатович**,  
Аға оқытушы, Инженерия факультеті,  
Торайғыров университеті, Павлодар қ.,  
140008, Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Куленова Наталья Анатольевна**,  
техника ғылымдарының кандидаты,  
профессор, VERITAS үстемдік

г. Караганда, 100000, Республика  
Казахстан, e-mail:  
[svetlana.1311@mail.ru](mailto:svetlana.1311@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедра Металлургия и горное дело,  
Технический факультет, Актюбинский  
региональный университет имени  
К.Жубанова, г. Актөбе, 030000,  
Республика Казахстан, e-mail:  
[kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Кенжебекова Анар Ерболатовна**,  
магистр, ст. преподаватель, кафедра  
металлургия, Torayghirov University,  
г. Павлодар, 1400008, Республика  
Казахстан, <https://orcid.org/0000-0002-8111-6755>, e-mail:  
[kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru)

**Ким Александр Сергеевич**, доктор  
технических наук, главный научный  
сотрудник лабораторией Бор,  
Химико-металлургический институт  
имени Ж. Абишева, г. Караганда,  
100009, Республика Казахстан, e-mail:  
[boron\\_213@mail.ru](mailto:boron_213@mail.ru)

**Киселева Ольга Геннадьевна**, ассоц.  
профессор, кандидат технических наук,  
Satbayev University, Школа  
транспортной инженерии и логистики  
имени М. Тынышпаева, г. Алматы,  
050013, Республика Казахстан, e-mail:  
[kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Косатбекова Динара Шадиарбековна**,  
ст. преподаватель, магистр технических  
наук, PhD докторант, Казахский  
агротехнический исследовательский  
университет имени С. Сейфуллина,  
г. Астана, 010000, Республика Казахстан,  
e-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

**Кочегина Елена Вячеславовна**,  
ст. преподаватель, Карагандинский  
университет имени академика Е. А.  
Букетов, г. Караганда, 100000,  
Республика Казахстан, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Қуандықов Алмаз Болатович**,  
Старший преподаватель, Факультет  
Инженерии, Торайғыров Университет,  
г. Павлодар, 140008, Республика  
Казахстан, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Куленова Наталья Анатольевна**,  
кандидат технических наук, профессор,  
руководитель центра превосходства

named after A. Saginov,  
Karaganda, 100000,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[svetlana.1311@mail.ru](mailto:svetlana.1311@mail.ru)

**Kelamanov Bauyrzhan Satybaldyuly**,  
candidate of Technical Sciences,  
Professor, Department of Metallurgy  
and Mining, Technical Faculty, K.  
Zhubanov Aktobe regional university,  
Aktobe, 030000, Republic of  
Kazakhstan, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Kenzhebekova Anar Yerbolatovna**,  
master. Senior teacher., Department  
of «Metallurgy», Torayghirov  
University, Pavlodar, 1400008,  
Republic of Kazakhstan,  
<https://orcid.org/0000-0002-8111-6755>,  
e-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru)

**Kim Aleksandr**, doctor of technical  
sciences, Chief Researcher of  
laboratory, Zh. Abishev Chemical-  
Metallurgical Institute, Karaganda,  
100009, Republic of Kazakhstan,  
e-mail: [boron\\_213@mail.ru](mailto:boron_213@mail.ru)

**Kisselyova Olga**,  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor, Satbayev  
University, School of transport  
engineering and logistics named after  
M. Tynyshpayev, Almaty, 050013,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Kossatbekova Dinara  
Shadiyarbekovna**, Senior lecturer,  
master of technical sciences, PhD  
doctoral, S. Seifullin Kazakh  
agrotechnical research university,  
Astana, 010000, Republic of  
Kazakhstan, e-mail:  
[ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru)

**Kochegina Elena Vyacheslavovna**,  
Senior Lecturer, Karaganda Buketov  
University, Karaganda, 100000,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Kuandykov Almaz Bolatovich**,  
Senior teacher, Faculty of  
Engineering, Torayghirov University,  
Pavlodar city, 140008, Republic of  
Kazakhstan, e-mail:  
[azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Kulnova Natalya Anatolyevna**,  
Candidate of Technical Sciences,  
Professor,

орталығының басшысы,  
Д. Серікбаев атындағы Шығыс  
Қазақстан техникалық университеті,  
Өскемен қ., 070001, Қазақстан  
Республикасы,  
e-mail: [3007kulenova53@gmail.com](mailto:3007kulenova53@gmail.com)

VERITAS, Восточно-Казахстанский  
технический университет имени Д.  
Серикбаева, г. Усть-Каменогорск,  
070001, Республика Казахстан,  
e-mail: [3007kulenova53@gmail.com](mailto:3007kulenova53@gmail.com)

Head of the Excellence Center  
VERITAS,  
D. Serikbayev East Kazakhstan  
Technical University,  
Ust-Kamenogorsk, 070001, Republic  
of Kazakhstan, e-mail:  
[3007kulenova53@gmail.com](mailto:3007kulenova53@gmail.com)

**Құлумбаев Нурболат Калиевич,**  
магистр, аға оқытушы, Металлургия  
зертханасының меңгерушісі,  
Торайғыров университеті, Павлодар қ.,  
140008, Қазақстан Республикасы,  
e-mail: [Kulumbaev.nurbulat@gmail.com](mailto:Kulumbaev.nurbulat@gmail.com)

**Кулумбаев Нурболат Калиевич,**  
магистр, ст. преподаватель, заведующий  
лабораторией Металлургия,  
Торайғыров университет,  
г. Павлодар, 140008, Республика  
Казахстан, e-mail:  
[Kulumbaev.nurbulat@gmail.com](mailto:Kulumbaev.nurbulat@gmail.com)

**Kulumbaev Nurbolat Kalievich,**  
Master's Degree, Senior Lecturer,  
Head of the Metallurgy Laboratory,  
Toraighyrov University  
Pavlodar, 140008, Kazakhstan,  
e-mail:  
[Kulumbaev.nurbulat@gmail.com](mailto:Kulumbaev.nurbulat@gmail.com)

**Қалмағамбет Алимжан**  
**Бахытжанұлы,** Қ. И. Сәтбаев атындағы  
Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу  
университеті, Алматы қ, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[Alikon\\_97@mail.ru](mailto:Alikon_97@mail.ru)

**Калмағамбет Алимжан**  
**Бахытжанович,** Магистрант, Казахский  
национальный научно-  
исследовательский технический  
университет имени К. И. Сатпаева,  
г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: [Alikon\\_97@mail.ru](mailto:Alikon_97@mail.ru)

**Kalmagambet Alimzhan**  
**Bakhytzhonovich,** Master's student,  
K. I. Satbayev Kazakh National  
Research Technological University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan,  
[Alikon\\_97@mail.ru](mailto:Alikon_97@mail.ru)

**Қасымова Баян Құлмұханбетқызы,**  
инженер, Ж. Әбишев атындағы ХМИ,  
Қарағанды қаласы, 100009, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Касымова Баян Кульмұханбетовна,**  
инженер, ХМИ имени Ж. Абишева, г.  
Караганда, 100009, Республика  
Казахстан, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Bayan Kulmukhanbetovna**  
**Kasymova,** Engineer, J. Abishev  
Chemical-Metallurgical Institute,  
Karaganda, 100009, Republic of  
Kazakhstan, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Қойайдаров Бортан Абайұлы,** техника  
ғылымдарының кандидаты, Механика  
және машина жасау кафедрасының  
доценті, М. Х. Дулати атындағы Тараз  
өңірлік университеті КЕ АҚ, Тараз,  
080019, Қазақстан Республикасы,  
e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Койайдаров Бортан Абаевич,** кандидат  
технических наук, доцент кафедры  
Механики и машиностроения,  
Таразский региональный университет  
имени М. Х. Дулати, Тараз, 080019,  
Республика Казахстан,  
e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Koiaidarov Bortan Abaevich,**  
candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the  
Department of Mechanics and  
Mechanical Engineering, M. H.  
Dulati Taraz Regional University,  
Taraz, 080019, Republic of  
Kazakhstan,  
e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Лайхан Саламат Аргынулы,**  
Инженер технолог, техника  
ғылымдарының магистрі, аспирант,  
ЖШС ФЗИО ERG, Ақтөбе қ., 030000,  
Қазақстан Республикасы,  
e-mail: [Salamat.Laikhan.@erg.kz](mailto:Salamat.Laikhan.@erg.kz)

**Лайхан Саламат Аргынулы,**  
Инженер технолог, магистр технических  
наук, аспирант, ТОО НИИЦ ERG, город  
г. Ақтөбе, 030000, Республика  
Казахстан, e-mail:  
[Salamat.Laikhan.@erg.kz](mailto:Salamat.Laikhan.@erg.kz)

**Laikhan Salamat Argynuly,**  
Engineer technologist, master of  
technical sciences, postgraduate  
student, LTD SERC ERG, Aktobe  
city, 030000, Republic of  
Kazakhstan, e-mail:  
[Salamat.Laikhan.@erg.kz](mailto:Salamat.Laikhan.@erg.kz)

**Ларичкин Владимир Викторович,**  
техника ғылымдарының докторы,  
профессор, Экологияның инженерлік  
мәселелері кафедрасы, Новосибирск  
мемлекеттік техникалық университеті,  
Новосибирск қ., 630073, Ресей  
Федерациясы,  
e-mail: [larichkin@craft.nstu.ru](mailto:larichkin@craft.nstu.ru)

**Ларичкин Владимир Викторович,**  
доктор технических наук, профессор,  
кафедра Инженерные проблемы  
экологии, Новосибирский  
государственный технический  
университет, г. Новосибирск, 630073,  
Российская Федерация,  
e-mail: [larichkin@craft.nstu.ru](mailto:larichkin@craft.nstu.ru)

**Larichkin Vladimir Viktorovich,**  
Doctor of technical sciences,  
professor, Engineering problems of  
Ecology Department, Novosibirsk  
State Technical University, г.  
Novosibirsk, 630073, Russian  
Federation, e-mail:  
[larichkin@craft.nstu.ru](mailto:larichkin@craft.nstu.ru)

**Лиакын Ләзат,** магистр, аға  
оқытушысы, Металлургия және пайдалы  
қазбаларды байыту мектебі,  
Д. Серікбаев атындағы Шығыс  
Қазақстан техникалық университеті,  
Өскемен қ., 070001, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[lyazat.liakyn@mail.ru](mailto:lyazat.liakyn@mail.ru)

**Лиакын Ләзат,** магистр,  
старший преподаватель, Школа  
Металлургии и обогащения полезных  
ископаемых, Восточно-Казахстанский  
технический университет имени Д.  
Серикбаева, г. Усть-Каменогорск,  
070001, Республика Казахстан, e-mail:  
[lyazat.liakyn@mail.ru](mailto:lyazat.liakyn@mail.ru)

**Liakyn Lazat,** senior lecturer at the  
School of Metallurgy and Mineral  
Processing, magistr,  
D. Serikbayev East Kazakhstan  
Technical University,  
Ust-Kamenogorsk, 070001,  
Republic of Kazakhstan,  
e-mail: [lyazat.liakyn@mail.ru](mailto:lyazat.liakyn@mail.ru)

**Мақашев Ардақ Сулушашұлы,**  
аға ғылыми қызметкер, Ж. Әбишев  
атындағы ХМИ, Қарағанды қаласы,  
100009, Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Мамяченков Сергей Владимирович,**  
техника ғылымдарының докторы,  
профессор, түсті металдар  
металлургиясы кафедрасының  
менгерушісі, Ресейдің тұңғыш  
Президенті Б. Н. Ельцин атындағы Орал  
федералды университеті,  
Екатеринбург қ., 620002,  
Ресей Федерациясы,  
e-mail: [svmamyachenkov@yandex.ru](mailto:svmamyachenkov@yandex.ru)

**Мардонов Бақтиёр Тешаевич,** техника  
ғылымдарының докторы, профессор,  
Науайы мемлекеттік тау-кен және  
технологиялар университеті, Науайы,  
Өзбекістан, e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)  
**Мендалиева Сауле Иличична,**  
техника ғылымдары кандидаты, аға  
оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазак  
агротехникалық зерттеу университеті,  
Астана қ., 010011, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[saule-decanuf@mail.ru](mailto:saule-decanuf@mail.ru)

**Мурсалыкова Майгуль Тауржановна,**  
PhD, аға оқытушысы, Тамақ және өндеу  
өнеркәсібінің технологиясы кафедрасы,  
С. Сейфуллин атындағы Қазак  
агротехникалық зерттеу университеті,  
Астана қ., 140000, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[maigul\\_85@mail.ru](mailto:maigul_85@mail.ru)

**Мустафаева Аяулым Какеновна,**  
техника ғылымдарының кандидаты, аға  
оқытушысы, Тамақ және өндеу  
өнеркәсібінің технологиясы кафедрасы,  
С. Сейфуллин атындағы Қазак  
агротехникалық зерттеу университеті,  
Астана қ., 140000, Қазақстан  
Республикасы, e-mail:  
[ayaulym.mustafa@mail.ru](mailto:ayaulym.mustafa@mail.ru)

**Мустафин Әділбек Хамзинұлы,**  
техника ғылымдарының кандидаты,  
профессор, Механика және мұнай-газ  
дело кафедрасы, Инженерия факультеті,  
Торайғыров университеті, Павлодар қ.,  
140008, Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[mustafin51@mail.ru](mailto:mustafin51@mail.ru)

**Мақашев Ардақ Сулушашович,**  
старший научный сотрудник, ХМИ  
имени Ж. Абишева, г. Караганда,  
100009, Республика Казахстан, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Мамяченков Сергей Владимирович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Заведующий кафедры металлургии  
цветных металлов,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н.  
Ельцина, г. Екатеринбург, 620002,  
Российская Федерация, e-mail:  
[svmamyachenkov@yandex.ru](mailto:svmamyachenkov@yandex.ru)

**Мардонов Бақтиёр Тешаевич,** доктор  
технических наук, профессор,  
Навоийского государственного горно-  
технологического университета, Навои,  
Узбекистан e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)  
**Мендалиева Сауле Иличична,** кандидат  
технических наук, ст. преподаватель,  
Казахский агротехнический  
исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, г. Астана, 010011,  
Республика Казахстан, e-mail: [saule-decanuf@mail.ru](mailto:saule-decanuf@mail.ru)

**Мурсалыкова Майгуль Тауржановна,**  
PhD, ст. преподаватель, кафедры  
Технология продовольственных,  
пищевых и перерабатывающих  
производств, Казахский  
агротехнический исследовательский  
университет имени С. Сейфуллина,  
г. Астана, 140000, Республика Казахстан,  
e-mail: [maigul\\_85@mail.ru](mailto:maigul_85@mail.ru)

**Мустафаева Аяулым Какеновна,**  
кандидат технических наук, ст.  
преподаватель, Технология  
продовольственных, пищевых и  
перерабатывающих производств,  
Казахский агротехнический  
исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, г. Астана, 140000,  
Республика Казахстан, e-mail:  
[ayaulym.mustafa@mail.ru](mailto:ayaulym.mustafa@mail.ru)

**Мустафин Адильбек Хамзинович,**  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры Механика и нефтегазовое дело,  
Факультет инженерии, Торайгыров  
университет, г. Павлодар, 140008,  
Республика Казахстан, e-mail:  
[mustafin51@mail.ru](mailto:mustafin51@mail.ru)

**Makashov Ardak Sulushashovich,**  
Senior Research Scientist, J. Abishev  
Chemical-Metallurgical Institute,  
Karaganda, 100009, Republic of  
Kazakhstan, e-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Mamyachenkov Sergey  
Vladimirovich,** Doctor of Technical  
Sciences, Professor, Head of the  
Department of Metallurgy of Non-  
ferrous Metals, Ural Federal  
University named after the first  
President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, 620002, Russian  
Federation, e-mail:  
[svmamyachenkov@yandex.ru](mailto:svmamyachenkov@yandex.ru)

**Jacek Cieřlik,**  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor, of Navoi State Mining and  
Technology University, Navoi,  
Uzbekistan, e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)  
**Mendaliyeva Saule Ilichichna,**  
candidate of technical sciences, senior  
lecturer, Kazakh Agrotechnical  
Research University named after S.  
Seifullin, Astana, 010011, Republic  
of Kazakhstan, e-mail: [saule-decanuf@mail.ru](mailto:saule-decanuf@mail.ru)

**Mursalykova Maigul,** PhD, senior  
lecturer Department of Food  
Technology and Processing Products,  
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical  
Research University, Astana, 140000,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[maigul\\_85@mail.ru](mailto:maigul_85@mail.ru)

**Mustafayeva Ayaulym,**  
candidate of technical sciences, senior  
lecturer, Department of Food  
Technology and Processing Products,  
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical  
Research University, Astana, 140000,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[ayaulym.mustafa@mail.ru](mailto:ayaulym.mustafa@mail.ru)

**Mustafin Adilbek Khamzinovich,**  
Candidate of Technical Sciences,  
Professor, Department of Mechanics  
and Oil and Gas Engineering, Faculty  
of Engineering, Toraigyrov  
University, Pavlodar, 140008,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[mustafin51@mail.ru](mailto:mustafin51@mail.ru)

**Мұхтар Айдархан Ахуанұлы,**  
техника ғылымының кандидаты,  
қауымдастырылған профессор, Кен  
байыту зертханасының меңгерушісі,  
Ж. Әбишев атындағы ХМИ, Қарағанды  
қ., 100009, Қазақстан Республикасы, е-  
mail: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Нукешев Саяхат Оразович,**  
профессор, техника ғылымдарының  
докторы, профессор С. Сейфуллин  
атындағы Қазак агротехникалық зерттеу  
университеті, Астана қ., 010000,  
Қазақстан Республикасы, е-mail:  
[snukeshev@mail.ru](mailto:snukeshev@mail.ru)

**Нурғали Нуржан Зулхайнарлович,**  
техника ғылымдарының кандидаты,  
пирометаллургия менеджері, ERG  
ғылыми-зерттеу және инжиниринг  
орталығы ЖШС, Астана қ., 010017,  
Қазақстан Республикасы, е-mail:  
[n.nurgali@yandex.kz](mailto:n.nurgali@yandex.kz)

**Нуркимбаев Сағыныш Маратович,**  
докторант, Машина жасау және  
стандарттау кафедрасы, Инженерия  
факультеті, Торайғыров университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан  
Республикасы, е-mail:  
[nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Нугман Ерік Зейнелұлы,** қауымд.  
профессоры, PhD, Машина жасау  
кафедрасының меңгерушісі, Машина  
жасау кафедрасы, Энергетика және  
машина жасау институты, ҚАЗҰТЗУ,  
Алматы қ., 050013, Қазақстан  
Республикасы, е-mail:  
[e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)

**Нурман Айдана Дарханқызы,**  
Инжинирингтік технологиялар  
кафедрасының аға оқытушысы, техника  
ғылымдарының магистрі,  
Қорқыт ата атындағы Қызылорда  
университеті, Қызылорда қ., 120000,  
Қазақстан республикасы, е-mail:  
[Chito-92@mail.ru](mailto:Chito-92@mail.ru)

**Окишев Константин Юрьевич,**  
физика-математика ғылымдарының  
докторы, профессор, Б. Ельцин  
атындағы Орал Федералдық  
университеті, Материалтану және  
термиялық өңдеу факультеті  
Екатеринбург қ., 620000, Ресей  
Федерациясы, е-mail:  
[konstantin.okishev@urfu.ru](mailto:konstantin.okishev@urfu.ru)

**Мухтар Айдархан Ахуанұлы,**  
кандидат технических наук, ассоц.  
профессор, Зав.лаб. Обогащения руд,  
ХМИ имени Ж. Абишева, г. Караганда,  
100009, Республика Казахстан, е-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Нукешев Саяхат Оразович,**  
профессор, доктор технических наук,  
Казахский агротехнический  
исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, г. Астана, 010000,  
Республика Казахстан, е-mail:  
[snukeshev@mail.ru](mailto:snukeshev@mail.ru)

**Нурғали Нуржан Зулхайнарлович,**  
кандидат технических наук, менеджер  
по пирометаллургии, ТОО Научно-  
исследовательский инжиниринговый  
центр ERG, г. Астана, 010017,  
Республика Казахстан, е-mail:  
[n.nurgali@yandex.kz](mailto:n.nurgali@yandex.kz)

**Нуркимбаев Сағыныш Маратович,**  
докторант, кафедра Машиностроение и  
стандартизация, Факультет инженерии,  
Торайғыров университет, г. Павлодар,  
140008, Республика Казахстан, е-mail:  
[nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Нугман Ерик Зейнелович,** ассоц.  
профессор, доктор PhD, Заведующий  
кафедрой Машиностроение, кафедра  
Машиностроение, Институт энергетики  
и машиностроения, КазНИТУ имени  
К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013,  
Республика Казахстан, е-mail:  
[e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)

**Нурман Айдана Дарханқызы,** ст.  
Преподаватель, кафедра  
инжиниринговых технологий, магистр  
технологических наук  
Кызылординский университет имени  
Коркыт ата, г. Кызылорда, 120000,  
Республика Казахстан, е-mail:  
[Chito-92@mail.ru](mailto:Chito-92@mail.ru)

**Окишев Константин Юрьевич,**  
доктор физико-математических наук,  
профессор, Уральский федеральный  
университет имени Б.Ельцина,  
факультет Материаловедения и  
термической обработки,  
г. Екатеринбург, 620000, Российская  
Федерация, е-mail:  
[konstantin.okishev@urfu.ru](mailto:konstantin.okishev@urfu.ru)

**Muhtar Aidarkhan Akhuanuly,**  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor, Head of the Ore  
Beneficiation Laboratory, J. Abishev  
Chemical-Metallurgical Institute,  
Karaganda, 100009, Republic of  
Kazakhstan, е-mail:  
[bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

**Nukeshev Sayakhat Orazovich,**  
Professor, doctor of technical  
sciences, Professor S. Seifullin  
Kazakh agrotechnical research  
university, Astana, 010000,  
е-mail: [snukeshev@mail.ru](mailto:snukeshev@mail.ru)

**Nurgali Nurzhan Zulkhainarovich,**  
candidate of Technical Sciences,  
Pyrometallurgy Manager, ERG  
Scientific Research Engineering  
Center LLP, Astana, 010017,  
Republic of Kazakhstan, е-mail:  
[n.nurgali@yandex.kz](mailto:n.nurgali@yandex.kz)

**Nurkimbayev Sagynysh Maratovich,**  
doctoral student, Department  
Mechanical Engineering and  
Standardization, Faculty of  
engineering, Toraihyrov University,  
Pavlodar, 140008, Republic of  
Kazakhstan, е-mail:  
[nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Nugman Yerik,** Associate Professor,  
PhD, Head of the Department of  
Mechanical Engineering, Department  
of Mechanical Engineering,  
K. I. Satbayev KazNRU, Institute of  
Energy and Mechanical Engineering,  
Almaty, 050013, Kazakhstan  
Republic, е-mail:  
[e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)

**Nurman Aidana Darkhankyzy,**  
Senior Lecturer, Department of  
Engineering Technologies, Master of  
Technological Sciences  
Korkyt ata Kyzylorda University,  
Kyzylorda city, 120000,  
Republic of Kazakhstan, е-mail:  
[Chito-92@mail.ru](mailto:Chito-92@mail.ru)

**Okishev Konstantin Yurievich,**  
Doctor of Physical and Mathematical  
Sciences, Professor, B. Yeltsin Ural  
Federal University, Faculty of  
Materials Science and Heat  
Treatment, Ekaterinburg,  
620000, Russian Federation, е-mail:  
[konstantin.okishev@urfu.ru](mailto:konstantin.okishev@urfu.ru)



**Оналбаева Жанар Сагидолдиновна**, PhD, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту мектебінің деканы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070001, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhanara-05@mail.ru](mailto:zhanara-05@mail.ru)

**Орынбеков Думан Рымғалиевич**, Басқарма Төрағасы-Ректор, техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [duman\\_r@mail.ru](mailto:duman_r@mail.ru)

**Романюк Николай Николаевич**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ректор, Беларусь мемлекеттік аграрлық техникалық университеті, Минск қ., 220012, Беларусь, e-mail: [romanyuk-nik@tut.by](mailto:romanyuk-nik@tut.by)

**Сапинов Руслан Викторович**, PhD, қауымд. профессор, Машина жасау және стандарттау кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Сапинова Дильназ Руслановна**, X101 тобының студенті, Торайғыров университеті Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Сариев Өтеген Рафхатович**, техника ғылымдарының кандидаты, Металлургия және тау-кен ісі кафедрасының доценті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Техникалық факультет, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Сахыбаев Рәтбек Телғараұлы**, докторант, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті КЕ АҚ, Тараз қ., 080019, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Сембаев Нурболат Сәкенұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, кафедрасының меңгерушісі, Көлік техникасы және логистика кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [n.sembaev@mail.ru](mailto:n.sembaev@mail.ru)

**Оналбаева Жанар Сагидолдиновна**, PhD, декан Школы Металлургии и обогащения полезных ископаемых, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070001, Республика Казахстан, e-mail: [zhanara-05@mail.ru](mailto:zhanara-05@mail.ru)

**Орынбеков Думан Рымғалиевич**, Председатель Правления-Ректор, кандидат технических наук, Университет имени Шакарима г. Семей, Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [duman\\_r@mail.ru](mailto:duman_r@mail.ru)

**Романюк Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, ректор, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, 220012, Беларусь, e-mail: [romanyuk-nik@tut.by](mailto:romanyuk-nik@tut.by)

**Сапинов Руслан Викторович**, PhD, асоц.профессор, кафедра Машиностроение и стандартизация, факультета Инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар., 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Сапинова Дильназ Руслановна**, студент гр X101, Торайғыров Университет г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
**Сариев Өтеген Рафхатович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Металлургия и горное дело, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Технический факультет, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Сахыбаев Рәтбек Телғараевич**, докторант, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Тараз, 080019, Республика Казахстан, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Сембаев Нурболат Сәкенович**, кандидат технических наук, асоц. профессор, заведующий кафедры, кафедра Транспортная техника и логистика, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [n.sembaev@mail.ru](mailto:n.sembaev@mail.ru)

**Onalbayeva Zhanar Sagidoldinovna**, Doctor of PhD, Dean of the School of Metallurgy and Mineral Processing, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070001, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhanara-05@mail.ru](mailto:zhanara-05@mail.ru)

**Orynbekov Duman**, Chairman of the Board of Directors-Rector, candidate of technical sciences, Shakarim University Semey city, Semey, 071400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [duman\\_r@mail.ru](mailto:duman_r@mail.ru)

**Romanyuk Nikolay Nikolaevich**, candidate of Technical Sciences, docent, rector, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, 220012, Belarus, e-mail: [romanyuk-nik@tut.by](mailto:romanyuk-nik@tut.by)

**Sapinov Ruslan Viktorovich**, PhD, ass. Professor, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Sapinova Dilnaz Ruslanovna**, student gr X101, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan  
**Sariev Otegen Rafkatovich**, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metallurgy and Mining, K. Zhubanov Aktobe regional university, Technical Faculty, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Sakhybayev Ratbek Telgaraevich**, doctoral student, M. H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, 080019, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Sembayev Nurbulat Sakenovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Faculty of Engineering, Department of Transport Equipment and Technologies, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail:

[n.sembaev@mail.ru](mailto:n.sembaev@mail.ru)

**Советбаев Раил Аянович**, Машина жасау өндірісін цифрландыру мамандығы бойынша докторант, Энергетика және машина жасау институты, ҚазҰТЗУ, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Султангазиев Руслан Бауыржанович**, PhD, НТМ кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sulrus83@mail.ru](mailto:sulrus83@mail.ru)

**Таттимбек Гулерке**, Механика және металлөндеу мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tattimbekova91@mail.ru](mailto:tattimbekova91@mail.ru)

**Тогизбаева Баглан Болсынговна**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Көлік-энергетика факультеті, Астана 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [baglant099@gmail.com](mailto:baglant099@gmail.com)

**Токаев Серик Дюсенғалиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, Тамақ және өңдеу өнеркәсібінің технологиясы кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tokaev\\_sd@mail.ru](mailto:tokaev_sd@mail.ru)

**Толымбекова Лязат Байгабылқызы**, қауымд. профессор, техника ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Тулиндинов Мейрам Тлеуқенович**, Машиналар мен жабдықтарды пайдалану және оларға техникалық қызмет көрсету - мамандық бойынша арнайы пәндер оқытушысы, ШЖҚКМК Павлодар машина жасау колледжі, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

**Улмағанбетов Нұрсұлтан Асқарұлы**, 1 санаттағы инженер технолог, техника

**Советбаев Раил Аянович**, докторант по специальности Цифровизация машиностроительного производства, Институт энергетики и машиностроения, КазННТУ имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Султангазиев Руслан Бауыржанович**, PhD, и.о. доцента кафедры НТМ, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [sulrus83@mail.ru](mailto:sulrus83@mail.ru)

**Таттимбек Гулерке**, докторант по специальности Механика и металлообработка, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [tattimbekova91@mail.ru](mailto:tattimbekova91@mail.ru)

**Тогизбаева Баглан Болсынговна**, Доктор технических наук, профессор Евразийский национальный университет, Транспортно-энергетический факультет, Астана 010008, Республика Казахстан, e-mail: [baglant099@gmail.com](mailto:baglant099@gmail.com)

**Токаев Серик Дюсенғалиевич**, Ст.преподаватель Технология продовольственных, пищевых и перерабатывающих производств кандидат технических наук Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [tokaev\\_sd@mail.ru](mailto:tokaev_sd@mail.ru)

**Толымбекова Лязат Байгабыловна**, Ассоциированный профессор, кандидат технических наук, Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Тулиндинов Мейрам Тлеуқенович**, преподаватель специальных дисциплин по специальности: Эксплуатация и техническое обслуживание машин и оборудования, КГП на ПХВ Павлодарский машиностроительный колледж, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

**Улмағанбетов Нұрсұлтан Асқарович**, Инженер технолог 1 категории, магистр

**Sovetbayev Rail Ayanovich**, doctoral student in Digitalization of machine-building production, Institute of Energy and Mechanical Engineering, K.I. Satbayev KazNRTU, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Sultangaziev Ruslan**, PhD, Acting Associate Professor of the Department NTM, NPJSC Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Kazakhstan, e-mail: [sulrus83@mail.ru](mailto:sulrus83@mail.ru)

**Tattimbek Gulerke**, doctoral student in the specialty Mechanics and metalworking, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tattimbekova91@mail.ru](mailto:tattimbekova91@mail.ru)

**Togizbayeva Baglan Bolsynovna**, Doctor of technical sciences, professor, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Faculty of Transport and Energy, Astana 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [baglant099@gmail.com](mailto:baglant099@gmail.com)

**Serik Tokaev**, senior lecturer, candidate of technical sciences, Department of Food Technology and Processing Products, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tokaev\\_sd@mail.ru](mailto:tokaev_sd@mail.ru)

**Tolymbekova Lyazat Baigabylovna**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Toraihyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Tulindinov Meiram Tleukenovich**, teacher of special disciplines in the specialty: Operation and maintenance of machinery and equipment, Pavlodar Engineering College, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

**Ulmaganbetov Nursultan Askaruly**, Engineer technologist of the 1st

ғылымдарының магистрі, ЖШС ФЗИО ERG Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Чнь Юн**, докторант, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [lyggkcy@126.com](mailto:lyggkcy@126.com)

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, аға оқытушы, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шеров Карибек Тагаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Шошай Жансерик**, аға оқытушы, Металлургия кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Шумейко Иван Алексеевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машина жасау және стандарттау кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Юсупова Лена Ергенбаевна**, Инжинирингтік технологиялар кафедрасының аға оқытушысы, техника және технология магистрі. Қорқыт ата атындағы Қызылорда Университеті, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [L.Yussupova@mail.ru](mailto:L.Yussupova@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Өнеркәсіптік көлік кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Рожков Александр Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Өнеркәсіптік көлік кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

технических наук, ТОО НИИЦ ERG, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Чнь Юн**, докторант, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: [lyggkcy@126.com](mailto:lyggkcy@126.com)

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, старший преподаватель, Инженерно-технологический факультет, Университет имени Шакарима г. Семей, Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шеров Карибек Тагаевич**, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Шошай Жансерик**, ст. преподаватель, кафедра Metallургия, факультет Инженерия, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

**Шумейко Иван Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра Машиностроение и стандартизация, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Юсупова Лена Ергенбаевна**, ст. преподаватель кафедры инжиниринговых технологий, магистр техники и технологии. Кызылординский университет имени Коркыт ата, город Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: [L.Yussupova@mail.ru](mailto:L.Yussupova@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, кафедра Промышленный транспорт, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Рожков Александр Владимирович**, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, кафедра Промышленный транспорт, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

category, master of technical sciences, LTD SERC ERG, Aktobe city, 030000, Republic of Kazakhstan, e mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Chen Yong**, doctoral student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan e-mail: [lyggkcy@126.com](mailto:lyggkcy@126.com)

**Shayakhmetov Yerzhan Yarnarovich**, PhD, senior lecturer, engineering - technological faculty, Shakarim University of Semey city, Semey, 071400, Kazakhstan Republic, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Sherov Karibek**, Doctor of Technical Sciences, professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Shoshay Zhanserik**, Senior Lecturer, Department of Metallurgy, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan,

**Shumeiko Ivan Alekseevich**, candidate of Technical Sciences, Professor, Department Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of metallurgy, engineering and transport, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Lena Yergenbaevna Yusupova**, Senior Lecturer of the Department of Engineering Technologies, Master of Engineering and Technology Korkyt ata Kyzylorda University, Kyzylorda city, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [L.Yussupova@mail.ru](mailto:L.Yussupova@mail.ru)

**Balabaev Oyum Temirgalievich**, candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Industrial Transport, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Rozhkov Alexander Vladimirovich**, candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Industrial Transport, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Абишев Кайратолла Кайроллинович,**  
Техника ғылымдарының кандидаты,  
профессор, Көліктік техника және  
логистика кафедрасы, Инженерия  
факультеті, Торайғыров Университеті,  
140008, Қазақстан Республикасы, e-mail:  
[a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Сулейменов Ансаган Дюсембаевич,**  
Техника ғылымдарының магистрі,  
Көліктік техника және логистика  
кафедрасы, Инженерия факультеті,  
Торайғыров университеті, 140008,  
Қазақстан Республикасы,  
e-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Любимов Игорь Ильич,** техника  
ғылымдарының кандидаты, доцент,  
Автомобиль көлігі кафедрасы, Орынбор  
мемлекеттік университеті, Орынбор қ.,  
460018, Ресей Федерациясы, e-mail:  
[lyubimovii@gmail.com](mailto:lyubimovii@gmail.com)

**Абишев Кайратолла Кайроллинович,**  
Кандидат технических наук, профессор,  
кафедра Транспортная техника и  
логистика, факультет Инженерии,  
Торайғыров университет, г. Павлодар,  
140008, Республика Казахстан,  
e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Сулейменов Ансаган Дюсембаевич,**  
Магистр технических наук, старший  
преподаватель, кафедра Транспортная  
техника и логистика, факультет  
Инженерии, Торайғыров университет,  
г. Павлодар, 140008, Республика  
Казахстан, e-mail:  
[ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Любимов Игорь Ильич,** кандидат  
технических наук, доцент, Кафедра  
автомобильного транспорта,  
Оренбургский государственный  
университет, г. Оренбург, 460018,  
Российская Федерация, e-mail:  
[lyubimovii@gmail.com](mailto:lyubimovii@gmail.com)

**Abishev Kairatolla Kayrollinovich,**  
Candidate of Technical Sciences,  
Professor, Department of Transport  
Technologies and Logistics, Faculty  
of Engineering, Toraigyrov  
University, Pavlodar, 140008,  
Republic of Kazakhstan, e-mail:  
[a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Suleimenov Ansagan  
Dyusembaevich,** Master of Technical  
Sciences, Senior Lecturer,  
Department of Transport Engineering  
and Logistics, Faculty of Engineering,  
Toraigyrov University, st. Pavlodar,  
140008, Republic of Kazakhstan, e-  
mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Lyubimov Igor Ilyich,** Candidate of  
Technical Sciences, associate  
professor, Department of Automobile  
Transport, Orenburg State University,  
Orenburg, 460018, Russian  
Federation, e-mail:  
[lyubimovii@gmail.com](mailto:lyubimovii@gmail.com)

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

**Торайғыров университеті**

**140008**, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[nitk.tou.edu.kz](http://nitk.tou.edu.kz)