

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 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агенства 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/HPYP5442>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,216

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Сулейменов Ансаган Дюсембаевич – PhD (ответственный секретарь);
Омарова Айгерим Рымболатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Кажиева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Жунусов Аблай Каиртасович – к.т.н., асс. профессор (доцент) (Павлодар, Казахстан);
Зарубежные члены редакционной коллегии:
Baigang Sun – PhD, 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);
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).
Чайкин Владимир Андреевич– д.т.н., доцент (Сафоново, 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

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

Аукенова Б. Қ., Дудкин М. В., Молдаханов Б. А., Васильков Д. С., Старостина Ж. А. Методика расчета бульдозерного отвала с разноуровневой геометрией угла поворота боковых секций.....	7
Байгереев С. Р, Сулейменов А. Д, Гурьянов Г. А, Жаксалыков К. Н. Разработка и экспериментальные исследования новой конструкции измельчителя.....	22
Басқанбаева Д. Ж., Елемесов Қ. К., Ерік Ә. Қ. Сенімділік параметрлерін арттыру үшін сорғы паркінің техникалық жай-күйінің мониторингі.....	40
Бекмырза Ж. А., Курманов А. К., Камышева Н. А. Совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами.....	50
Берг А. С., Берг А. А. Исследование прочности кран-балки с оптимизированной геометрией.....	69
Бузауова Т. М., Сарсенгалиева Г. К. Оценка качества плазменной резки.....	82
Ергешев А. А., Ракишев А. К., Кузминова Н. Ю. Аддитивті технологиямен алынған pla үлгілерінің беріктігін талдау.....	94
Kassenov A. Zh., Taskarina A. Zh., Itybayeva G. T., Iskakova D. A., Yanushkin A. S. Optimization of the process of processing holes with a tool assembly reamer.....	105
Куанов И. С., Шеров К. Т., Сагитов А. А., Тусупова С. О., Мендалиева С. И. Экспериментальное исследование твердости обработанной поверхности при термофрикционном фрезеровании с импульсным охлаждением стали hardox 450.....	116
Мусина Ж. К., Луб Т. Л., Шумейко И. А., Деревягин С. И., Ткачук А. А. Математическое моделирование процесса износа при ротационной обработке инструментом с самовращающейся кромкой.....	128
Мухитова А. Е., Нуржанова О. А., Жаркевич О. М., Černašėjus O. Исследование износостойкости наплавочных материалов для восстановления поверхностей валов электродвигателей.....	143
Поветкин В. В., Татыбаев М. К., Абілқайыр Ж. Н., Дуйсенбекова О. О., Манкешева О. Т. Машиналар мен материалдардың қызмет ету мерзімін және тозуға төзімділігін арттырудың негізгі бағыттары.....	154

Табылов А. У., Букаева А. З., Булекбаева Г. Ж., Суйеуова Н. Б., Рзаева К. С.	
Тегіс бетке балқытылған қабатты домалату әдісімен серпімді емес деформациялаудың бір өлшемді мәселесін қою.....	169
Тұрсынбаева А. Н., Исаметова М. Е., Дүйсенғали А. М., Ильясов Е. С.	
Разработка технологического процесса 3D печати матрицы для гибки листового металла композитными гранулами.....	182

**МЕТАЛЛУРГИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ
METALLURGY**

Абілберікова А. А., Есенғалиев Д. А., Қуатбай Е. Қ., Келаманов Б. С., Бензесик К.	
Моделирование восстановления латеритной никелевой руды месторождения «Батамша» газообразными восстановителями в программном комплексе «HSC Chemistry 10».....	193
Арбуз А. С., Найзабеков А. Б., Попов Ф. Е., Лутченко Н. А.	
Анализ устранения литейных дефектов циркониевых сплавов с использованием метода равноканального углового прессования.....	209
Аринова С. К., Алтынова А. Е.	
Исследование свойств огнеупорных материалов на основе отходов металлургического производства.....	221
Kabylkhanov., Makhambetov Ye., Abdulina S., Zhakan A., Yucel O.	
Research of physico-chemical properties of charge materials for the production of chromium-manganese ligature.....	233
Kassymova D. B., Sapinov R. V., Kulenova N. A., Adilkanova M. A.	
Study of the material composition of gold-copper ores from Kazakhstan deposits.....	248
Ким А. С., Акбердин А. А., Султангазиев Р. Б., Орлов А. С., Адамова Г. Х.	
Совершенствование технологии окомкования медных концентратов.....	259
Куликов В. Ю., Байбеков Ш. С., Ковалев П. В., Жолдубаева Ж. Д.	
Вариативті статикалық қысымды қолдана отырып, құм-шайыр қалыбының механикалық және технологиялық қасиеттерін арттыру.....	268
Сариев О. Р., Алмагамбетов М. С., Нурғали Н. З., Жумағалиев Е. У., Әбдірашит А. М.	
Физико-химические свойства пыли при дроблении феррохрома и её окускование.....	284

**КӨЛІК
ТРАНСПОРТ
TRANSPORT**

Аймуханов Д. С., Кадыров А. С., Сембаев Н. С., Байгушкарпова А. Б., Лукаш Варгула	
Применение «контрактных» автомобильных силовых агрегатов в качестве привода исполнительных механизмов транспортной техники.....	297
Балтабекова А. Н., Абишев К. К., Муканов Р. Б., Бухнер Петр, Ғабдолла Ж. Ж.	
Надежность работы водителя в обеспечении безопасности дорожного движения.....	311
Zhandarbekova A. M., Mukhametzhanova A. V., Murzabekova K. A., Kulmurzina A. A.	
On the competitiveness of the Trans-Caspian international transport corridor.....	324
Касымжанова К. С., Шарипова А. М., Увалиева А. Б., Оразов О. Ш., Саукенова И. Қ	
Жүргізушінің жұмыс қабілеттілігі мен жолдағы қауіпсіздік шараларын зерттеу.....	340
Саменов Г. К., Алипбаев Ж. Р., Каражанов А. А., Жаманбаев, Б. У. Болатова А. Б.	
Терең карьерлерде карьерлік жүк көліктерінің оңтайлы жұмыс жағдайларын негіздеу.....	350
Үстемірова Р. С., Тұрдалиев А. Т., Карпов А. П., Майлыбаев Е. К., Камзанов Н. С.	
Екінші сатыдағы пневматикалық ілулі экипаждың бір осьті құрылғысының тербелістерінің математикалық моделін есептеу.....	363

**ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МҰНАЙ-ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ
ХИМИЧЕСКАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
CHEMICAL AND OIL GAS ENGINEERING**

Егимбаев Е. С., Масакбаева С. Р., Бакибаев А. А., Еремеев Д. Н.	
Влияние химических реагентов на процесс очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий.....	377

**ТАМАҚ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУ ПРОИЗВОДСТВО
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
FOOD PRODUCTION**

Satayeva Zh. I., Zhetimkarinov E. D.	
Research of the antler of the reble deer (Cervus Elaphus) Xanthopygus.....	386

Авторлар туралы ақпарат Сведения об авторах Information about the authors.....	398
Авторларға арналған ережелер Правила для авторов Rules for authors.....	433
Жарияланым этикасы Публикационная этика Publication ethics.....	443

МАШИНОСТРОЕНИЕ

МРНТИ 55.57.33 <https://doi.org/10.48081/DUKE7639>

***Б. Қ. АуKENOVA¹, М. В. Дудкин², Б. А. Молдаханов³,
Д. С. Васильков⁴, Ж. А. Старостина⁵**
^{1,2}Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск
³ТОО «Европлюс-Восток», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск
^{4,5}Московский автомобильно-дорожный институт, Российская Федерация, г. Москва
¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>
²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>
³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>
⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5317-2503>
⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3248-513X>
*e-mail: bekzat89a@mail.ru

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА БУЛЬДОЗЕРНОГО
ОТВАЛА С РАЗНОУРОВНЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ
УГЛА ПОВОРОТА БОКОВЫХ СЕКЦИЙ**

В статье выполнен анализ влияния угла резания на объем призмы волочения отвалом с разноуровневым изменением геометрии. Объем транспортируемой призмы волочения едва ли не самый главный показатель производительности и эффективности бульдозеров с различными отвалами, поэтому актуальность темы статьи не вызывает вопросов. Влияние на этот процесс геометрических и монтажных параметров рабочего органа бульдозера до сих пор мало изучен, поэтому представленные в статье методы и подходы к определению объема призмы волочения должны вызвать интерес у профильных специалистов. В статье также представлен математический анализ выбора угла резания в зависимости от грунтовых условий и анализ влияния угла наклона результирующей силы сопротивления копанию на изменение координаты центра давления бульдозера на грунт. Определена зависимость объема призмы волочения от угла резания при копании различного грунта. Выполнен анализ влияния угла установки козырька отвала с разноуровневым изменением геометрии на процесс копания грунта. Выведены аналитические зависимости для определения составляющих сопротивления копанию с учетом влияния угла резания, которые позволяют оптимизировать угол наклона результирующей силы сопротивления копанию в зависимости от геометрических размеров рабочего оборудования, свойств грунта и координаты центра движения бульдозера на грунт. Даны оригинальные выводы. Исследования, связанные с публикацией, финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего

образования Республики Казахстан - грант AP22684640 – «Разработка шарнирно-сочлененной конструкции бульдозерного отвала с разноуровневым изменением геометрии».

Ключевые слова: бульдозер, угол резания, призма волочения, угол наклона отвала, силы сопротивления грунта, боковая секция отвала.

Введение

Процесс накопления и формирования призмы волочения грунта отвалом с разноуровневым изменением геометрии при наблюдении и анализе показал значительное сходство с аналогичным накоплением и формированием призмы грунта сферического отвала, а именно такое же существенное влияние геометрических параметров на остаточное сцепление грунта в призме, на ее высоту, форму и объем. Разработка и вывод математической (аналитической) зависимости, позволяющей определить объем текущей призмы волочения, очень существенен и значим при расчете и анализе величины тягового сопротивления, производительности бульдозера и других показателей эффективности. Разработку вопроса в разное время вели ведущие мировые ученые, в том числе и ученые Казахстана. Среди последних трудов разработки ученых РК Сурашова Н. Т., Молдаханова Б. А., Асматулаева Р. Б., Толымбек Д. Н., Аукеновой Б. К. и других [1–5]. Много исследований по этому вопросу проведено в Московском автомобильно-дорожном институте (МАДИ, МАДГТУ). Это работы Баловнева В. И., Карасева Г. Н., Кустарева Г. В., Савельева А. Г., Доценко А. И., Раденкова Р. Л., Бабаева Т. К. и других [6–8].

Материалы и методы

Выполним анализ влияния угла перемещения боковых секций (угла резания) на объем призмы волочения отвалом с разноуровневым изменением геометрии. При определении объема призмы волочения отвалом с разноуровневым изменением геометрии, как и для других отвалов, практически ни в каких предыдущих исследованиях не учитывается влияние на процесс угла резания. Изменение угла резания путем наклона отвала вызывает изменение объема призмы волочения, который существенно влияет на величину сопротивления копанию, в том числе на сопротивление перемещению призмы волочения и, соответственно, на энергоемкость и производительность.

По данным различных источников доля сопротивления перемещению призмы волочения в общем сопротивлении копанию грунта колеблется в пределах 15–41 %. Козликин В. И. при расчете сил для преодоления сопротивлений призмы волочения рассмотрел в общем виде схемы характерных призм волочения - перед широким и узким бульдозерными отвалами, а также перед совковым отвалом [9].

Однако геометрия призмы волочения у отвала с изменяемым в процессе углом резания отлична по сравнению с принятыми формами. Для частного случая это вызывает необходимость уточнения объема призмы волочения и сопротивлений, возникающих при ее перемещении отвалом бульдозера с учетом изменения угла резания.

Найдем объем призмы волочения при допущении о ее линейной конфигурации при угле резания $\alpha_p = 80^\circ$ (рисунок 1).

$$V_{80} = V_1 + V_2 \quad (1)$$

где V_1 и V_2 – объем грунта с площадью поперечного сечения соответственно треугольников АВМ и ВМС и сегмента, ограниченного прямой ВС и дугой ВС.

Объем грунта с площадью поперечного сечения треугольника может быть определен по зависимости

$$V_1 = \frac{BH^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \rho_0} + 0,1736 \right) \quad (2)$$

где ρ_0 – угол естественного откоса грунта.

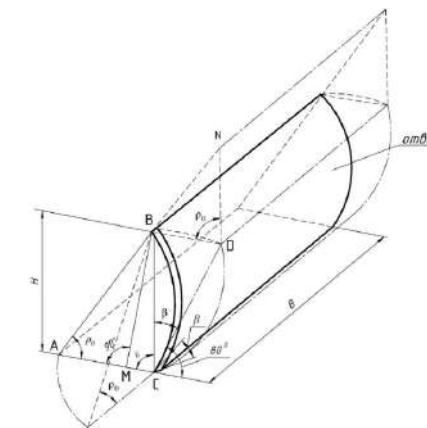
Объем грунта с площадью поперечного сечения сегмента, ограниченного прямой ВС и дугой ВС, определяется

$$R \cong H; \quad \sin \frac{\omega}{2} = \frac{H}{2R}$$

где R – радиус сегмента;

ω – центральный угол сегмента.

$$V_2 = 0,053 \cdot B \cdot H^2 \quad (3)$$



где ΔV – объем грунта с площадью поперечного сечения соответственно треугольников CBD и BND.

$$\Delta V = B \left(\frac{H^2}{2} \cdot \frac{\sin \beta}{0,9698} + \frac{H^2}{2} \cdot \frac{\sin^2 \beta / 2 \cdot \operatorname{tg} \rho_0}{0,9698} \right) \quad (5)$$

где β – угол наклона отвала относительно его положения при $\alpha_\rho = 80^\circ$.

Подставляя в выражение (4) зависимости (2), (3) и (5), после преобразований получим зависимость объема призмы волочения от угла резания при наклоне отвала:

$$V_{\alpha\rho} = \frac{BH^2}{2} \cdot \left[\frac{1}{\operatorname{tg} \rho_0} + 0,3 + \sin \beta + \frac{\operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)}{2} \right] \quad (6)$$

Зависимость объема призмы волочения от угла резания, вычисленная по формуле (6), дана на рисунке 2. Как видно из этой зависимости, объем призмы волочения уменьшается по линейной зависимости при изменении угла резания от 80° до 40° . Похожие выводы были получены украинским ученым Хмарой Л. А. [10].

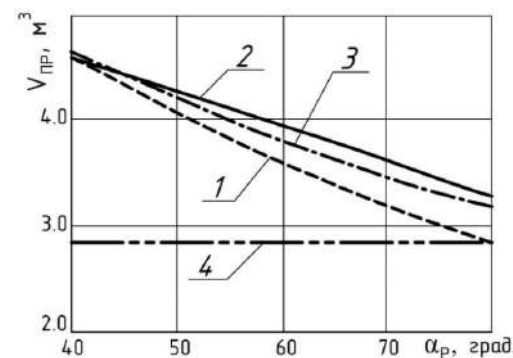


Рисунок 2 – Зависимость объема призмы волочения от угла резания при копании суглинка: 1) теоретическая; 2) Модель,

$K_j = 10$; 3) натура; 4) по формуле $V = \frac{BH^2}{2\operatorname{tg} \rho}$

При уменьшении угла резания от 80° до 40° увеличивается объем призмы волочения в среднем на 55%. Изменение угла резания на 10° в пределах от 80° до 40° вызывает увеличение объема призмы волочения на 1,4%. Такой характер изменения соответствует результатам прежних экспериментальных исследований, проведенных на физической модели, выполненной в масштабе 1:10, пересчитанных на натуру. Расхождение указанных результатов не превышает 10 %, что позволяет сделать вывод об идентичности характера изменения теоретических и экспериментальных кривых $V_{\text{пр}} = f(\alpha_\rho)$ и свидетельствует о правильности исходных предпосылок (гипотез).

Результаты и обсуждение

Результаты математического анализа выбора угла резания в зависимости от грунтовых условий. Бульдозерное оборудование с разноуровневым изменением геометрии и угла резания в зависимости от режимов работы и физико-математических свойств грунта позволяет улучшить тягово-сцепные качества базовой машины за счет рационального изменения угла наклона результирующей сопротивления копанию и снизить удельную энергоёмкость процесса копания, а также уменьшить количество включений системы управления увеличить рабочую скорость (рисунок 3). В связи с этим вызывает интерес оптимизация углов резания на конечном наиболее энергоёмком этапе копания, когда происходит перемещение максимального объема призмы волочения с одновременным подрезанием грунта в зависимости от прочностных свойств грунта.



Рисунок 3 – Бульдозерное оборудование с изменяемым углом резания и разноуровневым изменением геометрии

На основании анализа рабочего процесса копания грунта отвалом бульдозера с разноуровневым изменением геометрии, установлены граничные условия:

$$P_v \rightarrow 0; \quad P_r + P_b \leq T$$

где P_v – вертикальная составляющая сопротивления копанию;

P_r – горизонтальная составляющая сопротивления копанию;

P_b – сопротивление перемещению самого бульдозера;

T – максимально возможная тяга бульдозера по сцеплению.

Данное условие характеризует один из режимов работы бульдозера, например, работу отвала в плавающем положении при производстве планировочных работ и перемещении грунта по относительно ровным поверхностям. Отсутствие вертикальных нагрузок на отвал ($P_v = 0$) позволяет повысить качество планировочных работ и увеличить рабочую скорость, а соблюдение требования

$P_r + P_b \leq T$ позволяет определить режим работы, когда тяговые возможности бульдозера используются максимально.

Зависимость угла резания α_p от прочности разрабатываемого грунта для отвалов бульдозеров тягового класса 30–350 кН при соблюдении граничных условий представлена на рисунке 4.

Рост прочности грунта $C_{уд}$ при соблюдении указанных условий вызывает уменьшение угла резания. Диапазон изменения углов резания на конечном этапе копания при соблюдении граничных условий равен $40 - 80^\circ$ в зависимости от тягового класса бульдозера.

На рисунке 5 показана зависимость отношения вертикальной и горизонтальной составляющих сопротивления копанию от угла резания при работе бульдозера тягового класса 100 кН на грунтах прочностью $C_{уд}$ равным 2–16 ударов.

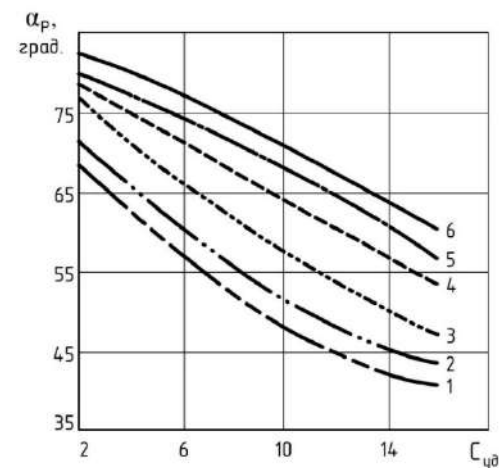


Рисунок 4 – Зависимость угла резания α_p от прочностных свойств грунта $C_{уд}$ при соблюдении граничных условий $P_v \rightarrow 0; P_g \leq T$: 1) $T=30$ кН; 2) $T=50$ кН; 3) $T=100$ кН; 4) $T=150$ кН; 5) $T=250$ кН; 6) $T=350$ кН

Этот график представляет собой интерес с практической точки зрения, так как позволяет определить конструктивный параметр бульдозера – диапазон изменения угла резания, при котором вертикальные нагрузки на рабочий орган, в данном случае это отвал с разноуровневым изменением геометрии, равны нулю в условиях работы на различных грунтах.

С увеличением угла резания величина коэффициента K_w уменьшается и принимает нулевое значение для грунта $C_{уд} = 16 - 48^\circ, C_{уд} = 12 - 56^\circ, C_{уд} = 6 - 67^\circ, C_{уд} = 2 - 74^\circ$.

При достижении полного снижения трения на лобовой поверхности отвала представленные выше значения необходимо увеличить на 5–10 %. Полученные результаты позволяют в зависимости от условий эксплуатации выбирать оптимальный угол резания, как при традиционном копании, так и при различных методах, обеспечивающих снижение трения грунта об отвал (рисунок 5).

Аналитические зависимости для определения составляющих сопротивления копанию с учетом влияния угла резания. Горизонтальная составляющая сопротивления перемещению призмы волочения, действующая на элемент поверхности скольжения, определяется следующим образом [11; 12]:

$$dP_{pr} = \sigma_p \cdot \cos\left(\frac{\omega}{2} - \varphi\right) \cdot dl \cdot dZ \quad (7)$$

$$dl = R \cdot d\varphi \quad (8)$$

где σ_p – нормальное напряжение, возникающее на рассматриваемой поверхности с учетом изменения объема призмы волочения от изменения угла резания;

ω – центральный угол цилиндрической поверхности, град;

φ – текущий угол, определяющий положение элемента на поверхности, град;

R – радиус кривизны поверхности.

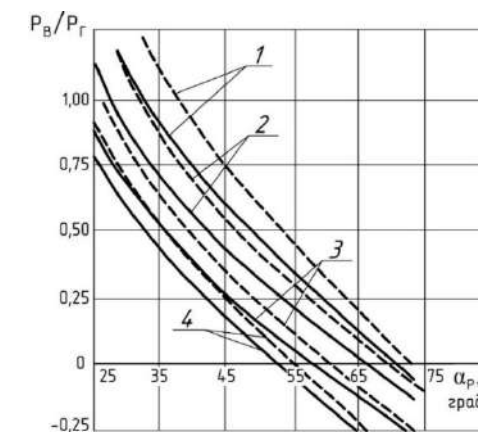


Рисунок 5 – Зависимость величины $K_w = P_v/P_g$ от угла резания α_p при работе бульдозера $T=100$ кН на различных грунтах: 1) $C_{уд}=2$; 2) $C_{уд}=6$; 3) $C_{уд}=12$; 4) $C_{уд}=15$. — Традиционное копание; - - - - - копание при полном снижении трения грунта об отвал

Для частного случая, когда $\alpha_p = 90^\circ$, формула для определения напряжений на поверхности стенки имеет вид:

$$\sigma_p = \cos^2 \rho \cdot \gamma \cdot X + P(9)$$

где X – текущая координата по вертикали;

ρ – внешнее давление, равномерно распределенное по внешней поверхности грунта.

Для частного случая, когда $V_{pr} = f(\alpha_p)$, изменение объема призмы волочения V_{pr} может быть учтено введением условной величины P , которая определяется

как горизонтальная составляющая нормального напряжения, возникающего на поверхности скольжения от дополнительной массы грунта.

Дополнительное нормальное напряжение определяется по формуле

$$P = \frac{P_H}{F} \quad (10)$$

где P_H – нормальное давление от дополнительной массы грунта;

F – площадь поверхности отвала с разноуровневым изменением геометрии, равная $F \cong B \cdot H$.

Учитывая зависимость (5), определяющую рост объема призмы волочения с уменьшением угла резания

$$P = \frac{V'_{pr} \cdot \gamma_r}{B \cdot H \cdot \sin \beta} \quad (11)$$

где V'_{pr} – дополнительный объем призмы волочения, определяемый по формуле (5);

β – угол изменения угла резания в сторону уменьшения, относительно значения $\alpha_r = 80^\circ$.

$$P = \frac{H \cdot \gamma_r \cdot [\sin \beta + \operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)]}{2 \sin \beta} \quad (12)$$

Подставляя зависимость (12) в формулу для определения напряжений на поверхности стенки с учетом изменения объема призмы волочения от угла резания, получим:

$$\sigma_p = \cos^2 \rho \cdot \gamma_r \cdot X + \frac{H \cdot \gamma_r \cdot [\sin \beta + \operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)]}{2 \sin \beta} \quad (13)$$

При переходе к системе координат X и Y (рисунок 6) формула (7) принимает следующий вид:

$$dP_{pr} = \cos^2 \rho \cdot \gamma_r \cdot \left(X + \frac{H}{2} \right) + \frac{H \cdot \gamma_r \cdot [\sin \beta + \operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)]}{2 \sin \beta} \cdot R \cos \left(\frac{\omega}{2} - \varphi \right) \cdot d\varphi \cdot dZ \quad (14)$$

$$\text{где } X = R \cdot \sin \left(\varphi - \frac{\omega}{2} \right) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} dP_{pr} = & \left\{ \cos^2 \rho \cdot \gamma_r \cdot \left[R \cdot \sin \left(\varphi - \frac{\omega}{2} \right) + \frac{Y}{2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{H \cdot \gamma_r \cdot [\sin \beta + \operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)]}{2 \sin \beta} \right\} \cdot R \cdot \cos \left(\frac{\omega}{2} - \varphi \right) d\varphi \cdot dZ \end{aligned} \quad (16)$$

Полная величина горизонтальной составляющей сопротивления призмы волочения:

$$\begin{aligned} R_{pr} = & \gamma_r \cdot R \int_0^B \int_0^\omega \left[\cos^2 \rho \cdot \left\{ R \cdot \sin \left(\varphi - \frac{\omega}{2} \right) + \frac{P}{2} \right\} + \right. \\ & \left. + \frac{H \cdot \gamma_r \cdot [\sin \beta + \operatorname{tg} \rho_0 \cdot (1 - \cos \beta)]}{2 \sin \beta} \right] \cdot \cos \left(\frac{\omega}{2} - \varphi \right) \cdot d\varphi \cdot dZ \end{aligned} \quad (17)$$

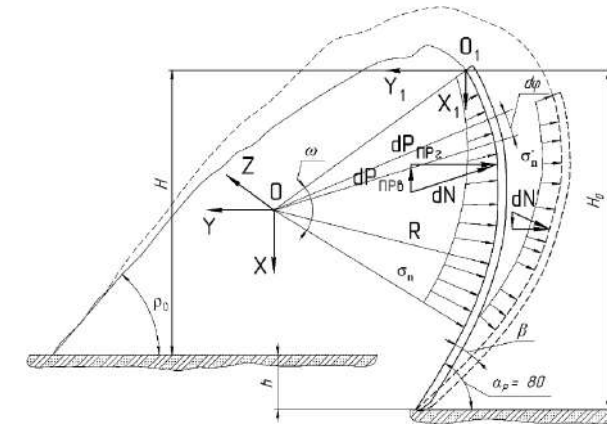


Рисунок 6 – Расчетная схема для определения сопротивления перемещению призмы волочения перед отвалом с разноуровневым изменением геометрии

После интегрирования и соответствующих преобразований, принимая во внимание, что $\sin \frac{\omega}{2} = \frac{H}{2R}$ получим:

$$P_{pr} = \frac{B \cdot H^2}{2} \cdot \gamma_r \cdot \left[\frac{3}{4} \cdot \cos^2 \rho + 1 + \frac{\operatorname{tg} \rho_0 (1 - \cos \beta)}{\sin \beta} \right] \quad (18)$$

Подставляя полученную зависимость в формулу определения горизонтальной составляющей сопротивления копания для плоского ножа с цилиндрическим отвалом постоянной кривизны, предложенную В. И. Баловневым [6, стр. 87], вместо составляющей сопротивления перемещению призмы волочения получим следующую формулу, которая учитывает влияние угла резания на сопротивление перемещению призмы волочения:

$$P_g = A_\alpha \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left[\frac{\gamma \cdot l}{2} + c\omega \cdot ctg\rho \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + \right. \\ \left. + tgp\rho \cdot \frac{\gamma_r \cdot \cos^2\rho \cdot H^2}{k\psi h} + \gamma_r \cdot H \right] + \frac{BH^2}{2} \gamma_r \left[\frac{3}{4} \cos^2\rho + 1 + \frac{tg\rho_0(1-\cos\beta)}{\sin\beta} \right] \quad (19)$$

Установлено, что для бульдозеров тягового класса 100 кН при условии смещения центра давления на грунт более $\pm 1/6$ длины опорной поверхности гусениц величина угла резания находится в пределах $70-47^\circ$. В начале процесса копания угол резания необходимо устанавливать равным 70° с последующим изменением в процессе копания до 45° .

Информация о финансировании

Исследования, связанные с публикацией, финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК - грант AP22684640 – «Разработка шарнирно-сочлененной конструкции бульдозерного отвала с разноуровневым изменением геометрии».

Выводы

Полученные аналитические зависимости (6) и (13) позволяют произвести оценку влияния угла резания и физико-механических свойств грунтов соответственно на объем и сопротивление перемещению призмы волочения грунта и могут быть использованы для расчета производительности и тягового расчета бульдозера с изменяемым углом резания.

Выявленные закономерности (18), (19) позволяют оптимизировать угол наклона результирующей сопротивления копанию в зависимости от геометрических размеров рабочего оборудования, свойств грунта и координаты центра движения бульдозера на грунт.

Для проверки корректности принятых допущений, достоверности аналитических зависимостей и обоснования рациональных углов резания и диапазона их изменения в процессе копания, а также областей их применения необходимо проведение полных экспериментальных исследований процесса копания грунта отвалами с изменяемым в процессе копания углом резания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сурашов, Н. Т., Асматулаев, Р. Б., Толымбек, Д. Н. Определение оптимальных конструктивных параметров отвала бульдозера. Вестник СибАДИ, том 19, № 4, 2022. – Омск : СибАДИ. – 2022. – С. 500–513.

2 Сурашов, Н. Т., Асматулаев, Р. Б., Толымбек, Д. Н. Определение рациональной формы отвала бульдозера с учетом грунтового фона Республики Казахстан. Вестник СибАДИ, том 18, № 6, 2021. – Омск : СибАДИ. – 2021. – С. 662–677.

3 Ауменова, Б. Қ. Обоснование параметров и разработка конструкции отвала с изменяемой геометрией для бульдозера-террасера: Дис. PhD. – Алматы.: КазННТУ, 2024. – 155 с.

4 Ауменова, Б. Қ., Раденков, Р. Л., Савельев, А. Г., Кумыкова, Т. М., Дудкин, М. В., Курмангалиев, Т. Б. Оборудование бульдозера-террасера. Патент на полезную модель РК № 7055. Оpubл. 29.04.2022, бюл. № 17. – 4 с. [Электронный ресурс]. – <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=35484>. Дата обращения 12.09.2023

5 Ауменова, Б. Қ., Молдаханов, Б. А., Дудкин, М. В. Бульдозерлі кайырмамен қазуға қарсылық күшіне әсер ететін кесу және ұстау бұрыштарын анықтау. Қазақстан ғылымы мен техникасы. – № 3, 2024. – С. 6–17.

6 Баловнев, В. И. Определение оптимальных параметров и выбор дорожно-строительных машин методом анализа четвертой координаты: учеб. пособие/ В. И. Баловнев. – М. : МАДИ, 2014. – 180 с.

7 Карасев, Г. Н., Доценко, А. И., Кустарев, Г. В. «Машины для земляных работ». – М. : Бастет. – 2012. – 688 с.

8 Бабаев, Т. К. Обоснование рациональных параметров и разработка конструкции дополнительного бокового отвала, расположенного вне опорной плоскости гусеничного бульдозера. Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 - дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины: – М: МАДИ, 2021. – 159 с.

9 Козликин, В. И. Исследование процессов копания и транспортирования грунта бульдозерными отвалами сферического типа: Дисс. к.т.н. – М. : МАДИ, 1980 – 196 с.

10 Хмара, Л. А., Крекнин, К. А. Формирование конструкций бульдозерных отвалов с боковыми секциями. Техніка будівництва. – № 24, 2010. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2010. – С. 4–8.

11 Doudkin, M., Kim, A., Aukanova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N. Experimental Studies on the Interaction Process with the Environment of an Adaptable Bulldozer Blade with Variable Geometry. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol. 15. – №. 11. – 2021. – P. 554–565. – <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i11.21756>

12 Doudkin, M., Kim, A., Aukanova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N. Theoretical investigations of the process of interaction with the environment of a bulldozer blade with variable geometry. Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 20. – № 3. – 2022. – 986, P. 798–807. – <https://doi.org/10.5937/jaes0-37210>

REFERENCES

- 1 **Surashov, N. T., Asmatulaev, R. B., Tolymbek, D. N.** Opredeleniye optimal'nykh konstruktivnykh parametrov otvala bul'dozera [Determination of optimal design parameters of a bulldozer blade]. SibADI Bulletin, Volume 19. – № 4. – 2022. Omsk: SibADI, 2022. – P. 500–513.
- 2 **Surashov, N. T., Asmatulaev, R. B., Tolymbek, D. N.** Opredeleniye ratsional'noy formy otvala bul'dozera s uchetom gruntovogo fona Respubliki Kazakhstan [Determination of the rational shape of a bulldozer blade taking into account the soil background of the Republic of Kazakhstan]. SibADI Bulletin, Volume 18, № 6. – 2021. Omsk: SibADI, 2021. – P. 662–677.
- 3 **Aukenova, B. K.** Obosnovaniye parametrov i razrabotka konstruktсии otvala s izmenyayemoy geometriyey dlya bul'dozera-terrasera [Substantiation of parameters and design development of a blade with variable geometry for a bulldozer-terraser]: PhD thesis. Almaty : KazNITU, 2024. – 155 p.
- 4 **Aukenova, B. K., Radenkov, R. L., Savel'ev, A. G., Kumykova, T. M., Dudkin, M. V., Kurmangaliev, T. B.** Oborudovanie bul'dozera-terrasera [Equipment of the bulldozer-terraser]. The patent for the utility model of the Republic of Kazakhstan No. 7055. Publ. 04/29/2022, byul. № 17–4 p.
- 5 **Aukenova, B. K., Moldakhanov, B. A., Dudkin, M. V.** Determination cutting and grip angles affecting force of digging resistance with bulldozer blade. Science and technology of Kazakhstan. № 3, 2024. – P. 6–17.
- 6 **Balovnev, V. I.** Opredeleniye optimal'nykh parametrov i vybor dorozhno-stroitel'nykh mashin metodom analiza chetvertoy koordinaty [Determination of optimal parameters and selection of road construction machines by analyzing the fourth coordinate]: textbook. manual / V. I. Balovnev. – M. : MADI, 2014. – 180 p.
- 7 **Karasev, G. N., Dotsenko, A. I., Kustarev, G. V.** «Mashiny dlya zemlyanykh rabot» [«Machines for earthworks»], M.: Bastet, 2012, 688 p.
- 8 **Babaev, T. K.** Obosnovaniye ratsional'nykh parametrov i razrabotka konstruktсии dopolnitel'nogo bokovogo otvala, raspolozhennogo vne opornoy ploskosti gusenichnogo bul'dozera [Justification of rational parameters and design development of an additional side dump located outside the reference plane of a tracked bulldozer]. Dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.04 – dorozhnyye, stroitel'nyye i pod'yomno-transportnyye mashiny: – M : MADI, 2021. – 159 p.
- 9 **Kozlikin, V. I.** Issledovaniye protsessov kopaniya i transportirovaniya grunta bul'dozernymi otvalami sfericheskogo tipa [Study of the processes of digging and transporting soil with spherical bulldozer blades]: Diss. Ph.D. – M. : MADI, 1980 – 196 p.
- 10 **Khmara, L. A., Kreknin, K. A.** Formirovaniye konstruktсий bul'dozernykh otvalov s bokovymi sektsiyami [Formation of structures of bulldozer dumps with side sections]. Tekhnika budivnitva. № 24, 2010. – Dnepropetrovsk: PGASA. – 2010. – P. 4–8.

- 11 **Doudkin, M., Kim, A., Aukenova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N.** Experimental Studies on the Interaction Process with the Environment of an Adaptable Bulldozer Blade with Variable Geometry. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol. 15. – № 11. – 2021. – P. 554–565. – <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i11.21756>
- 12 **Doudkin, M., Kim, A., Aukenova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N.** Theoretical investigations of the process of interaction with the environment of a bulldozer blade with variable geometry. Journal of Applied Engineering Science, Vol.20, № 3. – 2022. – 986, P. 798–807. – <https://doi.org/10.5937/jaes0-37210>

Поступило в редакцию 17.01.25.

Поступило с исправлениями 23.01.25.

Принято в печать 05.02.2025.

**Б. Қ. Ауменова¹, М. В. Дудкин², Б. А. Молдаханов³,
Д. С. Васильков⁴, Ж. А. Старостина⁵*

^{1,2}Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

³«Европлюс-Восток» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

^{4,5}Мәскеу автомобиль-жол институты, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.
17.01.25 ж. баспаға түсті.

23.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

БҮЙІРЛІК БӨЛІМДЕРДІҢ АЙНАЛУ БҰРЫШЫНЫҢ КӨП ДЕҢГЕЙЛІ ГЕОМЕТРИЯСЫ БАР БУЛЬДОЗЕР ҚАЙЫРМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

Мақалада кесу бұрышының геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен қайырмамен сызу призмасының көлеміне әсері талданады. Тасымалданатын сызу призмасының көлемі әр түрлі қайырмалары бар бульдозерлердің өнімділігі мен тиімділігінің ең маңызды көрсеткіші болып табылады, сондықтан мақала тақырыбының өзектілігі сұрақтар туғызбайды. Бульдозердің жұмыс органының геометриялық және монтаждық параметрлерінің осы процеске әсері әлі күнге дейін аз зерттелген, сондықтан мақалада ұсынылған сүйреу призмасының көлемін анықтауға арналған әдістер мен тәсілдер мамандандырылған мамандардың қызығушылығын тудыруы керек. Сондай-ақ, мақалада жер жағдайларына байланысты кесу бұрышын таңдаудың математикалық талдауы және қазуға төзімділік күшінің көбеу бұрышының жерге бульдозер қысымының центрінің өзгеруіне әсерін талдау келтірілген. Әртүрлі топырақтарды қазу кезінде сүйреу призмасының көлемінің кесу бұрышына тәуелділігі анықталды. Топырақ қазу процесіне геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен қайырманы орнату бұрышының әсерін талдау жасалды. Жұмыс жабдығының геометриялық өлшемдеріне, топырақ қасиеттеріне

және координаттарына байланысты алынған қазу кедергісінің көлбеу бұрышын оңтайландыруға мүмкіндік беретін кесу бұрышының әсерін ескере отырып, қазу кедергісінің құрамдастарын анықтау үшін аналитикалық тәуелділіктер алынды. жердегі бульдозердің қозғалыс орталығының. Түпнұсқа тұжырымдар берілген. Басылымға байланысты зерттеулерді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады – AP22684640 «Көп деңгейлі геометриялық өзгерісі бар бульдозер қайырмасының топсалы-буындасқан құрылымын әзірлеу» гранты».

Кілтті сөздер: бульдозер, кесу бұрышы, сызу призмасы, пышақтың көлбеу бұрышы, топырақтың қарсылық күштері. пышақтың бүйірлік бөлімі.

*B. K. Aukenova¹, M. V. Dudkin², B. A. Moldakhanov³,

D. S. Vasilkov⁴, Zh. A. Starostina⁵

^{1,2}D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

³LLP «Europlus-Vostok», Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

^{4,5}Moscow Automobile and Road Institute, Russian Federation, Moscow

Received 17.01.25.

Received in revised form 23.01.25.

Accepted for publication 05.02.25.

METHOD FOR CALCULATING A BULLDOZER BLADE WITH A MULTI-LEVEL GEOMETRY OF THE ANGLE OF ROTATION OF THE SIDE SECTIONS

The article analyzes the effect of the cutting angle on the volume of the blade drawing prism with a multi-level geometry change. The volume of the transported drawing prism is perhaps the most important indicator of the productivity and efficiency of bulldozers with various dumps, so the relevance of the topic of the article does not raise any questions. The influence of geometric and mounting parameters of the working body of a bulldozer on this process is still poorly understood, therefore, the methods and approaches presented in the article to determine the volume of the drawing prism should be of interest to specialized specialists. The article also presents a mathematical analysis of the choice of cutting angle depending on soil conditions and an analysis of the effect of the angle of inclination of the resulting digging resistance force on the change in the coordinate of the center of pressure of the bulldozer on the ground. The dependence of the volume of the drawing prism on the cutting angle when digging various soils has been determined. The analysis of the influence of the angle of installation of the blade visor with a multi-level change in geometry on the process of digging the soil has been performed. Analytical dependencies have been derived to determine the components of digging resistance, taking into account the influence of the cutting angle, which allow optimizing the angle of inclination of the resulting digging resistance depending on the geometric dimensions of the working equipment, soil properties and the coordinates of the center of movement of the bulldozer on the ground. Original conclusions are given. The research related to the publication is funded by the Science Committee of the

Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan - grant AP22684640 – «Development of an articulated design of a bulldozer blade with a multi-level geometry change».

Keywords: bulldozer, cutting angle, drawing prism, blade tilt angle, ground resistance forces. side section of the blade.

**С. Р. Байгереев¹, * А. Д. Сулейменов²,
Г. А. Гурьянов³, К. Н. Жаксалыков⁴**

^{1,3}Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

^{2,4}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3657-3735>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1659-6051>

*e-mail: Ansar_muslim_91@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

На сегодняшний день повышение тонины помола различных материалов является одной из актуальных задач. Среди технологического оборудования для измельчения материалов классические шаровые мельницы являются наиболее распространенными. Однако, по результатам исследований в данной области, было установлено, что существует ряд конструктивных факторов, препятствующих повышению эффективности помола в шаровых измельчителях.

Для решения поставленной задачи, в данной статье предложена новая конструкция шаровой мельницы, основанная на усовершенствованных вариантах классической конструктивной версии шаровых измельчителей. Новизна конструкции заключается в разработке инновационной формы камеры помола V-образного типа.

Для оценки эффективности предлагаемой конструкции измельчителя проведены экспериментальные исследования при разных режимах работы измельчителя с применением разработанной лабораторной установки.

Для прогнозирования результатов помола авторами выведено уравнение регрессионной модели, основанной на данных эксперимента.

Результаты исследований показали, что новая конструкция шаровой мельницы позволяет получить продукт измельчения в большей удельной поверхностью (4946 см²/г) по сравнению с известными прототипами (около 3600 см²/г).

Таким образом, новая конструкция шаровой мельницы может быть использована для применения в сферах производства, в которых требуется материалы с высокой удельной поверхностью.

Ключевые слова: мельница, измельчение, удельная поверхность, вибрация, удар, истирание.

Введение

Шаровые мельницы – это один из самых распространенных типов оборудования для измельчения, использующих ударно-истирающий принцип разрушения. Их популярность объясняется простой конструкцией и высокой эффективностью, достигаемой благодаря использованию мелющих тел, которые усиливают эффект разрушения частиц материала.

По конструкции шаровые барабанные мельницы представляют собой цилиндрические барабаны, заполненные мелющими телами (рисунок 1а). Результаты анализа существующих конструкций шаровых мельниц показывают, что данный вид мельниц обеспечивает максимальную тонкость помола - 954 см²/г [1]. При вращении барабана смесь измельчаемого материала и мелющих тел, вращаясь по круговой траектории вместе с барабаном, отрывается от стенок и падает по параболической траектории (рисунок 1б). При этом частицы, находящиеся на поверхности, подвергаются силовому воздействию шаров со скоростью $\bar{V}$ (рисунок 1в) [2, 3, 4].

Энергия характеризующая процесс разрушения частиц (кинетическая энергия) в данном случае определяется формулой

$$E_k = \frac{mV^2}{2} \quad (1)$$

Из формулы (1) кинетическая энергия зависит от массы и скорости мелющих тел.

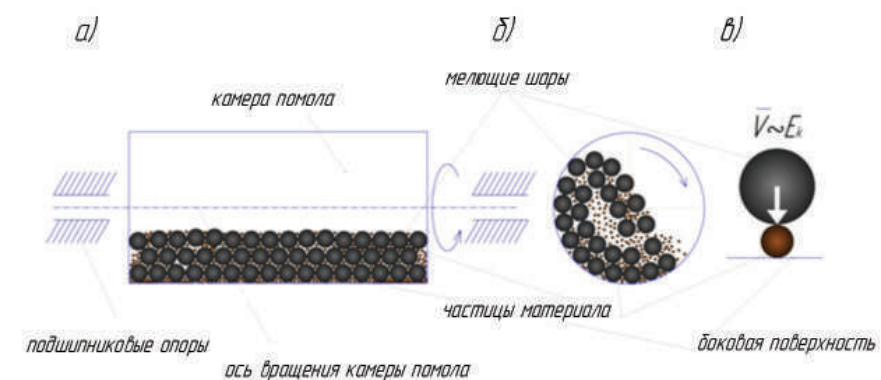


Рисунок 1 – а) Барабанная шаровая мельница;
б) Движение мелющих тел в шаровой мельнице;
в) Схема разрушения частиц

В настоящее время во многих сферах производства возникает необходимость в применении частиц материала очень малого размера. В этой связи повышение эффективности работы шаровых мельниц для достижения сверхтонкого помола является актуальной задачей [5].

Тонкость помола зависит от силы удара и истирания частиц с мелющими телами [6], которые во многом определяются скоростью движения мелющих тел до столкновения. Из этого следует, что увеличение удельной поверхности частиц возможно за счет повышения скорости движения мелющих тел, т.е. энергии столкновения. Известно, что одним из способов повышения энергии столкновения является увеличение скорости вращения барабана шаровой мельницы [7]. Однако, это приводит к противоположному эффекту, т.е. при увеличении скорости вращения барабана возникающая при этом центробежная сила превышает значение гравитационной силы, которая способствует падению и, соответственно, столкновению мелющих тел. В этом случае мелющие тела собираются в периферийной части камеры, что приводит к снижению подвижности и интенсивности циркуляции загрузки и, соответственно, энергии столкновения [8].

На рисунке 2 представлен один из вариантов усовершенствования конструкции шаровых мельниц, который заключается во внедрении дополнительного углового параметра α между продольной осью камеры измельчения и горизонталью [9].

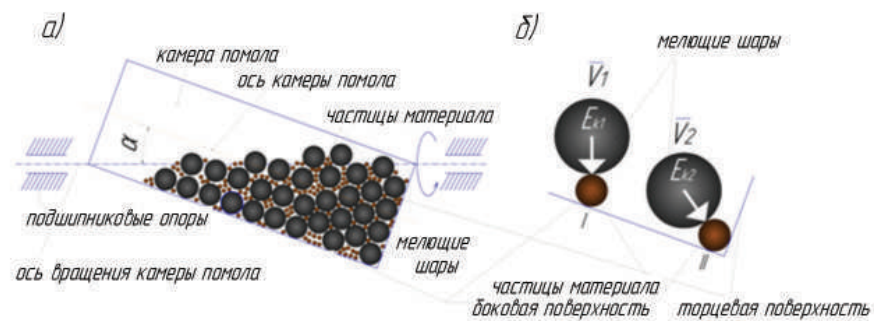


Рисунок 2 – а) Шаровая мельница с наклонной камерой [9]
б) Схема разрушения частиц

В данном случае обеспечивается сложное движение загрузки за счет возможности движения мелющих тел и частиц материала в продольном направлении. В отличие от классической конструкции шаровой мельницы в рассматриваемой машине обеспечена дополнительная возможность движения загрузки в продольном направлении. Как следствие, количество направлений действия увеличивается при аналогичной силовой нагрузке как в классической шаровой мельнице. Как видно из схемы (рисунок 2б) частица испытывает последовательно вертикальное (I) со скоростью V_1 и продольное (II) со скоростью V_2 воздействие мелющих шаров. Недостатками данной конструкции является недостаточная сила удара мелющих тел, необходимой для получения требуемого значения удельной поверхности.

Усовершенствованным вариантом предыдущей конструкции (рисунок 2) шаровой мельницы является измельчитель, изображенный на рисунке 3а [10].

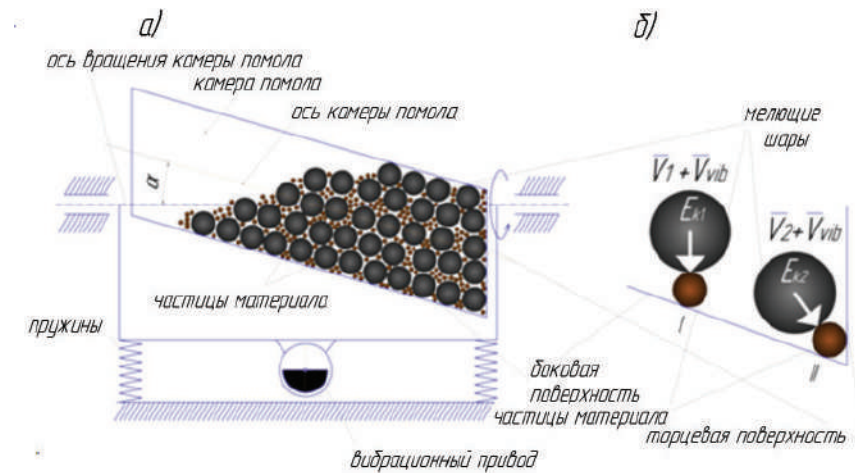


Рисунок 3 – а) Шаровая мельница с наклонной камерой вибровращательного типа [10]; б) Схемы разрушения частиц

В данной мельнице движущиеся мелющие тела описывают, как и в предыдущей конструкции, сложную траекторию в результате одновременного поступательно-вращательного, а также, дополнительно, колебательного движения камеры в вертикальном направлении. Это обеспечивает высокоскоростное последовательное вертикальное (I) со скоростью $V_1 + V_{vib}$ и продольное (II) движение мелющих тел с массой m со скоростью $V_2 + V_{vib}$ по сравнению со схемой изображенной на рисунке 2. Указанная траектория обеспечивается за счет наклонного расположения камеры в сочетании с вертикальной вибрационной нагрузкой и сообщением мелющим телам дополнительной скорости V_{vib} в вертикальном направлении, что в итоге увеличивает сообщаемую частице энергию разрушения. При этом составляющие энергии разрушения увеличивается в вертикальном E_{k1} и продольном E_{k2} направлениях (рисунки 1б).

Энергии E_{k1} и E_{k2} могут быть определены по следующим формулам

$$E_{k1} = \frac{m(V_1 + V_{vib})^2}{2} \quad (2)$$

$$E_{k2} = \frac{m(V_2 + V_{vib})^2}{2} \quad (3)$$

В результате повышается эффективность помола, которая может быть выражена в увеличении степени измельчения, приросте удельной поверхности. Автором исследования [11] экспериментально получена тонкость измельчения кварцевого песка - 3600 $\text{см}^2/\text{г}$.

Недостатками данной мельницы является низкая скорость продольного перемещения материала при высоких скоростях вращения камеры, что приводит к снижению полезного влияния на процесс измельчения как продольного

перемещения материала, так и динамической составляющей нагружения в продольном направлении, характеризующихся силами удара и истирания.

Устранить недостаток и повысить эффективность помола можно обеспечить за счет увеличения скорости продольного перемещения материала при увеличении скорости вращения камеры, которая в свою очередь может быть повышена за счет уменьшения пути продольного перемещения и увеличении частоты соударений в единицу времени путем изменения формы корпуса камеры помола. Это позволит повысить полезное влияние на процесс измельчения продольного перемещения материала и динамической составляющей нагружения в продольном направлении, выраженных через величину сил удара и истирания.

В данной статье мельница изображенный на рисунке 3 принят в качестве мельницы-прототипа.

Исходя из высказанного предположения и основываясь на известных технических решениях совершенствования конструкций шаровых мельниц [ссылки], авторами данной статьи предложена новая конструкция измельчителя [12], особенность которой заключается в обеспечении короткоходового высокочастотного встречного движения мелющих тел в сочетании с вибрационно-вращательной нагрузкой (рисунок 4а). Это обеспечивается применением новой V-образной формы камеры из двух цилиндрических секций. В данной мельнице длина секции камеры сравнительно меньше по сравнению с известными конструкциями шаровых мельниц, что уменьшает величину продольного перемещения загрузки и позволяет увеличить скорость вращения камеры помола, обеспечивая при этом высокочастотное встречное столкновение мелющих тел. Отличительной особенностью данной конструкции является создание в камере измельчения зоны повышенной энергонапряженности, расположенной на участке соединения секций камеры, где создаются повышенные энергетические воздействия на измельчаемый материал со стороны мелющих тел. Повышение энергии разрушения достигается за счет обеспечения удвоенных продольных скоростных воздействий мелющих тел на частицу при положении камеры помола как показано на рисунке 4б. В данном случае общая продольная энергия разрушения на участке соединения секций камеры (I) будет определяться по следующей формуле

$$E_{k\ II} = 2 \left(\frac{m(V_2 + V_{vib})^2}{2} \right)$$

а на наклонных участках камеры помола (II) энергия разрушения будет соответствовать формуле (2), как в предыдущей конструкции.

В случае симметричного расположения камеры схема разрушения частицы будет соответствовать схеме рисунка 3.

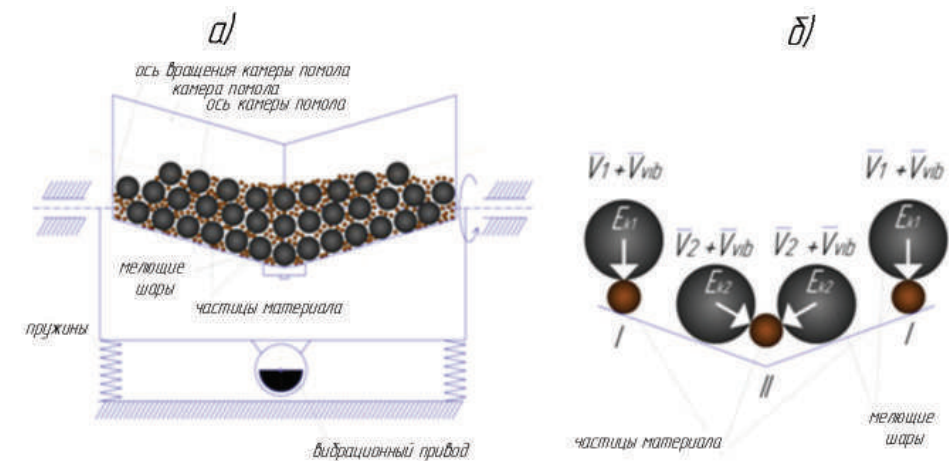


Рисунок 4 – а) Принципиальная схема новой шаровой мельницы V-образной формы [12]; б) Схема удара мелющего тела и частицы

Реализация вышеизложенных принципов предположительно при увеличении силы соударения должна привести к повышению эффективности процесса измельчения в шаровой комбинированной вибрационно-вращательной мельнице. В связи со сложностью протекания процесса измельчения, проверка эффективности данной гипотезы теоретическим путем является затруднительной. Следовательно, наиболее целесообразным в данном случае является экспериментальный метод проверки.

Таким образом, целью данной работы является экспериментальная проверка и оценка эффективности новой конструкции шаровой мельницы, а также сравнение результатов экспериментальных исследований с мельницей-прототипом [11].

Материалы и методы

Для проведения экспериментальных исследований эффективности нового измельчителя, авторами разработан лабораторный стенд (рисунок 5), геометрические параметры которого идентичны параметрам мельницы-прототипа: коэффициент заполнения мелющими телами – 0,6, коэффициент заполнения материалом – 0,14, диаметре мелющих тел – 25-35 мм.

Экспериментальная установка представляет собой сварную металлическую конструкцию, состоящую из двух частей – подвижной и неподвижной рамы.

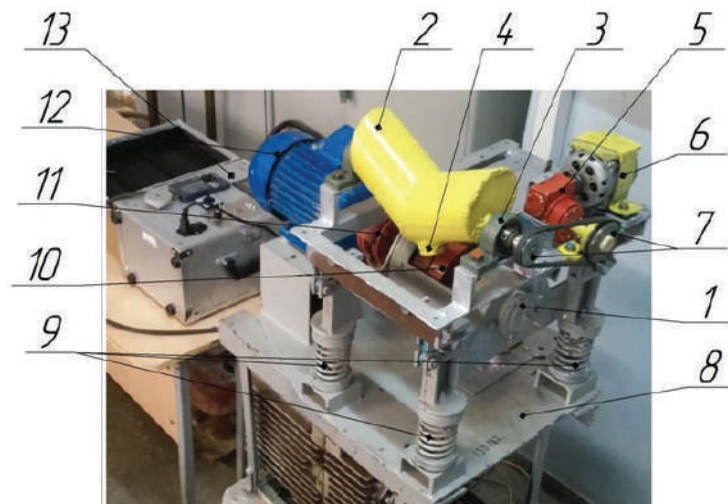


Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Подвижная рама 1, на которой установлена V-образная камера помола 2 на опорах 3 с самоцентрирующимися подшипниками с возможностью вращения, заполнена мелющими телами, которые представляют собой стальные шары. Камера помола 2 выполнена V-образной формы из двух цилиндрических секций, торцевые поверхности перпендикулярны оси вращения камеры, а боковые цилиндрические поверхности каждой секции цилиндра установлены под углом 25° к горизонтальной поверхности рамы 1, значение которого выбрано на основании проведенных предварительных экспериментальных исследований [13].

В камере помола предусмотрен загрузочный люк 4. Загрузочный люк закрыт крышкой. Камера помола 2 установлена на подшипниковых опорах 3, что позволяет ей с помощью червячного редуктора 5 и электродвигателя 6, находящегося также на подвижной раме 4, и клиноременной передачи 7 вращаться вокруг горизонтальной оси. В свою очередь, подвижная рама 1, опирается на неподвижную раму 8 через упругие элементы 9 (стальные пружины). А также, на подвижной раме 1 закреплены два дебаланса 10, которые через эластичную муфту 11 и электродвигатель 12, создают круговые вибрационные колебания. Регулировка частоты вращения помольной камеры производилась посредством замены шкивов клиноременной передачи. Амплитуда колебаний изменялась положением двух дебалансов по отношению друг к другу. Диапазон частоты вибрации камеры помола изменялся за счет изменения частоты вращения дебалансов с помощью частотного преобразователя 13. Измерение удельной поверхности частиц производилось с помощью прибора ПСХ-10.

При проведении экспериментальных исследований часто применяется планирование эксперимента, т.е. комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов, основной целью которого является достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов. Планирование

эксперимента во многих случаях позволяет найти оптимальные условия функционирования объекта исследования (в данном случае – предлагаемого измельчителя тонкого помола).

В основу проведения экспериментальных исследований новой вибровращательной мельницы на основе планирования эксперимента положено определение степени влияния параметров (факторов) новой мельницы на удельную поверхность частиц.

В соответствии с методикой планирования эксперимента [14] сначала проведем выбор входных регулируемых параметров и факторов в соответствии с уравнением (5), который имеет следующий вид

$$S = f(n, \omega, A)$$

где n – частота вращения помольной камеры, об/мин;

ω – частота вибрации помольной камеры, Гц;

A – амплитуда колебаний помольной камеры, мм.

Частота вращения камеры помола n оказывает прямое влияние на характер циркуляции мелющих тел. Кроме того, фактор определяет частоту изменения положения камеры, влияющего на интенсивность циркуляцию мелющих тел в продольном и поперечном направлении. Следовательно, данный фактор оказывает значительное влияние на интенсивность измельчения.

Частота вибрации камеры помола ω повышает энергонапряженность процесса измельчения, что в свою очередь может повысить эффективность процесса измельчения. Кроме того, при исследовании вибрационных мельниц как правило частота колебаний является одним из основных исследуемых параметров, который влияет на процесс измельчения.

Амплитуда колебаний помольной камеры напрямую влияет на скорость и энергию передаваемые от корпуса к загрузке, т.е. при ее увеличении возрастают ускорения, следовательно, повышается сила соударения частиц и мелющих тел с поверхностью камеры или между собой, что должно привести к росту эффективности измельчения. Принимая во внимание высокую значимость и легкость регулирования данного параметра, выбираем данный параметр как варьируемый фактор.

Таким образом, в качестве варьируемых факторов эксперимента были выбраны скорость вращения (n), частота (ω) и амплитуда (A) колебаний помольной камеры.

Планирование эксперимента проводилось по типу полного факторного эксперимента (ПФЭ) 2^k первого порядка, где число факторов $k=3$, число уровней $p=2$, число опытов $N=8$, число повторных опытов $n=5$.

Пределы варьируемости частоты вращения n камеры помола были выбраны от 18 до 44 об/мин. Значение 18 об/мин выбрано на основании предыдущих исследований [11], т.к. при данном значении получен наилучший результат

процесса измельчения. Основываясь на предположении, что при увеличении частоты вращения камеры помола приводит к повышению интенсивности движения загрузки, а значит и эффективность помола, при планировании эксперимента изменение данного параметра было принято в сторону увеличения. При этом верхнее значение параметра, равное 44 об/мин, выбрано из другого предположения, что с увеличением частоты вращения выше этого значения наблюдается эффект собирания мелющих тел в периферийной части камеры, тем самым ухудшая процесс измельчения вплоть до полной его остановки [7].

Пределы варьирования частоты колебания выбраны от 25 до 35 Гц. Следует отметить, что данный диапазон выбран ниже, чем в мельнице-прототипе [11]. Это объясняется отсутствием необходимости в создании более высокой частоты колебаний в вертикальном направлении вследствие усиления эффекта измельчения за счет оригинальной формы камеры, позволяющей организовать сложное движение мелющих шаров.

Пределы варьирования амплитуды колебаний камеры помола выбраны от 1,5 до 3,5 мм. Выбор предела обосновывается тем, что превышение значения амплитуды колебаний выше 3,5 мм дает отрицательное влияние на динамические параметры, а также на долговечность конструкции. Нижнее значение указанного диапазона мм обосновывается результатами проведенных авторами предварительными экспериментальными исследованиями, согласно которым установлена низкая эффективность измельчения при мм [14].

В соответствии с принятым планом ПФЭ 2³ построена матрица планирования, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица планирования ПФЭ 2³

Номер опыта	Матрица планирования								Рабочая матрица		
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃	Частота вращения помольной камеры, об/мин	Частота вибрации помольной камеры, Гц	Амплитуда колебаний помольной камеры, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+	+	+	-	+	-	-	-	44	35	1.5
2	+	-	+	-	-	+	-	+	18	35	1.5
3	+	+	-	-	-	-	+	+	44	25	1.5
4	+	-	-	-	+	+	+	-	18	25	1.5
5	+	+	+	+	+	+	+	+	44	35	3.5
6	+	-	+	+	-	-	+	-	18	35	3.5
7	+	+	-	+	-	+	-	-	44	25	3.5
8	+	-	-	+	+	-	-	+	18	25	3.5

В соответствии с матрицей планирования были проведены 8 опытов по измельчению материала, каждый из которых проводился в течении 15-и минут. Предварительно было установлено [14], что при дальнейшем увеличении времени измельчения интенсивность процесса помола существенно снижается, приближаясь к постоянному значению. Для проведения экспериментальных

исследований в качестве материала был выбран речной песок, истинная плотность которого (1,6 г/см³) была определена с помощью прибора (колбы) Ле Шателье. С помощью вибросита был подготовлен исходный материал частиц с фракцией 1,0-2,0 мм.

После этого камеру помола через загрузочно-разгрузочный люк заполнили в первую очередь мелющими телами, а потом измельчаемым материалом. Крышку загрузочно-разгрузочного люка закрыли и произвели запуск установки. Дебалансный вибратор создавал круговые колебания камеры помола, одновременно с этим, привод вращал камеру помола. После 15-ой минуты работы установку останавливали, затем через загрузочно-разгрузочный люк весь измельченный материал и мелющие тела высыпали из камеры помола. Измельченный материал измерялся прибором ПСХ-10 (рисунок 6), предназначенным для измерения удельной поверхности и среднего размера частиц. Показания прибора фиксировались. Каждый опыт повторялся по 5 раз, и их среднее значение вносилось в таблицу 2. Дальнейшие экспериментальные исследования проводились по матрице планирования приведенном в таблице 1.



Рисунок 6 – Прибор ПСХ-10 для измерения удельной поверхности и среднего размера частиц

Результаты и обсуждения

Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 3 – Результаты исследования

Номер опыта	Рабочая матрица			Среднее, $\bar{y}_n$, см ² /г
	Частота вращения помольной камеры, об/мин	Частота вибрации помольной камеры, Гц	Амплитуда колебаний помольной камеры, мм	
1	10	11	12	14
1	44	35	1.5	3117
2	18	35	1.5	2870
3	44	25	1.5	2320
4	18	25	1.5	2124
5	44	35	3.5	6551
6	18	35	3.5	6222
7	44	25	3.5	5350
8	18	25	3.5	5035

Для определения зависимости между входными и выходными параметрами запишем уравнение математической модели с учетом парных взаимодействий в общем виде [15]

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (8)$$

В уравнении (8) $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijk}$ – коэффициенты регрессии. На основании полученных результатов уравнение математической модели приобретает вид

$$\hat{y} = 4198.625 + 135x_1 + 491,375x_2 + 1590.875x_3 + 65x_1x_2 + 105,625x_2x_3$$

Основываясь на знаках коэффициентов уравнения регрессии можно судить о влиянии факторов на конечный результат. Анализируя полученное уравнение (6), можно сделать вывод, что выбранные факторы x_1, x_2, x_3 положительно влияют на тонкость помола, т.е. при увеличении этих факторов увеличивается удельная поверхность S измельчаемого материала. Из уравнения (6) следует, что наибольшее влияние на удельную поверхность материала имеет фактор x_3 – амплитуда колебаний помольной камеры.

В результате перевода факторов из кодированного вида в натуральный уравнение (6) будет иметь следующий вид

$$\hat{y} = 4198.625 + 135\left(\frac{n-31}{13}\right) + 491,375\left(\frac{\omega-30}{5}\right) + 1590.875\left(\frac{A-2.5}{1}\right) + 65\left(\frac{n-31}{13}\right)\left(\frac{\omega-30}{5}\right) +$$

$$+105,625\left(\frac{\omega-30}{5}\right)\left(\frac{A-2.5}{1}\right) \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), уравнение регрессии имеет линейную зависимость и связывает тонкость помола с входными параметрами.

Теперь из полученного уравнения на диапазоне как принятых параметров, так и за их пределами мы можем теоретически рассчитывать процесс помола, а также получать графическое отображение взаимозависимости вышеуказанных параметров.

Графическая иллюстрация зависимости удельной поверхности от факторов $S=f(x)$ на основании уравнения (7) приведена на рисунке 7.

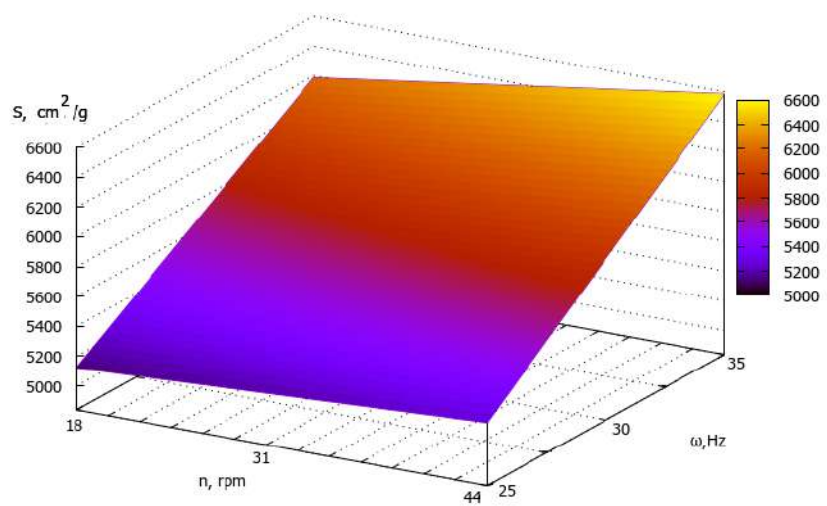


Рисунок 7 – График зависимости $S=f(n,\omega)$ при $A=3.5$ мм

Из полученного графика следует, что характер зависимости тонкости помола от входных параметров - линейный.

Полученное уравнения регрессии (7) позволяет спрогнозировать любой процесс измельчения в измельчителях аналогичных конструкций. Как было отмечено выше в качестве сравниваемого параметра послужили результаты полученные в мельнице прототипе ($S=3600$ см²/г) [11] при следующих режимах: частота вращения камеры – 18 об/мин, амплитуды колебаний – 2,5 мм, частота колебания камеры – 35 Гц, время измельчения – 15 минут.

Согласно уравнению (10), значение удельной поверхности S измельчаемого материала, полученного в предлагаемом измельчителе при параметрах, установленных в мельнице-прототипе [11], составило $S=4632$ см²/г. Для проверки адекватности результата уравнения (10), проведены дополнительные экспериментальные исследования с использованием аналогичного значения параметров на лабораторной установке. Процедура проведения эксперимента аналогична алгоритму ранее проведенных экспериментальных исследований.

В результате эксперимента был получен измельченный материал с удельной поверхностью $S=4946 \text{ см}^2/\text{г}$ (рисунок 8). При сравнении результатов, полученных с помощью уравнения (10) и дополнительного эксперимента, погрешность значений составила 6,3 %. С учетом незначительной погрешности, можно сделать вывод, что уравнение (10) является адекватным и практически применимым для дальнейших расчетов.



Рисунок 8 – Измерение удельной поверхности с помощью прибора ПСХ-10

Сравнительный анализ полученных результатов приведены на рисунке 9.

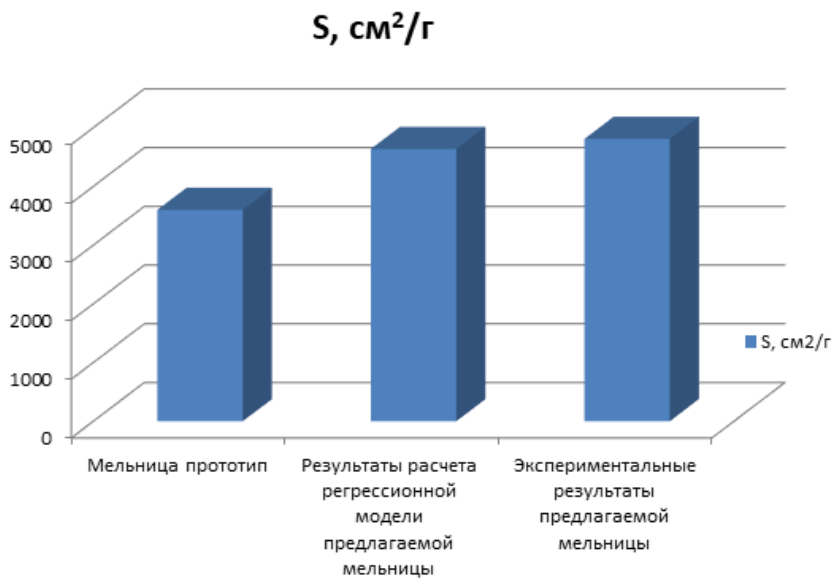


Рисунок 9 – Диаграмма сравнения результатов эксперимента

Как видно из диаграммы (рисунок 9) полученные результаты с помощью уравнения (7) ($S=4632 \text{ см}^2/\text{г}$), а также дополнительного эксперимента ($S=4946 \text{ см}^2/\text{г}$) предлагаемой мельницы превышают результатов работы мельницы-прототипа $S=3600 \text{ см}^2/\text{г}$ [11].

Данное обстоятельство подтверждает эффективность новой конструкции шаровой мельницы. Высокая результативность процесса измельчения обосновывается новой формой камеры мельницы, обеспечивающей увеличение энергии разрушения за счет встречного соударения мелющих шаров. Предлагаемое техническое решение позволило получить продукт измельчения с удельной поверхностью на 37,38 % превышающего данный параметр в мельнице прототипе.

Информация о финансировании

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №AP22685023 – «Разработка энергоэффективного способа тонкого измельчения материалов»).

Выводы

В данной статье предложена новая конструкция шаровой мельницы. Новизна конструкции мельницы заключается в разработке инновационной формы камеры помола V-образного типа.

Для оценки эффективности предлагаемой конструкции проведены экспериментальные исследования измельчения кварцевого песка при различных режимах функционирования мельницы с применением разработанной лабораторной установки.

Для прогнозирования результатов помола авторами выведено уравнение регрессионной модели, основанной на данных эксперимента.

Результаты исследований показали, что новая конструкция шаровой мельницы позволяет получить продукт измельчения с большей удельной поверхностью ($4946 \text{ см}^2/\text{г}$) по сравнению с мельницей прототипом ($3600 \text{ см}^2/\text{г}$).

Таким образом, новая конструкция шаровой мельницы может быть использована для применения в сферах производства, в которых требуется материалы с высокой удельной поверхностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Буренина О. Н., Давыдова Н. Н., Андреева А. В., Саввинова М. Е. Влияние способа измельчения на активность ингредиентов бетонной смеси // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 111. – С. 1–12.
2 Фёдоров С. М. Сравнительный анализ механики движения шаров в барабанной и вибрационной мельницах // ГИАБ. – 2005. – № 12. – С. 208–215.
3 Baigereyev S. R, Guryanov G. A, Suleimenov A. D. Method of decrease in energy intensity of the grinding process in stirred mills // Science and technology of Kazakhstan. – 2023. – № 3. – С. 102–112.

4 **T. Partyka, D. Yan.** Fine grinding in a horizontal ball mill. // Minerals Engineering. – 2007. – Vol. 20, Issue 4. – P. 320–326.

5 **Lucy Little, Aubrey Njema Mainza, Megan Becker, Jenny Wiese.** Fine grinding: How mill type affects particle shape characteristics and mineral liberation. // Minerals Engineering. – 2017. – Vol. 111. – P. 148–157.

6 **M. H. Wang, R. Y. Yang, A. B. Yu.** DEM investigation of energy distribution and particle breakage in tumbling ball mills. // Powder Technology. – 2012. – Vol. 223. – P. 83–91.

7 **Francisco Pedrayes, Joaquín G.Norniella, Manuel G.Melero, Juan M.Menéndez-Aguado, Juan J.del Coz-Díaz.** Frequency domain characterization of torque in tumbling ball mills using DEM modelling: Application to filling level monitoring. // Powder Technology. – 2018. – Vol. 323(1). – P. 433–444.

8 **Hyunho Shin, Sangwook Lee, Hyun Suk Jung, Jong-Bong Kim.** Effect of ball size and powder loading on the milling efficiency of a laboratory-scale wet ball mill. // Ceramics International. – 2013. – Vol. 39(8). – P. 8963–8968.

9 А.с. 1827288 СССР, МПК В02С 17/02. Шаровая мельница [Текст]/ Ларионов Е. Д., Бородин Н. А., Долгих А. А. – 4926078/33; заявлено 08.04.93; опубл. 15.07.93, Бюл. № 26. – 1 с.

10 Пат. 105199 РФ, МПК В02С17/06. Вибровращательная мельница / Гаврунов А. Ю., Богданов В. С., заяв. и патентообл. Белг. Госуд. Технол. Ун-т им. В. Г. Шухова - №2010152390/21; заявл. 21.10.2010; опубл. 10.06.2011 Бюл. № 16 – 4 с.

11 **Гаврунов А. Ю.** Вибровращательная мельница с продольнопоперечным движением мелющих тел: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. / БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2014. – 167 с.

12 Пат. № 2547 Республика Казахстан, МПК В02С 17/06 (2006.01). Устройство для тонкого измельчения материалов / Гурьянов Г.А., Кумыкова Т.М., Сулейменов А.Д. – № 2017/0343.2; заявл. 31.05.2017; опубл. 29.12.2017, Бюл. №26(II). – 4 с.

13 **Сулейменов А. Д., Гурьянов Г. А., Васильева О. Ю.** Предварительная экспериментальная оценка интенсивности измельчения в вибровращательной мельнице новой конструкции // Вестник ВКТУ. – 2018. – № 1. – С. 80–86.

14 **Сулейменов А. Д., Гурьянов Г. А.** Результаты экспериментальных исследований некоторых параметров новой вибровращательной мельницы // Труды университета (Карагандинский университет). – 2019. – № 3. – С. 109–112.

15 **Хамханов К. М.** Основы планирования эксперимента: Методическое пособие для студентов специальностей 190800 «Метрология и метрологическое обеспечение» и 072000 «Стандартизация и сертификация (по отраслям пищевой 110 промышленности)». – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2001. – 50 с.

REFERENCES

1 **Burenina O. N., Davydova N. N., Andreeva A. V., Savvinova M. E.** Vliyanie sposoba izmel'cheniya na aktivnost' ingredientov betonnoj smesi // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2015. – № 111. – P. 1–12.

2 **Fyodorov C. M.** Sravnitel'nyj analiz mekhaniki dvizheniya sharov v barabannoj i vibracionnoj mel'nicah // GIAB. – 2005. – № 12. – P. 208–215.

3 **Baigereyev S. R, Guryanov G. A, Suleimenov A. D.** Method of decrease in energy intensity of the grinding process in stirred mills // Science and technology of Kazakhstan. – 2023. – № 3. – P. 102–112.

4 **T. Partyka, D. Yan.** Fine grinding in a horizontal ball mill. // Minerals Engineering. – 2007. – Vol. 20, Issue 4. – P. 320–326.

5 **Lucy Little, Aubrey Njema Mainza, Megan Becker, Jenny Wiese.** Fine grinding: How mill type affects particle shape characteristics and mineral liberation. // Minerals Engineering. – 2017. – Vol. 111. – P. 148–157.

6 **M. H. Wang, R. Y. Yang, A. B. Yu.** DEM investigation of energy distribution and particle breakage in tumbling ball mills. // Powder Technology. – 2012. – Vol. 223. – P. 83–91.

7 **Francisco Pedrayes, Joaquín G.Norniella, Manuel G.Melero, Juan M.Menéndez-Aguado, Juan J.del Coz-Díaz.** Frequency domain characterization of torque in tumbling ball mills using DEM modelling: Application to filling level monitoring. // Powder Technology. – 2018. – Vol. 323(1). – P. 433–444.

8 **Hyunho Shin, Sangwook Lee, Hyun Suk Jung, Jong-Bong Kim.** Effect of ball size and powder loading on the milling efficiency of a laboratory-scale wet ball mill. // Ceramics International. – 2013. – Vol. 39(8). – P. 8963–8968.

9 А.с. 1827288 SSSR, МПК В02С 17/02. SHarovaya mel'nica [Tekst]/ Larionov E.D., Borodin N.A., Dolgih A.A. – 4926078/33; zayavleno 08.04.93; opubl. 15.07.93, Byul. № 26. – 1 с.

10 Pat. 105199 RF, MPK V02S17/06. Vibrovrashchatel'naya mel'nica / Gavrunov A.YU., Bogdanov V.S., zayav. i patentoobl. Belg. Gosud. Tekhnol. Un-t im. V.G. SHuhova - №2010152390/21; zayavl. 21.10.2010; opubl. 10.06.2011 Byul. №16 – 4 s.

11 **Gavrunov A. Yu.** Vibrovrashchatel'naya mel'nica s prodol'nopoperechnym dvizheniem melyushchih tel : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.13. / BGTU im. V.G. SHuhova. – Belgorod, 2014. – 167 p.

12 Pat. № 2547 Respublika Kazahstan, MPK B02C 17/06 (2006.01). Ustrojstvo dlya tonkogo izmel'cheniya materialov / Gur'yanov G. A., Kumykova T. M., Sulejmenov A. D. – № 2017/0343.2; zayavl. 31.05.2017; opubl. 29.12.2017, Byul. №26(II). – 4 s.

13 **Sulejmenov A.D., Gur'yanov G.A., Vasil'eva O. Yu.** Predvaritel'naya eksperimental'naya ocenka intensivnosti izmel'cheniya v vibrovrashchatel'noj mel'nice novoj konstrukcii // Vestnik VKTU. – 2018. – № 1. – P. 80–86.

14 **Sulejmenov A. D., Gur'yanov G. A.** Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij nekotoryh parametrov novoj vibrovrashchatel'noj mel'nicy // Trudy universiteta (Karagandinskij universitet). – 2019. – № 3. – P. 109–112.

15 Hamhanov K. M. Osnovy planirovaniya eksperimenta: Metodicheskoe posobie dlya studentov special'nostej 190800 «Metrologiya i metrologicheskoe obespechenie» i 072000 «Standartizaciya i sertifikaciya (po otraslyam pishchevoj i 10 promyshlennosti)». – Ulan-Ude: Vostochno-Sibirskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2001. – 50 p.

Поступило в редакцию 22.01.25.

Поступило с исправлениями 22.01.25.

Принято в печать 02.02.2025.

С. Р. Байгереев¹, *А. Д. Сулейменов², Г. А. Гурьянов³, К. Н. Жаксалыков⁴

^{1,3}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

^{2,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

22.01.25 ж. баспаға түсті.

22.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҰСАҚТАҒЫШТЫҢ ЖАҢА КОНСТРУКЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Бүгінгі таңда әртүрлі материалдарды ұнтақтау майдалығын арттыру өзекті міндеттердің бірі болып табылады. Материалдарды ұнтақтауға арналған технологиялық жабдықтардың ішінде классикалық шар диірмендері ең көп қолданыста таралған.

Алайда, осы саладағы зерттеулердің нәтижелері бойынша шарлы ұсақтағыштарда ұнтақтау тиімділігін арттыруға кедергі келтіретін бірқатар құрылымдық факторлар бар екендігі анықталды. Мәселені шешу үшін бұл мақалада шарлы диірмендердің классикалық конструкция нұсқасының жетілдірілген нұсқаларына негізделген шарлы диірменнің жаңа конструкциясы ұсынылған.

Конструкцияның ерекшелігі – V-тәріздес пішінді ұнтақтау камерасының инновациялық формасын жасау. Ұсынылған ұсақтағыш конструкциясының тиімділігін бағалау үшін әзірленген эксперименттік қондырғыны қолдана отырып, ұсақтағыштың әртүрлі жұмыс режимдерінде эксперименттік зерттеулер жүргізілді.

Ұнтақтау нәтижелерін болжау үшін авторлар эксперимент деректеріне негізделген регрессиялық модель теңдеуін шығарды.

Зерттеу нәтижелері шарлы диірменнің жаңа конструкциясы белгілі прототиптермен (шамамен 3600 см²/г) салыстырғанда үлкен меншікті бетке (4946 см²/г) ұнтақтау өнімін алуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Осылайша, шар диірменінің жаңа конструкциясын жоғары меншікті беті бар материалдарды қажет ететін өндіріс салаларында қолдану үшін пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: диірмен, ұнтақтау, меншікті бет, діріл, соққы, қажалу.

S. R. Baigereyev¹, *A. D. Suleimenov², G. A. Guryanov³, K. N. Zhaxalykov⁴

^{1,3}D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

^{2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 22.01.25.

Received in revised form 22.01.25.

Accepted for publication 02.02.25.

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL STUDIES OF A NEW MILL DESIGN

To date, increasing the fineness of grinding of various materials is one of the urgent tasks. Among the technological equipment for grinding materials, classical ball mills are the most common. However, according to the results of research in this area, it has been found that there are a number of design factors that prevent an increase in the efficiency of grinding in ball grinders.

To solve this problem, this article proposes a new design of a ball mill based on improved versions of the classic constructive version of ball grinders. The novelty of the design lies in the development of an innovative shape of the V-shaped grinding chamber.

To evaluate the effectiveness of the proposed mill design, experimental studies were conducted under different operating modes of the mill using the developed laboratory installation.

To predict the results of grinding, the authors derived the equation of a regression model based on experimental data.

The research results showed that the new design of the ball mill allows you to obtain a grinding product with a larger specific surface area (4946 cm²/g) compared with known prototypes (about 3600 cm²/g).

Thus, the new design of the ball mill can be used for applications in production areas that require materials with a high specific surface area.

Keywords: mill, grinding, specific surface area, vibration, impact, abrasion.

***Д. Ж. Басқанбаева¹, Қ. К. Елемесов², Ә. Қ. Ерік³**

^{1,2,3}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0802-8470>

*e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university

СЕНІМДІЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІН АРТТЫРУ ҮШІН СОРҒЫ ПАРКІНІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ МОНИТОРИНГІ

Бұл мақалада өндірістік кәсіпорын жағдайында қолданылатын сорғы паркіндегі сорғылардың техникалық жай-күйін бақылау және болжау үшін машиналық оқытудың заманауи әдістерін әзірлеу және қолдану қарастырылған. Зерттеу нысаны – Warman MCR үлгісінің көлденең ортадан тепкіш шламды сорғылары, олар өндірістік жағдайда қатты бөлшектері бар абразивті суспензияларды үздіксіз айдауға қолданылады. Бұл сорғылар бөлшектердің жоғары концентрациясы бар сұйықтықтарды өңдеуге қолайлы, өйткені олар жоғары сенімділік пен тозуға төзімділікке ие. Олар жоғары механикалық жүктеме жағдайында жұмыс істейді, бұл олардың техникалық жай-күйін үнемі бақылауды талап етеді. Зерттеу аясында сорғы паркінің құрамында үздіксіз жұмыс істейтін осындай екі ортадан тепкіш сорғылардың мойынтіректерінің дірілдік сипаттамалары 1,5 жыл бойы әр 3 апта сайын өлшеніп, талданды. Мониторинг өндірістік ортада, сорғылардың қалыпты жұмыс режимінде жүргізілді..

Дірілдік параметрлер VibroExpert II жүйесі арқылы акселометр датчигі көмегімен тіркеліп, діріл жылдамдығы және діріл үдеуі бойынша максималды, «пик-пик» және орташа квадраттық мәндер анықталды. Сондай-ақ, dVn және dVc механикалық және жалпы дыбыстық қысым деңгейлері өлшенді. Деректер matlab жүйесіне жүктеліп өңделді. Зерттеу барысында 1-ші сорғыға бэггинг Брейман әдісі қолданылды, бэггинг Брейман әдісі сорғы үшін жоғарғы дәлдікті көрсетті, бұл діріл деректеріндегі вариацияның 90 % – на дейін түсіндірді, яғни $=0.9045$, бұл компоненттердің ықтимал сынуы мен тозуын болжауға мүмкіндік берді. Осы әдісте 300 шешім ағашы пайдаланылды, әрқайсысы Бутстрэп әдісі бойынша жеке жиынтықтармен оқытылып, нәтижелер ортақ ансамбльде біріктірілді. 2-ші сорғы үшін $=0.7365$ нәтиже көрсеткен нейрондық желілер қолданылды, ол діріл сипаттамаларында айтарлықтай ауытқуларды анықтауға мүмкіндік берді. Мұнда бір жасасын қабатты (10 нейроннан тұратын) нейрондық желі пайдаланылғанымен, модельге L2-регуляризация қосылды. Бұл тәсіл нейрондардың салмақ коэффициенттерінің шамадан тыс үлкейіп кетуіне жол бермей, модельдің «артық» үйренуін (overfitting) азайтады және жалпылау қабілетін жақсартады. Әдістердің әрқайсысы үшін математикалық модель ұсынылған, бұл сорғы жабдықтарының сенімділігі мен беріктігін арттыру

үшін осы әдістерді қолдану мүмкіндігін растайды. Зерттеу нәтижелері сорғы жабдығын бақылау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану оның жай-күйі туралы болжамдардың дәлдігін айтарлықтай жақсартып алатынын көрсетті.

Кілтті сөздер: мониторинг, сорғы паркі, машиналық оқыту, дірілді талдау, сенімділік параметрі, бэггинг Брейман әдісі, нейрондық желі әдісі.

Кіріспе

Жабдықтың сенімділігі деп объектінің қарастырылып отырған кезең ішінде оның өнімділік көрсеткіштерін белгіленген шектерде сақтай отырып, белгілі бір функцияларды орындау қасиеті түсініледі. пайдаланудың, техникалық қызмет көрсетудің, жөндеудің, сақтаудың және тасымалдаудың белгілі бір жағдайларындағы уақыт кезеңі немесе қажетті жұмыс уақыты [1,б.14]. Жабдықтың жай-күйін бақылау – бұл тозу белгілерін анықтау, ақаулардың себептерін диагностикалау және оны қанша уақыт қауіпсіз немесе үнемді пайдалануға болатынын болжау үшін операциялық актив бақыланатын және алынған деректер талданатын техникалық қызмет көрсетуді тексеру түрі.[2,б.1]. Жабдықтың техникалық жай-күйіне негізделген мониторинг жабдықтың сенімді жұмысын қамтамасыз ету және пайдалану мерзімін ұзарту үшін маңызды міндет болып табылады. Жабдықтың күйге негізделген техникалық қызмет көрсетуі (CBM) – бұл жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және оның жұмыс істеуін қамтамасыз етуге бағытталған техникалық қызмет көрсету стратегиясы [3, б. 1].

Сорғы жүйелері, әсіресе үздіксіз жұмыс істейтін сорғылар, жоғары жүктемелерге ұшырайды және диагностика кезінде ерекше назар аударуды талап етеді. Диагностиканың ең тиімді әдістерінің бірі – олардың дамуының ерте кезеңдеріндегі ақауларды анықтауға мүмкіндік беретін дірілді талдау болып табылады. Бұл әдісте ақаудың даму дәрежесінің критерийлері нақты механизмге сәйкес келетін тиісті стандартты діріл деңгейлеріне толығымен бағытталған. Діріл жалпы қабылданған нормадан асатын механизм ақаулы болып саналады [4, б. 12].

Дегенмен, дәстүрлі талдау әдістері дәлдік пен тиімділікпен шектелуі мүмкін. Бэггинг Брейман әдісі (Random forests) және нейрондық желілер сияқты заманауи машиналық оқыту технологияларын біріктіру диагностиканың дәлдігі мен жылдамдығын айтарлықтай жақсартады. Бұл жұмыс осы әдістерді екі сорғының діріл деректерін талдауға, олардың жай-күйінің болжамын жақсартуға және істен шығу қаупін азайтуға қолдануды қарастырады. Зерттеу қорытындысында алынған нәтижелер өндірістік кәсіпорындарда жоспарлау мен профилактикалық жөндеу жүйесін оңтайландыру тұрғысынан практикалық құндылыққа ие.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу жүргізу үшін үздіксіз жұмыс істейтін ортадантепкіш сорғының DE (drive end – жетек жағынан) және NDE (non drive end – жетекке қарама-қарсы жағынан) мойынтіректері таңдалды. Жалпы, бұл зерттеу Warman маркасының екі үлгісіне – MCR сорғыларына – қолданылды. Әр сорғының DE (жетек жағы) және NDE (жетекке қарама-қарсы жағы) мойынтіректері бойынша деректер 2023 жылдың шілдесінен 2024 жылдың желтоқсанына дейін (1,5 жыл) жиналды. Өлшеулер әр

3 апта сайын жүргізіліп, шамамен 24–25 рет деректер жиынтығы алынды. Діріл туралы деректер vibroexpert II аппараттық құралының көмегімен жиналды. Сорғыларды бақылау кезінде жабдықтың техникалық күйін диагностикалау мен болжауда шешуші рөл атқаратын ең жоғарғы діріл жылдамдығы, ең жоғарғы діріл үдеуі, dBm және dBc – дыбыстық қысым деңгейлері сияқты маңызды діріл параметрлері жиналды. Сорғылардың күйін бақылау үшін келесі діріл параметрлері жинақталды:

Vib_Speed_Peak (мм/с) – ең жоғарғы діріл жылдамдығы;

Vib_Accel_Peak (м/с²) – ең жоғарғы діріл үдеуі;

Vib_Speed_Pk_Pk(мм/с) — «пик-пик» дірілінің амплитудалық жылдамдығы;

Vib_Accel_Pk_Pk (м/с²) — «пик-пик» дірілінің амплитудалық үдеуі;

Vib_Speed_RMS (мм/с) — дірілдің орташа квадраттық жылдамдығы;

Vib_Accel_RMS (м/с²) — дірілдің орташа квадраттық үдеуі;

dBm және dBc – дыбыстық қысым деңгейлері (механикалық және жалпы).

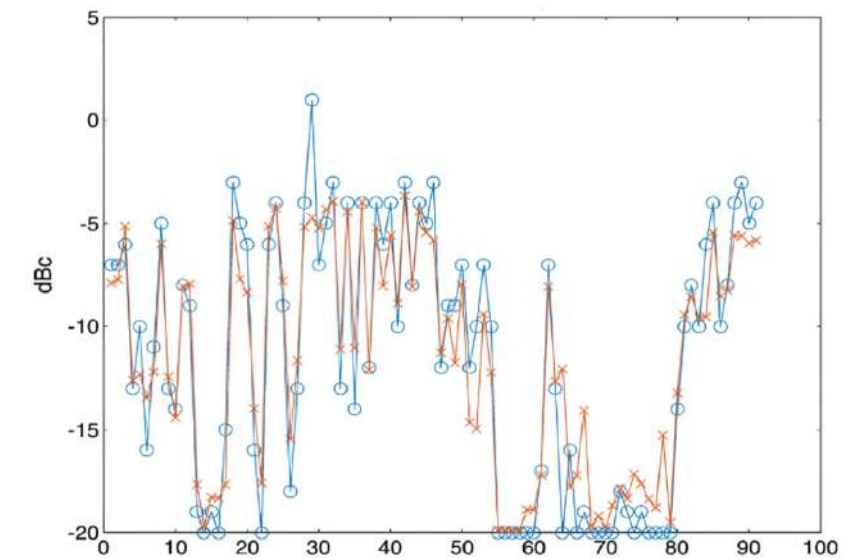
Барлық жиналған деректер MATLAB ортада алдын ала тазартылып, өңдеуден өтті (шу мен толық емес өлшемдер ескерілді). Осыдан кейін сорғыдағы діріл сипаттамаларын болжау үшін екі түрлі машиналық оқыту әдісі қолданылды: бэггинг Брейман (Random Forest) және нейрондық желі. Бұл әдістер модельдің дәлдігін арттырып, ықтимал ақауларды ертерек анықтауға септігін тигізеді. 1-ші сорғы үшін бэггинг Брейман әдісі: сорғы үшін DE және NDE мойынтіректерінен жиналған діріл деректерін қолданатын бэггинг Брейман моделі қолданылды. Негізгі мақсат діріл параметрлерінің өзгеруін болжау және ықтимал ақаулардың алдын алу және оның қызмет ету мерзімін ұзарту үшін сорғының техникалық күйін бағалау болды. Алдымен сорғы деректері жүктелді, кейін DE және NDE мойынтіректерінің діріл деректері біріктірілді. Деректер жетіспейтін мәндерден тазартылып, әрі қарай модельдеу үшін маңызды болжаушы айнымалылар (predictors) және мақсатты айнымалы (target variable) таңдалды. Қолданылған модель 300 шешім ағашынан тұратын Random Forest моделіне негізделді. Әрбір ағаш бастапқы оқыту жиынтығынан бутструп (қайталанып таңдау) әдісі арқылы алынған таңдама бойынша құрылды. Түйіндерді бөлу кезінде оқыту жиынтығынан кездейсоқ таңдалған айнымалылардың тек белгілі бір саны ғана пайдаланылды. Шешім ағаштары толықтай өсуіне мүмкіндік алды (қысқартусыз), бұл олардың максималды ақпараттылығын сақтауға және модельдің дәлдігін арттыруға көмектесті. Шешім ағаштарын құрудың классикалық алгоритмдерінен айырмашылығы, бэггинг Бреймандар әдісінде әрбір ағашты құру кезінде түйіндерді бөлу сатыларында оқыту жиынтығынан кездейсоқ таңдалған белгілердің тек бекітілген саны ғана пайдаланылады және толық ағаш (қысқартусыз) құрылады, яғни ағаштың әрбір жапырағы тек бір класстың бақылауларын қамтиды.[5, б. 2].

Нәтижелер және талқылау

Модельді оқытқаннан кейін бэггинг Брейман үлгісіне негізделген болжамдар алынды, R^2 және RMSE көрсеткіштерін пайдаланып дәлдік бағаланды. Бұл көрсеткіштер модельдің діріл параметрлеріне негізделген dBc мәндерін қаншалықты жақсы болжайтынын түсінуге мүмкіндік береді. Нәтижелер:

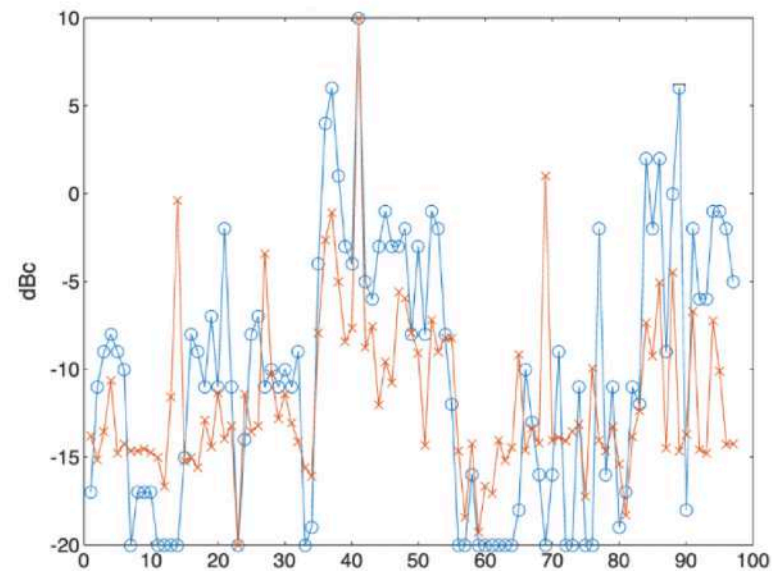
R^2 (анықтау коэффициенті) 0.9045; RMSE (орташа квадраттық қате) 1.9429. Бұл көрсеткіштер модельдің жоғары дәлдігін көрсетеді және оның діріл параметрлерін тиімді болжай алатынын дәлелдейді.

Төмендегі графикте (Сурет-1) нақты dBc мәндері мен бэггинг Брейман моделі болжаған салыстырулар көрсетілген. Графикте бэггинг Брейман моделі көптеген деректер нүктелері үшін dBc-ді дәл болжайтынын көруге болады.



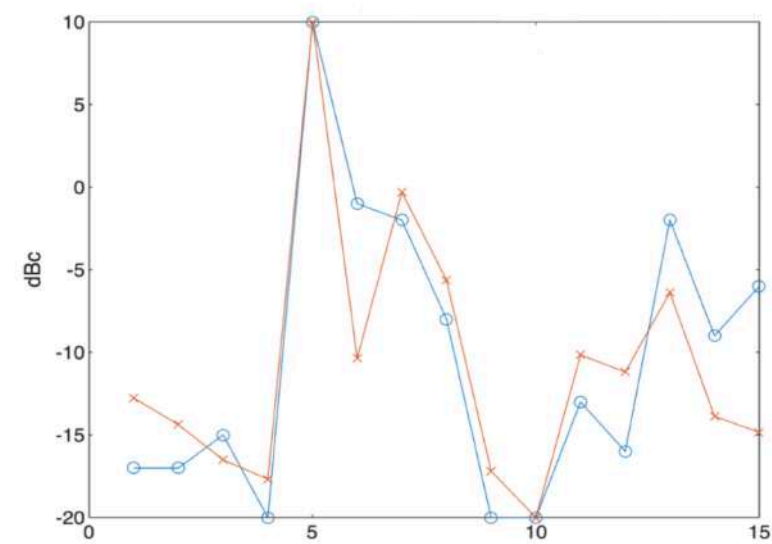
1-сурет – Нақты (көк белгі) және болжамды (қызыл белгілер) dBc мәндерді салыстыру. Нақты деректерді болжамдармен салыстыру арқылы модельдің дәлдігін көрсетеді.

2 сорғы үшін нейрондық желі әдісі: Сорғының діріл параметрлерін талдау үшін бір жасырын қабаты бар нейрондық желі қолданылды, оның құрамында 10 нейрон болды. Модельді қайта оқытудың алдын алу үшін регуляризация орнатылды, модельді оқыту аяқталғаннан кейін болжамдардың сапасын бағалау үшін нақты және болжамды мәндердің графиктері салынды.



4-сурет – Нейрондық желі моделінің нақты өлшенген dBc мәндері (көк белгі) мен болжанған мәндерінің (қызыл белгілер) айырмашылықтары және модельдің деректер трендін қаншалықты дәл болжағаны көрсетілген.

Сорғыға арналған нейрондық желі R^2 (анықтау коэффициенті) 0.7365, RMS (орташа квадраттық қате) 4.3874 нәтижелерін көрсетті. Бұл нәтижелер модель деректердің шамамен 73% вариациясын түсіндіреді, бұл тапсырманың берілген түрі үшін қанағаттанарлық нәтиже.



5-сурет – Сорғының алғашқы 15 үлгісі үшін нақты (көк белгі) және болжамды (қызыл белгі) dBc мәндерін салыстыру

Алайда, нейрондық желідегі R^2 мәні салыстырмалы түрде төмен болғандықтан, деректер сапасын жақсарту немесе желінің архитектурасын тереңдету сияқты қосымша қадамдар жасау қажет болуы мүмкін. Соған қарамастан, тіпті $R^2 \approx 0.73$ деңгейінің өзі ерте аномалияларды анықтап, жоспарланбаған тоқтап қалуды алдын алуға жеткілікті; модель діріл сипаттамаларындағы қауіпті ауытқуларды уақытылы сигналдауы арқасында қызмет көрсету шараларын дер кезінде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Нейрондық желі әдісі сорғының техникалық жай-күйін болжау үшін тиімді құрал болып табылады, дегенмен бұл модельдің дәлдігі бәггинг Брейман әдісіне қарағанда төмен. Келешекте модельдің күрделілігін арттыру, деректерді алдын ала өңдеуді жақсарту немесе нейрондық желінің архитектурасын оңтайландыру арқылы нәтижелерді жақсартуға болады.

Математикалық модель: Модельдерді ұсыну үшін машиналық оқыту әдістері қолданылды. 1-ші сорғы үшін бәггинг Брейман моделі шешім ағаштары ансамбльдеріне негізделген, мұнда қорытынды болжам барлық ағаштардың нәтижелерін орташалау арқылы алынады:

$$\hat{y}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(x), \quad (1)$$

$\hat{y}_1$ – 1-ші сорғы үшін болжамды dBc мәні;

N – бәггинг Бреймандағы ағаштардың жалпы саны (біздің жағдайда $N=300$);

$T_i(x)$ – болжаушылар жиынтығына негізделген i -ші ағашты болжау нәтижесі;

X – діріл жылдамдығы, діріл үдеуі, спектр жиілігі және спектрдің маңыздылық деңгейін қамтитын кіріс жиынтығы.

Әрбір шешім ағашы $T_i(x)$ ол типтік ережелерге сәйкес құрылады:

$$T_i(x) = \begin{cases} b_1, & \text{егер } X_1 < \alpha_1 \text{ және } X_2 > \alpha_2 \\ b_2, & \text{егер } X_1 \geq \alpha_3 \text{ және } X_2 < \alpha_4 \\ \vdots \end{cases} \quad (2)$$

b_1, b_2 – ағаштың әртүрлі бұтақтары үшін болжау мәндері.

2-ші сорғы үшін нейрондық желі әдісі бойынша:

$$\hat{y}_2 = \sigma(W_2 \cdot \sigma(W_1 \cdot X + B_1) + B_2) \quad (3)$$

W_1, W_2 – бірінші және екінші қабат үшін таразы матрицалары;

B_1, B_2 – нейрондардың ауысуы;

σ – белсендіру функциясы (мысалы, сигмоидты);

X – кіріс векторы.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің қаржылық қолдауымен № BR24992956 «Газды сығымдау үшін инновациялық жабдықтар мен технологияларды әзірлеу және құру» тақырыбы аясында жүзеге асырылды.

Қорытынды

Мақалада өнеркәсіптік жағдайда сорғы жабдықтарының техникалық жай-күйін бақылау үшін машиналық оқытудың екі әдісін (бэггинг Брейман және нейрондық желі) қолдану нәтижелері ұсынылды. Зерттеу көрсеткендей, 1-сорғыға арналған бэггинг Брейман моделі діріл деректеріндегі өзгерістердің 90%-на дейін ($R^2 \approx 0.90$) түсіндіре алатынын дәлелдесе, 2-сорғыда нейрондық желі де едәуір жоғары дәлдікке қол жеткізіп, $R^2 \approx 0.73$ деңгейінде болды. Бұл көрсеткіштер сорғы жабдықтарындағы ықтимал ақауларды ертерек анықтау мүмкіндігін арттырады. 1,5 жыл бойы (әр 3 апта сайын) жиналған деректерге сүйеніп, модельдердің болжамдық мүмкіндігі бағаланды. Бұл талдау ықтимал бұзылуларды ертерек анықтау мен техникалық қызмет көрсету үдерісін оңтайландыруға теориялық негіз барын меңзейді. Алайда, R^2 көрсеткішінің жоғары болуы кез келген ақауды мінсіз болжауға кепілдік бермейтінін ескеру қажет, нақты өндірістік жағдайларда модельді бейімдеуді, жетілдіру шараларын жүргізуді немесе қосымша параметрлерді қамтуды талап етуі мүмкін.

Жалпы алғанда, аталған зерттеудің практикалық маңызы – сорғы паркінің жұмысын үздіксіз бақылау арқылы жоспарланбаған үзілістерді азайту, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұлғайту және өндіріс тиімділігін арттыруға қол жеткізу мүмкіндігі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Науменко, А. П.** Теория и методы мониторинга и диагностики. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. – 14 с.
- 2 **Beebe, R. S.** Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. – Oxford: Elsevier Science, 2004. – P. 1–20.
- 3 **Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Staub, S. A.** Comprehensive Review of Machine Learning Techniques for Condition-Based Maintenance // International Journal of Prognostics and Health Management. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1–21.
- 4 **Гаврилин, А. Н., Мойзес, Б. Б.** Диагностика технологических систем. – Томск : Издательство ТПУ, 2014. – 128 с.
- 5 **Чистяков, С. П.** Случайные леса : обзор // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013. – 136 с.
- 6 **Доррер, М. Г.** Моделирование нейронных сетей в системе MATLAB. – Красноярск, 2021. – 200 с.
- 7 **Idhammar, T.** Condition Monitoring Standards. Volume 1. — IDCON, Inc., 2001. – 150 p.
- 8 **Латышенко, К. П., Чуриков, А. А.** Неразрушающий контроль. Часть 1. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 2016. – 80 с.
- 9 **Дьяконов, В. П.** MATLAB : полный самоучитель. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 768с.
- 10 **Левин, В. Е., Патрикеев, Л. Н.** Вибродиагностика машин и механизмов. — Новосибирск : Издательство НГТУ, 2010. – 106 с.

REFERENCES

- 1 **Naumenko, A. P.** Teoriya i metody monitoringa i diagnostiki [Theory and Methods of Monitoring and Diagnostics]. – Omsk : Izdatelstvo OmGTU, 2017. – 14 p.
- 2 **Beebe, R. S.** Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. – Oxford: Elsevier Science, 2004. – P. 1–20.
- 3 **Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Staub, S. A.** Comprehensive Review of Machine Learning Techniques for Condition-Based Maintenance // International Journal of Prognostics and Health Management. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1–21.
- 4 **Gavrilin, A. N., Moises, B. B.** Diagnostika tekhnologicheskikh sistem [Diagnostics of Technological Systems]. – Tomsk: TPU Publishing, 2014. – 128 p.
- 5 **Chistyakov, S. P.** Sluchainye lesa : obzor [Random Forests : A Review] // Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. – 2013. – № 1. – P. 136–145.
- 6 **Dorrer, M. G.** Modelirovanie neironnykh setei v sisteme MATLAB [Neural Network Modeling in MATLAB System]. – Krasnoyarsk, 2021. – 200 p.
- 7 **Idhammar, T.** Condition Monitoring Standards. Volume 1. – Raleigh : IDCON, Inc., 2001. – 150 p.
- 8 **Latyshenko, K. P., Churikov, A. A.** Nerazrushayushchii kontrol. Chast 1 [Non-Destructive Testing. Part 1]. – Tambov: TSTU Publishing, 2016. – 80 p.
- 9 **Dyakonov, V. P.** MATLAB: Polnyi samouchitel [MATLAB : Complete Self-Study Guide]. – Moscow: DMK Press, 2012. – 768 p.
- 10 **Levin, V. E., Patrikeev, L. N.** Vibrodiagnostika mashin i mekhanizmov [Vibration Diagnostics of Machines and Mechanisms]. – Novosibirsk : NSTU Publishing, 2010. – 106 p.

20.01.25 ж. баспаға түсті.

28.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

28.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Д. Ж. Басқанбаева¹, К. К. Елемесов², А. К. Ерик³*

Сатпаев университет, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 20.01.25.

Поступило с исправлениями 28.01.25.

Принято в печать 22.02.2025.

**МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНОГО ПАРКА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ**

В данной статье рассматривается разработка и применение современных методов машинного обучения для контроля и прогнозирования технического состояния насосов, используемых на производственном предприятии. Объект исследования — горизонтальные шламовые насосы серии Wagram MCR, предназначенные для непрерывной перекачки абразивных суспензий с твёрдыми включениями в промышленных условиях. Эти насосы оптимально

подходят для работы с жидкостями, имеющими высокую концентрацию твёрдых частиц, благодаря их повышенной надёжности и износостойкости. Они функционируют при высоких механических нагрузках, что обуславливает необходимость постоянного контроля их технического состояния. В рамках исследования в течение 1,5 лет с интервалом каждые 3 недели измерялись и анализировались вибрационные характеристики подшипников двух таких насосов, непрерывно работающих в составе насосного парка. Мониторинг проводился в производственной среде при штатном режиме эксплуатации оборудования.

Вибрационные параметры регистрировались системой VibroExpert II с помощью акселерометрических датчиков, фиксируя максимальные, «пик-пик» и среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения. Кроме того, измерялись механический и общий уровни звукового давления (dВм и dВс). Данные обрабатывались в среде MATLAB. В ходе исследования для 1-го насоса применялся метод бэггинга Бреймана, показавший высокую точность — до 90% объяснения вариаций вибрационных данных ($R^2=0.9045$), что даёт возможность предсказывать вероятный износ и потенциальное разрушение компонентов. При этом было использовано 300 деревьев решений, каждое из которых обучалось на своей бутстреп-выборке, а итоговый результат формировался путём ансамблирования. Для 2-го насоса использовались нейронные сети, продемонстрировавшие результат $R^2=0.7365$ и способные выявлять значительные отклонения в вибрационных характеристиках. Несмотря на то, что в модели нейронной сети применялся только один скрытый слой с 10 нейронами, добавленная L2-регуляризация помогла избежать избыточного «запоминания» (overfitting) и повысить обобщающую способность. Для каждого из методов представлена математическая модель, подтверждающая возможность применения данных подходов с целью повышения надёжности и долговечности насосного оборудования. Результаты исследования показали, что использование методов машинного обучения для контроля насосного парка позволяет значительно улучшить точность прогнозов о состоянии оборудования.

Ключевые слова: мониторинг, насосный парк, машинное обучение, вибрационный анализ, параметр надёжности, метод бэггинга Бреймана, метод нейронной сети.

***D. D. Baskanbayeva¹, K. K. Yelemessov², A. K. Yerik³**

Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 20.01.25.

Received in revised form 28.01.25.

Accepted for publication 22.02.25.

MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE PUMP FLEET TO IMPROVE RELIABILITY PARAMETERS

This article discusses the development and application of modern machine learning methods for monitoring and predicting the technical condition of pumps used in an industrial setting. The study object is Warman MCR series horizontal slurry pumps, designed for continuous pumping of abrasive suspensions containing solid particles in industrial environments. These pumps are well-suited for liquids with high concentrations of solids, thanks to their enhanced reliability and wear resistance. They operate under high mechanical loads, necessitating constant monitoring of their technical condition. Over the course of 1.5 years, with measurements taken every three weeks, the vibrational characteristics of the bearings of two such continuously operating pumps within the pump fleet were measured and analyzed. Monitoring was carried out under normal operating conditions in an industrial environment.

Vibration parameters were recorded using the VibroExpert II system with accelerometric sensors, capturing maximum, «peak-to-peak», and root mean square values of vibration velocity and vibration acceleration. Moreover, mechanical and total sound pressure levels (dВm and dВс) were measured. The data were processed in the MATLAB environment. During the study, Breiman's bagging method was applied to the first pump, demonstrating high accuracy—up to 90 % of the variance in the vibration data ($R^2=0.9045$)—allowing for the prediction of potential wear and possible component failure. This approach utilized 300 decision trees, each trained on its own bootstrap sample, and the final result was formed by ensemble averaging. For the second pump, neural networks were used, showing $R^2=0.7365$ and capable of detecting significant deviations in vibrational characteristics. While only a single hidden layer with 10 neurons was employed, the addition of L2 regularization helped to avoid excessive “memorization” (overfitting) and improved the model's generalization ability. For each of these methods, a mathematical model is presented, confirming the feasibility of using these approaches to enhance the reliability and durability of pump equipment. The study results indicate that utilizing machine learning methods for pump fleet monitoring significantly improves the accuracy of equipment condition forecasting.

Keywords: monitoring, pump fleet, machine learning, vibration analysis, reliability parameter, Breiman's bagging method, neural network method.

***Ж. А. Бекмырза¹, А. К. Курманов¹, Н. А. Камышева²**

¹Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, г. Костанай,

²Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, Республика Казахстан, г. Костанай,

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2047-3281>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4864-5142>

*e-mail: 5112431@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ РАБОТЫ С СИЛЬНО ЗАСОРЕННЫМИ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

По мере развития технических параметров конвейерных систем транспортировки сельскохозяйственного сырья постепенно улучшается качество зерна, повышается эффективность работы сложной конструкции ленточного транспортера, снижаются затраты на погрузочные работы, совершенствуются погрузочно-разгрузочные системы непрерывного действия. Целью статьи является изучение эффективности транспортировки и производительности процесса перемещения зерновых грузов, с усовершенствованием конструктивно-технологической схемы ленточного транспортера при засорении зерновой пылью.

Используя методы анализа, синтеза и сравнения исследованы основные концепции и прикладные исследования производительности ленточного транспортера по режимным параметрам для обоснования оптимальных конструктивно-технологических действий, обеспечивающих снижение энергоемкости и обоснования экономической эффективности сельскохозяйственного производства, оценки качества урожая непосредственно в послеуборочном цикле зернопроизводства.

Результаты указывают на то, что исследование позволило определить динамические нагрузки, которые приводят к отказам элементов конвейера, засорению пылью роликовых опор, разрывам ленты. Рассмотрена возможность реализации процессов очистки насыпного зернового груза в период транспортировки, хранения и переработки партии зерна для предотвращения дополнительного образования пыли, потому как стирается небольшая часть наружной поверхности каждой зерновки. Обзор и анализ исследований существующих технологий показал воздействие конструктивных особенностей на производительность и качество зерновой перевозки. Модификация роликов на восходящей ветви рабочего органа ленты снижает потери зерна с двух сторон при проскальзывании на ведущем барабане.

Ключевые слова: зерно, ленточный конвейер, сыпучее сырье, примеси, пыль.

Введение

Современное машиностроение направлено на повышение эффективной деятельности предприятий за счет механизации производственных действий и повышения производительности труда. Среди всех средств механизации большую роль играют грузоподъемные машины, представленные ленточными конвейерами периодического и непрерывного действия.

Традиционно для перевозки зерновых грузов используются системы ленточных транспортеров, как основных видов автоматических машин непрерывного действия простой конструкции, высокой надежности, сравнительно небольшого веса, применяемого в различных отраслях промышленности со способностью перевозить грузы на различные расстояния. Массовая доля транспортировки сыпучих грузов в общем объеме мировых перевозок весьма значительна для зерновых культур. J. Wheat [1], сообщает, что на зерновых элеваторах и хлебоприемных предприятиях вместе с зерном содержится пыли до 0,3 % от общей заготавливаемой массы.

Н. Jin [2], утверждает, что для сокращения энергопотребления при использовании регулируемого электропривода необходима стабилизация количества зерна. Развитие систем управления нагрузки конвейера при наличии запаздывания чистых звеньев в контурах регулируется компенсацией запаздывания транспортеров малой длины, линейными регуляторами с дифференциальными компонентами. С увеличением времени запаздывания использование таких контроллеров становится менее эффективным, а качество переходных процессов – менее оптимальным.

Исследования Е. Я. Шаяхметова [3] показали, что зерновая пыль содержит элементы почвы, химические добавки, растительные остатки, насекомых, пыльцу. Распространенными методами удаления пыли при погрузке зерна навалом является водораспылитель и рукавные фильтры. При этом эффективность распыления воды для мелкой пыли достаточно низкая, а водяной туман оказывает также негативно влияет на период хранения зернового сырья. Рукавный фильтр занимает много места на полу, что затрудняет очистку дна длинных фильтровальных мешков. А. Roman-Sanchez [4], установил, что зерновое сырье обладает мелкозернистыми и пылевидными элементами, создавая неблагоприятную среду в атмосфере, так как интенсивная запыленность негативно влияет на металлические детали, поэтому ускоряет износ механических деталей и при дополнительной перегрузке грейферных кранов, тем самым уменьшая годовой грузооборот на 0,1–0,5 %, увеличивает износ оборудования и приводит к потерям зерна на 1–3 %. Перспективным направлением в развитии автоматизации и оборудования для обработки зерна является использование механизмов перемещения распределительных узлов и регулируемого электропривода, обеспечивающих защиту двигателя от перегрева, перегрузок и колебаний напряжений, а также плавное ускорение и замедление механизма без ощутимых рывков ленты.

Материалы и методы

Новейшие ленточные транспортеры характеризуются низкими эксплуатационными расходами, высокой надежностью и безопасностью. D. Friso [5], дал оценку ленточному транспортеру, который является одним из самых популярных транспортных машин, благодаря высокой производительности, простоте конструкции, низкому энергопотреблению, надежности, способности транспортировать с высокой скоростью грузы на большие расстояния. Автоматизация обеспечивает плавный пуск транспортера, обеспечивая возможность регулирования скорости ленты в зависимости от количества поступающего зерна.

По данным M. Neilman [6], принцип действия ленточного транспортёра основан на прилегании ленты к приводному барабану, обеспечивающему движение ленты. Опору обеспечивают неподвижные роликовые опоры, расположенные по всей длине. Ленточные транспортеры оснащены улавливателями лент, системами взвешивания груза и механизмами очистки лент. Механизм привода состоит из редукторов, электродвигателей, муфт, тормозов и приводных барабанов.

Исследованиями V. Рermyakova [7], отмечено, что в ленточных транспортерах используется резинотросовая и резинотканевая ленты, их предназначение, перевозка сыпучих грузов по диагонали в различных отраслях промышленности.

V. V. Suglobov [8], описывает резинотканевые ленты, которые изготавливаются на основе синтетических нитей, полиамидных волокон и бикомпонентных волокон смеси хлопка и полиэстера. Такие ленты состоят из несущего слоя, текстильного каркаса. Количество слоев ткани влияет на прочность на разрыв тканевой резинки. Подложка рабочей поверхности из резинотканевой ленты сверху всегда толще, чем снизу. Стыковка ленты производится методом горячей вулканизации до необходимых размеров. D. Gella [9], различает следующие виды лент конвейера: резиновый трос, пластиковая лента, модульная, металлическая. Ленточные конвейеры имеют следующие преимущества: высокая автоматизация и непрерывность действия, возможность транспортировки грузов под большими углами, простота оперативного управления, низкая металлоемкость.

Конвейерные ленты могут быть горизонтальными, наклонными, закрытыми, открытыми или крытыми. Преимуществом открытых и крытых конвейеров является простота монтажа, они легко устанавливаются на балочную раму и выравниваются роликами. A. Požėlienė [10], установил, что при загрузке выделяется большое количество зерновой пыли, оседающей вокруг транспортера, в тоже время закрытые ленточные конвейеры этого недостатка не имеют. Типы конвейерных лент: шевронная - подходит для транспортировки зерна под углом до 18°; маслостойкая – меньше деформируется и устойчива к воздействию растительных масел и жиров. В зависимости от длины, грузоподъемности и скорости движения лента оснащается необходимым количеством роликов и мотор-редукторов.

N. Kumar [11], в своей работе дает оценку работе закрытых ленточных транспортеров, которые используют преимущественно в портовых и линейных

элеваторах, где необходима мощность и длина конвейера. Ранее большинство конвейерных машин заказывались у иностранных производителей, однако на сегодняшний день на рынке появились качественные аналоги.

L. Hrabovský, [12], в своей работе сообщает, что очистка зерна на элеваторах производится предварительно, первично и вторично: зерноочистительная машина ЗД-10000, очиститель вороха сепараторный ОВС-25, машина предварительного очищения МПО-50, семяочистительная машина СМ-4 и К-527А. Основными рабочими элементами оборудования являются пневмосепарирующие колеблющиеся каналы и конвейерное решето. При использовании плоских решеток производится недостаточно качественное разделение зернового вороха и сорных примесей при повышенной влажности. Если содержание влаги в обрабатываемом зерне превышает 16 %, производительность используемой зерноочистительной машины снижается на 6 %.

A. van Oorschot [13], исследовал в своей работе зерновое сырье, которое после сбора урожая нуждается в транспортировке с наименьшими потерями и затратами. Популярным способом хранения зерна является напольный, с полным заполнением амбарного пространства, перевозку зерновых грузов производят ленточными транспортёрами длиной 150-200 м, которые применяются при автоматических загрузках и выгрузках.

Совокупность научных методов системного и сравнительного анализа в данной статье, оценки по эксплуатационным и технологическим показателям производились на основании известных законов механики, обеспечивая всесторонность изучения состояния и развития промышленности в области конвейерного машиностроения, транспортировки сыпучих грузов и систем вентиляции для обеспыливания сыпучего зернового сырья на элеваторах.

Конвейерные ленты устанавливаются на элеваторных заводах, вблизи приемных участков недалеко от автомобильных и железнодорожных перевозок. В сельскохозяйственных целях на элеваторах чаще используют транспортёры ленточно-скребковые (ТЛС-300, ТЛС-500), которые применяют для транспортировки сыпучих и насыпных грузов, гранул, пеллет, ржи, пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, риса, просо, сорго, спельты, сорных злаков, жмыха, шрота, комбикормов, а также измельченного сена, сенажа и силоса. Ленточные транспортеры (ЛТ-6, ЛТ-10) со стандартной конвейерной лентой используют при горизонтальной и полого-наклонной транспортировке зерна и зернопродуктов, масличных культур, гранул. Ленточный транспортер передвижной с шевронной конвейерной лентой (ЛТПШ) предназначен для перемещения зерна и зернопродуктов на зерноскладах, открытых площадках, погрузках в транспортные средства.

Ленточный транспортёр (рисунок 1) состоит из следующих частей: поливинилхлоридная конвейерная лента, которая сочетает гибкость и высокую стойкость к износу; конвейерные ролики, в ходе эксплуатации выдерживают повышенные нагрузки, критические температуры и другие агрессивные внешние факторы; конвейерные барабаны, обеспечивают тяговую силу, которая приводит в

движение механизм транспортёра; роlikоопоры, предназначены для установки в конвейер роlikов, изготавливаются из стойкого к негативным воздействиям металла.

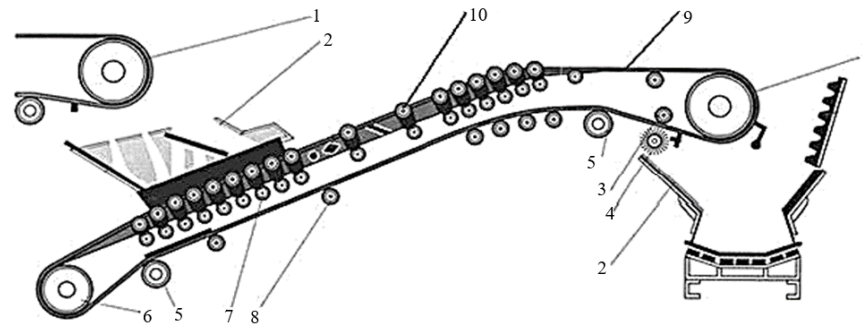


Рисунок 1 – Схема ленточного транспортер

Ленточные транспортеры обычно схожи по конструкции и имеют в своем составе типовые элементы обозначенные на рисунке 1: приводной барабан (1), лоток загрузки (2), прижимные ролики (3), очистительное устройство (4), барабан отклонения (5), концевой барабан (6), амортизирующая роlikоопора (7), роlikоопоры нижние (8), транспортировочная лента (9), роlikоопоры верхние (10).

Сыпучий груз и полотно ленты подвержены значительным динамическим нагрузкам при движении с нагрузкой по роlikоопорам. Возможны высокочастотные и низкочастотные пространственные колебания в процессах транспортировки грузов. Возможен резонанс, в случае, когда частота вибрации ленты совпадает с частотой опорной конструкции, что приводит к быстрому увеличению рассыпания груза и распределению нагрузки элементов конвейера. Нередко происходит динамическая нагрузка ленточного транспортера: порывы ветра на изношенном месте, особенно опасны в ранее отремонтированных соединениях, проскальзывание лезвия, отставание концевой секции от начальной точки длинного конвейера, а также износ компонентов привода ленты и металлических конструкций.

Очистительная установка на нижней ветви роlikовых опор, получила в последние годы достаточно широкое распространение. Нагрузка на роlikовый подшипник должна быть разделена на вес ремня и внешнюю нагрузку, вращающаяся часть самого ролика. Отказ работы ролика происходит при нарушении функции кручения и от смещения колец подшипника под нагрузкой.

Краткое описание ролика ленточного транспортера показано на рисунке 2.

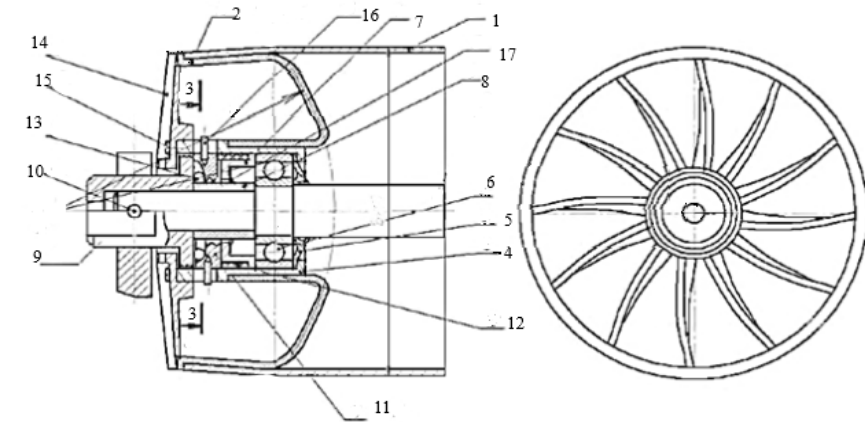


Рисунок 2 – Ролики новой конструкции

На роliках ленточного конвейера подвижный диск 1 с наклеенной медной фольгой, которая контактирует с неподвижным диском при остановке в результате действия пружин 1 и 2. При этом создается контактное уплотнение диска, исключающее попадание частиц, например, пыли, из окружающей среды. При вращении ролика шарик 13 под действием центробежной силы преодолевает сжимающую силу пружины 12 и движется по рифленой канавке, прижимая подвижный диск 11 к вертикальной стенке Г-образного стакана 4.

При перемещении груза, образуется необходимый зазор, между присущий дисковыми лабиринтными уплотнениями и с помощью крышки рабочего колеса 14, где воздух поступает в ступицу 2 и проходит через отверстия в подвижном диске для вытеснения пыли из форкамерного подшипникового узла. Очистительный цилиндр неподвижного диска 9 приводит к двойному эффекту очистки. Подача смазки к подшипнику 6 осуществляется в полости Г-образного стакана 4, удерживаемого мембранным кольцом 17.

Ленточные транспортеры для зернового сырья обычно имеют три комплекта роlikов, один горизонтальный и два боковых ролика, которые можно наклонять под углом до 45°, образуя желоб.

Эффективная система транспортировки материала навалом, осуществляет относительное движение между зерном и поверхностью ленты, при этом минимизируется повреждение сырья, поэтому широко используется для кондиционирования и обработки семян, данная система часто используется на мукомольных, комбикормовых, масложировых и крахмальных заводах. Площадь поперечного сечения зависит от типа ролика. Среди трех роlikов центральные ролики остаются в горизонтальном положении, тогда как остальные два находятся в наклонном положении или под углом желоба от 20° до 45°. Для меньшей грузоподъемности можно использовать плоские ремни. Ширина ленты зависит от требований к мощности, скорости конвейера и угла наклона.

После обмолота комбайнами зерно доводят к соответствующим нормам, с помощью воздушных и воздушно-решетных машин объединенных с триерными,

производят предварительную очистку и частичную сортировку семян различных культур до норм посевного материала. Основные требования применимые к зерноочистительным машинам – очищение семенного или продовольственного материала, с учетом размера отходов и повреждения зерна, которое не должно превышать допустимых значений. Скорость воздушного потока у этих машин регулируется сменным набором решеток и триерных цилиндров. Специальные компоненты очистки: горка, змейка, электромагнитные машины, применяются для дополнительной очистки семян от примесей, которые нельзя выделить при помощи универсального оборудования у отдельных видов зернового сырья, а также для дополнительной калибровки и сортировки семенного материала.

Первичный обмолот зернового сырья и декантация зерновых культур от примесей производится способом просеивания через решетки. Очистка зерновых культур от примесей производится по показателям: толщины, ширины, длины, аэродинамических свойств, плотности, конфигурации, бугристости и шероховатости, в зависимости от состояния поверхности. Составляющие механизмы для сортирования зерна включают: цилиндр триера корыто, вентилятор, бункерное хранилище, разделительная заслонка, дека колебаний, ворсовая ткань ленты, барабан, магнит. Зерна, ширина которых меньше диаметра отверстий, пролетают сквозь решетки, а более крупные компоненты зерновой смеси перемещаются по далее. Зерно разделяется на решетках по толщине с продолговатыми отверстиями и с круглыми отверстиями. По длине зерновая смесь разделяется в триерных цилиндрах в форме ковша, вращаясь вокруг своей оси, расположенной под углом. Очистка зерна по аэродинамическим свойствам происходит благодаря воздействию воздушного потока, в зерноочистительных сортировочных машинах с мощной вентиляционной системой. По плотности семена разделяются на пневмосортировочных столах. На винтовых сепараторах производится разделение зерновых смесей согласно форме частиц по различным траекториям, таким образом более быстрые округлые частицы отбрасываются в сторону спиральной поверхности, а более плоские опускаются. Например, горох и вика отлично отделяются от овса. При работе магнитных сепараторов поверхность зерна обрабатываются магнитным порошком и зерно с высоким коэффициентом трения уносятся вверх, а семена меньшего размера скатываются вниз. Зерно при смешивании с магнитным порошком подается на цилиндр вращения, а при действии магнитного поля удерживаются.

Существенно уменьшается количество пыли на боковых стенках сбрасывающей коробки, где расположены пазы и приводной барабан, полностью погруженный в сбрасывающую коробку, если между выходным патрубком и воздухопроводом установлен самотек в виде сужающегося конуса, с переходом с прямоугольного сечения на отвод, при этом самотек проходит через надсилосную плиту. Также в качестве очистки в специальной коробке устанавливают между вертикальным воздухопроводом и дефлектором, соединенной диффузором с вертикальным воздухопроводом и конфузором с дефлектором, установлен патрубок с вентилятором, в зазоре между патрубком и специальной коробкой смонтированы

жалюзийные пластины с возможностью менять положение от горизонтального до вертикального.

Конвейерные транспортные системы с самого начала должны проектироваться с учетом надлежащих мер по борьбе с пылью. То есть характеризоваться короткими участками свободного падения, низкоскоростными конвейерными лентами, норями, а также закрытым оборудованием. Совершенствование конструкций универсальных зерноочистительных машин или разделительного конвейера эффективными направлениями, которые устанавливаются в начале технологического цикла, позволяют зерну подвергаться очистке от крупных примесей на стадии загрузки.

При эксплуатации, всех вышеуказанных транспортных систем, направленных на бесперебойную работу ленточных конвейеров, относительно продольной оси конвейера в процессе работы, надежная устойчивость ленты не обеспечивается и снижается эксплуатационная стойкость.

Перевозка зернового сырья ленточными конвейерами производится с использованием натяжных роликов с глубокими канавками, при умеренной скорости ленты и контролируемого воздушного потока вокруг ленты. Достаточное натяжение ремня сводит к минимуму провисание между натяжными роликами и устраняет подпрыгивание зерна на каждом натяжном ролике с канавками.

Разработка технологии технического обслуживания ленточных элеваторов немаловажный этап форс-мажорных ситуаций возникающих на элеваторах, поэтому необходима своевременная диагностика и ремонт: уровня натяжения лент; регулировка подшипников качения; проверка сальников, манжетов и уплотнений; подтяжка всех болтовых соединений механизмов; крепежных и фиксирующих деталей; состояния натяжных устройств, наличия сорванных или ослабленных болтов или заклепок в металлоконструкции и их замена; присутствие шумов и стуков.

Оборудование должно быть высокопроизводительным и обеспечивать чистоту зернового материала в полном соответствии с государственными стандартами, а также недопустимо, чтобы зерноочистительная и транспортная техника повреждала зерно.

Одна из задач исследования заключалась в определении производительности ленточного транспортера при транспортировке сильно засоренного зерна с научным обоснованием оптимального угла наклона желобчатых роlikоопор.

Результаты и обсуждения

Для проведения экспериментов были изготовлены транспортеры с роlikоопорами с углом наклона боковых роlikов α , град: 20,30,45,60 и длиной ролика 0,3 м.

Транспортеры включались и при достижении устойчивого, равномерного движения конвейера и фиксированного значения потребляемой мощности электроприводом, осуществляли сбор зерна за определенный промежуток времени (10 минут). Полученные образцы взвешивали на технических весах с точностью

до 24 кг, определяли среднеарифметический показатель и находили часовую производительность для каждого замера.

Повторность опыта трехкратная. Для определения производительности экспериментальной установки применяли весы (рисунок 3) и секундомер (ТУ25-1819.0021). Весы автомобильные электронные ВСА-60 разработаны для организации системы учета и контроля на предприятиях с небольшим грузопотоком. Весы могут быть использованы в различных климатических зонах, защищены от воздействия агрессивных сред и предназначены для больших механических нагрузок. Весы автомобильные электронные ВСА-60 выпускаются по ГОСТ OIML R 76-1-2011 и внесены в Государственный реестр средств измерений под Регистрационным номером 63931-16. Весы автомобильные электронные ВСА-60 задекларированы согласно требованиям ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» и ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования». Процесс взвешивания представлен на рисунке 4.



Рисунок 3 – Весы автомобильные



Рисунок 4 – Процесс взвешивания автомобиля

Основой экспериментальной установки было новое техническое решение, техническая новизна исследований закреплена патентом на полезную модель № 8458 (Рисунок 5,6).

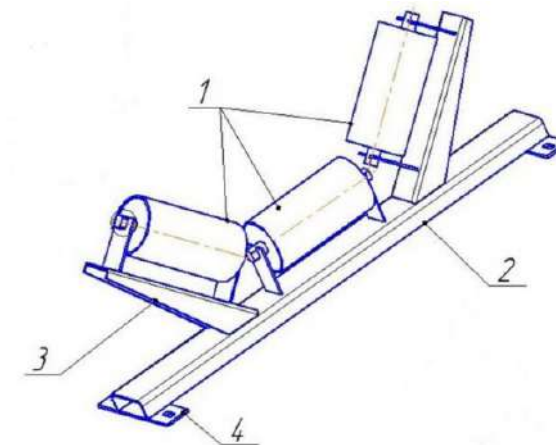


Рисунок 5 – Роликовая опора в сборе

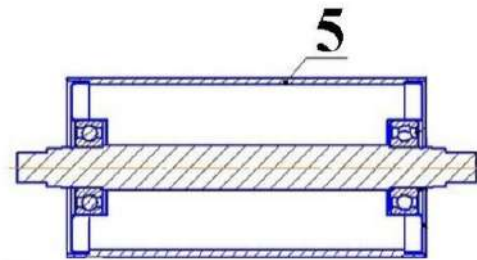


Рисунок 6 – Ролик

Роликовая опора желобчатая, опора состоит из одной поддерживающей ленты роликов, которые закреплены на раме и крыле, при этом она крепится посредством пластин к ленточному транспортеру, отличающаяся тем, что рама изготовлена цельной из стального штампованного профиля. На рисунке 6 - ролик с транспортной лентой. Роликовая опора, представленная на рисунке 5, состоит из роликов 1, которые закреплены на крыле 3 и раме 2, которая представляет собой цельнометаллическую конструкцию. И крепятся посредством пластин 4 к ленточному транспортеру. Перед началом работы лента сохраняет заданную желобчатость.

При работе транспортерная лента 5, перекачиваясь по постели из роликов 1, с определенным натяжением образует желобчатую емкость для расположения в ней транспортируемого материала. Рама представляет собой гнутый швеллер с 2-мя выдавленными ушками под крепление центрального горизонтального ролика, приваренными к нему по краям пластинам, которые соединяют роликовые опоры с ленточным транспортером и 2-мя крыльями приваренные под 45 градусов для установки на них боковых роликов. Детали рамы изготавливаются из стального, листового проката стали 3 с толщиной 3мм. Конструкция роликовой опоры, состоящая из 3-х роликов, поддерживает и придает должную форму эластичной транспортерной ленте.

Новизна заключается изготовлении рамы цельной из стального штампованного профиля с установкой крыльев под 45 либо 60 градусов.

Уменьшение угла наклона роликов симметрично расположенных друг другу, способствует центрированию ленты и облегчает ее возврат в первоначальное положение. Изготовлены ролики (рисунок 7), роlikоопоры с рамой (рисунок 8,9), а так же транспортеры с указанными ранее характеристиками (рисунок 10,11).



Рисунок 7 – Экспериментальные ролики



Рисунок 8 – Экспериментальные роликовая опора желобчатая с рамой



Рисунок 9 – Экспериментальные ролики и роликовые опоры желобчатая с рамой



Рисунок 10 – Экспериментальные транспортер с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 20^\circ$.



Рисунок 11 – Экспериментальные транспортер с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 30^\circ$.

Для проведения производственных испытаний была изготовлена экспериментальная установка (Рисунок 12).



Рисунок 12 – Экспериментальная установка для производственной проверки

После проведения экспериментов установлено, что значение потребляемой мощности электроприводом не превышает 5 %, т.е. входит в ошибку опыта, по этой причине считаем только производительность ленточного транспортера. После трехкратных замеров и перерасчета на тонны в час получили производительность в зависимости от угла наклона роликоопор (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований влияния угла наклона роликоопор на производительность ленточного конвейера

Повторность № 1

Показатель	Угол наклона роликоопоры, град.			
	20	30	45	60
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	172,3	186,7	160,3	104,5

Повторность №2

Показатель	Угол наклона роликоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	173,9	184,3	159,3	102,2

Повторность №3

Показатель	Угол наклона роликоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	170,2	187,3	158,1	100,7

В результате проведенных производственных испытаний установлена оптимальное расположение роликовых опор - 30 градусов, при этом производительность составила 186,1 т/ч.

Выводы

По результатам обзора можно сделать вывод, что Казахстан является крупным производителем и экспортером зерновых культур, потому процессы переработки и хранения зерновой продукции нуждаются в совершенствовании транспортных линий, особенно в вопросах вентиляции. Современная зерноочистительная техника должна соответствовать агротехническим требованиям, быть эффективной в процессах очистки зерна без повреждений, обладать высокой производительностью и обеспечивать чистоту зернового материала согласно стандарту. Необходим мониторинг качества состава зерна и зерновой пыли, при технологиях транспортировки, переработки и хранения и оценка уровня вентиляции зерна для охлаждения, снижения влажности, поддержания оптимальной температуры и предотвращения нагрева.

Общие требования к современным транспортным и зерноочистительным установкам проектируются с повышением производительности, надежности работы, устойчивости к вибрациям, с защитой окружающего воздуха и техники от загрязнения.

Сегодня большое значение имеют системы, которые автоматически регулируют режим работы ленточных конвейеров. К ним относятся настройка скорости ленты в соответствии с требуемой производительностью, регулировка натяжения ленты для работы привода без скольжения, автоматическое распределение тяги на приводном барабане, автоматическое центрирование для предотвращения заноса ленты и автоматическое поддержание нормального режима работы перегрузочных устройств.

Исходя из вышеизложенного, с каждым днем возрастает потребность в новых технических проектах по снижению рисков загрязнения окружающей среды пылью и улучшению системы аспирации, стойкости оборудования к тяжелым условиям эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Wheat J., Leali A.** Hazard monitoring equipment selection, installation, and maintenance [Текст] // In Storage of Cereal Grains and Their Products. – Woodhead Publishing, 2022. – P. 371–405.

2 **Jin H., Hu S., Xie B., Yan Y., Yang M., Zhou F.** Experimental optimization for cleaning parameters and field application of cartridge filter in bulk grain loading [Текст] // Powder Technology. – 2021. – P. 421–429.

3 **Шаяхметов Е. Я., Темиртасов О. Т., Мендебает Т. М.** Анализ работы и пути совершенствования ленточных конвейеров на элеваторах [Текст] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2014. – № 5. – С. 44–48.

4 **Roman-Sanchez, A., Laguna, A., Reimann, T., Giraldez, J. V., Peña, A., Vanwalleghe, T.** Bioturbation and erosion rates along the soil-hillslope conveyor belt, part 2: quantification using an analytical solution of the diffusion-advection equation [Текст]//Earth Surface Processes and Landforms. – 2019. – P. 2066–2080.

5 **Friso D.** Conveyor-belt dryers with tangential flow for food drying: Development of drying Odes useful to design and process adjustment [Текст] // Inventions. – 2021. – № 6. – P. 2106.

6 **Heilman M.** The Racial Elevator Speech: How Multiracial Individuals Respond to Racial Identity Inquiries [Текст] // Sociology of Race and Ethnicity. – 2022. – P. 1268.

7 **Permyakov V., Ganeev I., Akhmetyanov I., Karimov K., Verzilov S.** Improving the efficiency of corn drying in a conveyor belt dryer [Текст] // Journal of Environmental Science and Health. – 2021. – Part B. – № 56 (10). – P. 861–868.

8 **Suglobov V. V., Raksha S. V., Hrynko P. A.** Rationale for centering capacity of redesigned belt conveyor drums [Текст] // Science and Transport Progress. – 2016. – № 1 (61). – P. 158–168.

9 **Gella D., Maza D., Zuriguel I.** Granular internal dynamics in a silo discharged with a conveyor belt [Текст] // Journal of Fluid Mechanics. – 2021. – P. 925.

10 **Požėlienė A., Lynikienė S., Šapailaitė I., Sakalauskas A.** Utilization of strong electric field for special cleaning buckwheat seeds [Текст] // Agronomy Research. – 2008. – № 6. – P. 291–298.

11 **Kumar N.** Fundamentals of conveyors [Текст] // In Transporting Operations of Food Materials Within Food Factories. – Woodhead Publishing, 2023. – P. 221–251.

12 **Hrabovský L., Fries J.** Transport Performance of a Steeply Situated Belt Conveyor [Текст] // Energies. – 2021. – № 14(23). – P. 7984.

13 **Oorschot A.** Quantifying Reworking and Accumulation Rates in a Plaggic Anthrosol Using Feldspar Single-grain Luminescence Dating [Текст]. – 2018. – P. 56

REFERENCES

- 1 **Wheat J., Leali A.** Hazard monitoring equipment selection, installation, and maintenance // In Storage of Cereal Grains and Their Products. – Woodhead Publishing, 2022. – P. 371–405.
 - 2 **Jin H., Hu S., Xie B., Yan Y., Yang M., Zhou F.** Experimental optimization for cleaning parameters and field application of cartridge filter in bulk grain loading // Powder Technology. – 2021. – P. 421–429.
 - 3 **Shayakhmetov E. Ya., Temirtasov O. T., Mendebaev T. M.** Analiz raboty i puti sovershenstvovaniya lentochnykh konveyerov na elevatorakh [Analysis of the operation and ways to improve belt conveyors in elevators] // Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva. – 2014. – № 5. – P. 44–48.
 - 4 **Roman-Sanchez A., Laguna A., Reimann T., Giraldez J. V., Peña A., Vanvalleghe T.** Bioturbation and erosion rates along the soil-hillslope conveyor belt, part 2: quantification using an analytical solution of the diffusion-advection equation// Earth Surface Processes and Landforms. – 2019. – P. 2066–2080.
 - 5 **Friso D.** Conveyor-belt dryers with tangential flow for food drying: Development of drying Odes useful to design and process adjustment// Inventions. – 2021. – № 6. – P. 2106.
 - 6 **Heilman M.** The Racial Elevator Speech: How Multiracial Individuals Respond to Racial Identity Inquiries// Sociology of Race and Ethnicity. – 2022. – P. 1268.
 - 7 **Permyakov V., Ganeev I., Akhmetyanov I., Karimov K., Verzilov S.** Improving the efficiency of corn drying in a conveyor belt dryer// Journal of Environmental Science and Health. – 2021. – Part B. – № 56 (10). – P. 861–868.
 - 8 **Suglov V. V., Raksha S. V., Hrynko P. A.** Rationale for centering capacity of redesigned belt conveyor drums// Science and Transport Progress. – 2016. – № 1 (61). – P. 158–168.
 - 9 **Gella D., Maza D., Zuriguel I.** Granular internal dynamics in a silo discharged with a conveyor belt// Journal of Fluid Mechanics. – 2021. – P. 925.
 - 10 **Požėlienė A., Lynikienė S., Šapailaitė I., Sakalauskas A.** Utilization of strong electric field for special cleaning buckwheat seeds // Agronomy Research. – 2008. – № 6. – P. 291–298.
 - 11 **Kumar N.** Fundamentals of conveyors // In Transporting Operations of Food Materials Within Food Factories. – Woodhead Publishing, 2023. – P. 221–251.
 - 12 **Hrabovský L., Fries J.** Transport Performance of a Steeply Situated Belt Conveyor // Energies. – 2021. – № 14(23). – P. 7984.
 - 13 **Oorschot A.** Quantifying Reworking and Accumulation Rates in a Plaggic Anthrosol Using Feldspar Single-grain Luminescence Dating– 2018. – P. 56
- Поступило в редакцию 11.02.25.
Поступило с исправлениями 26.02.25.
Принято в печать 03.03.2025.

***Ж. А. Бекмырза¹, А. К. Құрманов¹, Н. А. Камышева²**

¹Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

²М. Дулатұлы атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

11.02.25 ж. баспаға түсті.

26.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАТТЫ ЛАСТАҒАН АСТЫҚ ДАҚЫЛДАРЫМЕН ЖҰМЫС ІСТЕУГЕ АРНАЛҒАН ЛЕНТАЛЫҚ КОНВЕЙЕРДІҢ ЖҰМЫСЫ ЖӘНЕ ӨНІМДІЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІН ЖЕТІЛДІРУ

Ауыл шаруашылығы шикізатын тасымалдаудың конвейерлік жүйелерінің техникалық параметрлері дамыған сайын астық сапасы біртіндеп жақсарады, таспалы транспортердің күрделі конструкциясы жұмысының тиімділігі артады, тиеу жұмыстарына шығындар азаяды, үздіксіз жұмыс істейтін тиеу-түсіру жүйелері жетілдіріледі. Мақаланың мақсаты астық шаңымен бітелу кезінде таспалы тасымалдаушының конструктивтік-технологиялық сұлбасын жетілдіре отырып, астық жүктерін тасымалдау тиімділігі мен орын ауыстыру процесінің өнімділігін зерделеу болып табылады.

Талдау, синтездеу және салыстыру әдістерін пайдалана отырып, энергия сыйымдылығын төмендетуді және ауыл шаруашылығы өндірісінің экономикалық тиімділігін негіздеуді қамтамасыз ететін оңтайлы конструктивтік-технологиялық іс-қимылдарды негіздеу, астық өндірудің егін жинаудан кейінгі циклінде тікелей егін сапасын бағалау үшін режимдік параметрлер бойынша таспалы тасымалдаушының өнімділігінің негізгі тұжырымдамалары мен қолданбалы зерттеулері зерттелді.

Нәтижелер зерттеу конвейер элементтерінің істен шығуына, роликті тіректердің шаңмен бітелуіне, таспаның жыртылуына әкелетін динамикалық жүктемелерді анықтауға мүмкіндік бергенін көрсетеді. Тасымалдау кезінде сусымалы астық жүктерін тазарту процестерін енгізу мүмкіндігі қарастырылды, қосымша шаңның пайда болуын болдырмау үшін астық партиясын сақтау және өңдеу, өйткені әрбір дәннің сыртқы бетінің кішкене бөлігі жойылады. Қолданыстағы технологияларды зерттеуге шолу және талдау құрылымдық ерекшеліктердің астық тасымалдаудың өнімділігі мен сапасына әсерін көрсетті. Таспаның жұмыс органының өсіп келе жатқан тармағындағы роликтердің модификациясы жетекші барабанда сырғанау кезінде екі жағынан астық шығынын азайтады.

Кілтті сөздер: дән, таспалы конвейер, сусымалы шикізат, қоспалар, шаң.

*Zh. A. Bekmyrza¹, A. K. Kurmanov¹, N. A. Kamysheva²¹ Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly
Republic of Kazakhstan, Kostanay,² Kostanay engineering and economics university named after
M. Dulatov Republic of Kazakhstan, Kostanay

Received 11.02.25.

Received in revised form 26.02.25.

Accepted for publication 03.03.25.

IMPROVING THE DESIGN AND PERFORMANCE PARAMETERS OF A BELT CONVEYOR FOR WORKING WITH SEVERELY CONTAMINATED GRAIN CROPS

As the technical parameters of conveyor systems for transporting agricultural raw materials develop, the quality of grain gradually improves, the efficiency of the complex design of the belt conveyor increases, the costs of loading operations are reduced, and continuous loading and unloading systems are improved. The purpose of the article is to study the efficiency of transportation and the productivity of the process of moving grain cargo, with the improvement of the design and technological scheme of the belt conveyor when clogged with grain dust. Using methods of analysis, synthesis and comparison, the basic concepts and applied studies of the performance of a belt conveyor according to operating parameters were investigated to substantiate optimal design and technological actions that ensure a reduction in energy intensity and substantiate the economic efficiency of agricultural production, assessing the quality of the crop directly in the post-harvest cycle of grain production. The results indicate that the study made it possible to determine the dynamic loads that lead to failures of conveyor elements, clogging of roller supports with dust, and belt ruptures. The possibility of implementing processes for cleaning bulk grain cargo during transportation, storage and processing of a batch of grain to prevent additional dust formation is considered, because a small part of the outer surface of each grain is erased. A review and analysis of research into existing technologies showed the impact of design features on the productivity and quality of grain transportation. Modification of the rollers on the ascending branch of the belt working body reduces grain losses on both sides when sliding on the drive drum.

Keywords: grain, conveyor belt, bulk raw materials, impurities, dust.

МРНТИ 55.53.01

<https://doi.org/10.48081/YESC1031>*А. С. Берг¹, А. А. Берг²^{1,2} Карагандинский технический университет имени Аблеса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>*e-mail: kibeko_1995@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КРАН-БАЛКИ С ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Исследование описывает решение задачи обеспечения прочности кран – балки мостового крана из стали ASTM A572-50. Оптимизация внутреннего сечения кран - балки за счет размещения ребер жесткости в виде пересекающихся ребер (X) повышает ее несущую способность. Важными факторами, обеспечивающими постоянство характеристик кран – балки из стали ASTM A572-50, изменение геометрии кран-балки, что является одним из эффективных способов повышения ее прочности и несущей способности. Правильно подобранная форма профиля балки позволяет оптимизировать распределение напряжений и снизить вероятность появления трещин и деформаций. Форма поперечного сечения балки существенно влияет на распределение напряжений внутри нее. Оптимальная геометрия позволяет снизить концентрацию напряжений в опасных зонах и предотвратить появление трещин. Анализ показывает, что правильно подобранная геометрия позволяет снизить массу балки без ущерба для ее прочности, что уменьшает энергопотребление крана и повышает его маневренность.

Математическое моделирование позволило установить прямую зависимость между нагрузкой на кран-балку и ее прогибом. Полученное уравнение регрессии с высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0.999$) подтверждает достоверность модели и позволяет прогнозировать поведение конструкции при различных нагрузках.

Ключевые слова: МКЭ, оптимизация конструкций, кран-балки, криволинейные ребра, прочность, жесткость.

Введение

Основная задача машиностроения в период «Индустрии 4.0» заключается в интеграции новых материалов, технологий и цифровых инноваций в производственные процессы. Это повышает качество продукции и снижают ее себестоимость, способствуют созданию эффективного конкурентоспособного оборудования и не требуют больших инвестиций [1].

Кран-балка является одним из ключевых элементов мостового крана, обеспечивая перемещение грузов по пролету. Ее надежная работа напрямую влияет на безопасность и эффективность производственных процессов. Однако,

в процессе эксплуатации кран-балки могут возникать различные неисправности, которые могут привести к простою оборудования и даже к аварийным ситуациям.

Таблица 1 – Проблемы, возникающие в кран – балке, их причины и дефекты

Проблемы возникающие в кран - балке	Причина	Дефекты
Износ ходовых колес и рельсов	Повышенные нагрузки, загрязнение, неправильная смазка, несоосность колес и рельсов.	Повышенный шум, вибрации, затрудненное перемещение крана.
Повреждение балок	Перегрузки, коррозия, усталостные трещины.	Прогибы, трещины, деформации.
Неисправности тормозной системы	Износ тормозных колодок, заклинивание механизмов, неисправность электрооборудования.	Затрудненное торможение, самопроизвольное движение крана.
Повреждение подшипников	Недостаточная смазка, перегрузки, попадание абразивных частиц.	Повышенный шум, вибрации, люфты.

В таблице 1 приведены проблемы, возникающие в кран – балке их причины и дефекты, в данной статье предлагается решить одну из этих проблем – повреждение балки. Данная проблема возникает из – за неправильной эксплуатации оборудования, т.е. превышение грузоподъемности и неравномерное распределение груза. При подъеме и перемещении грузов кран-балка подвергается динамическим нагрузкам. Оптимальная геометрия позволяет минимизировать их влияние и предотвратить преждевременный износ. В проведенных ранее исследованиях было выявлено, что оптимальная геометрией кран – балка является балка с криволинейными ребрами (X) [2].

Материалы и методы

При проектировании любой конструкции некоторые параметры фиксированы, а другие могут быть изменены по желанию конструктора. При проектировании несущих конструкций кран – балок такими параметрами является вес самой конструкции, цена производства, срок службы конструкции. Затем задача конструктора заключается в проектировании конструкции, выборе подходящих материалов и размеров самой конструкции. В настоящее время авторами проводится множество исследований, направленных на оптимизацию конструкции кран-балки и снижение ее веса [2–6].

Наиболее распространенным критерием при оптимизации конструкций мостового крана является вес конструкции, так как вес связан как с экономической составляющей, так и с эксплуатационными. Прежде чем перейти к процессу конструирования, необходимо выбрать метод оптимизации конструкции. Для более эффективного конструирования машиностроительных конструкций необходимо использовать стандартные модели оптимизации конструкции [7].

В большинстве случаев оптимизация происходит с использованием аддитивных и мультипликативных критериев [7]. Для оптимизации конструкции кран – балки целесообразно использовать модель штрафных функций, которая строится на основе ограничений g на качество конструкции кран – балки (прогиб),

а целевой функцией является масса. Данная модель основан на методе Дэвидона – Флетчера – Пауэлла [2]. Для более точной визуализации картины оптимизации необходимо построить график зависимости критериев (рисунок 1).

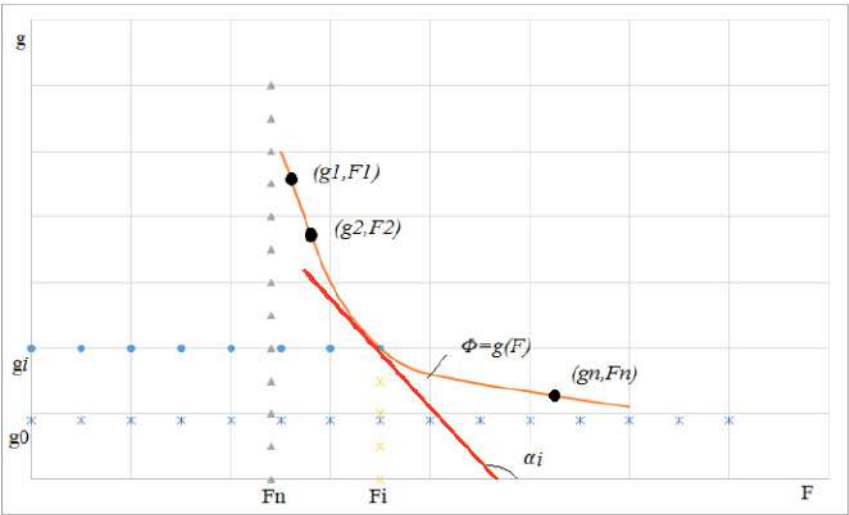


Рисунок 1 – Конструкция кран - балки с криволинейными ребрами жесткости

Исходя из графика видно, что оценка качества конструкторских решений наличие таких критериев, как критерий эффективности – F (вес) и качества g (прогиб). При достижении необходимого результата критерий эффективности должен быть минимизирован, а критерий качества должен стремиться к некоторым заданным значениям g. Произведен стандартный расчет критерия оптимизации модели по методу Дэвидона – Флетчера – Пауэлла [8]. Задача проектирования формулируется как задача в форме:

$$F(\bar{x}) \rightarrow min; g(\bar{x}) = g_0, \tag{1}$$

В соответствии с задачей исследования за целевую функцию принимается масса конструкции (формула 2) и прогиб (формула 3) (ρ_i – плотность материала):

$$M = \sum_{i=1}^n m_1, \quad m_1 = \rho_i \int_V dV \tag{2}$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 \frac{0,45 \sqrt[3]{l_2 + 0,001 l_2}}{0,45 \sqrt[3]{l_1 + 0,001 l_1}} \tag{3}$$

Ограничения задачи формируются на основе условий прочности и жесткости конструкции [7].

Практическая значимость оптимизации кран – балки заключается в следующих факторах:

- снижение концентрации напряжений, повышение устойчивости к динамическим нагрузкам (оптимизированная форма сечения, позволяет уменьшить концентрацию напряжений в опасных зонах, что повышает сопротивляемость к усталостным разрушениям и увеличивает срок службы);
- снижение материалоемкости (оптимизация геометрии позволяет снизить расход металла, что приводит к уменьшению массы конструкции и, соответственно, к снижению стоимости изготовления и эксплуатации крана);
- снижение деформаций (оптимизированная геометрия обеспечивает большую жесткость конструкции, что снижает деформации при нагрузке и повышает точность позиционирования грузов).

Целью данного исследование является – оптимизация геометрии кран – балки с целью повышения несущей способности и обеспечения прочности.

Результаты

На рисунке 2 изображена разработанная модель кран – балки из стали ASTM A572-50 с криволинейными ребрами жесткости.

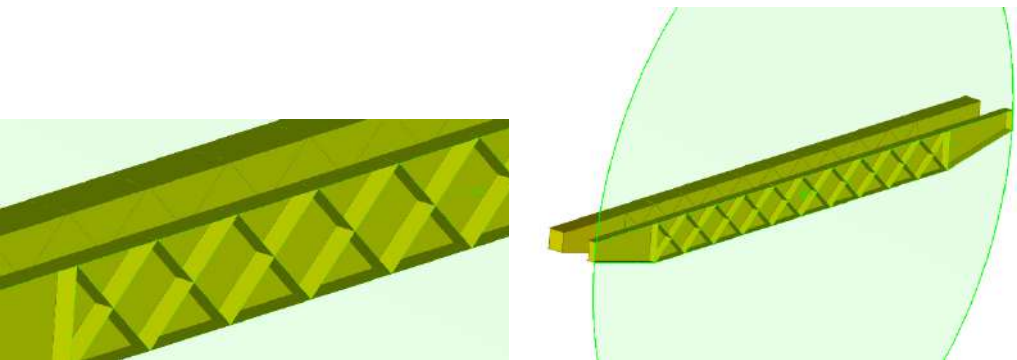


Рисунок 2 – Конструкция кран - балки с криволинейными ребрами жесткости

Разработанная геометрия станины металлорежущего станка, способна повысить сопротивляемость конструкционного профиля продольному изгибу и нагрузке на скручивание. Предложенная конструкция кран – балки на основе криволинейных ребер жесткости обеспечивает большую жесткость и устойчивость к вибрациям. Использование стали ASTM A572-50, как основного компонента изготовления длинномерных деталей, позволяет значительно повысить стабильность несущей системы станка и как следствие повышает точность обработки в 1,5 – 2 раза. Указанный технический результат достигается за счет расположения внутри профиля станины спирали с переменным шагом.

Для проведения эксперимента использовался состав стали ASTM A572-50, приведенный в таблице 1.

Таблица 2 – Состав стали ASTM A572-50 [3]

Составляющие	Процентное содержание, %
Углерод	≤ 0,27
Кремний	≤ 0,40
Марганец	≤ 1,35
Сера	≤ 0,05
Фосфор	≤ 0,04
Медь	≥ 0,20

Механические свойства стали ASTM A572-50 приведены в таблице 2.

Таблица 3 – Основные механические параметры (стали ASTM A572-50) [9 – 11]

Параметр	Значение
Предел прочности, МПа	$R_m = 448$
Предел текучести, Мпа	$R_{p0.2} = 345$
Относительное удлинение (200 мм), %, ≥	$\sigma = 18$

Для оценки прочности кран – балки из стали ASTM A572-50 на первом этапе был проведен статический анализ математической модели корпусов кран – балки методом конечных элементов инструментом BETA CAE System, ABAQUS [2]. Было проведено 20 вариантов нагружений кран- балки от 1 до 20 тонн, не превышая нагрузочную способность кран - балки.

Объем выборки для моделирования был определен по формуле (4) [12]:

$$n = \frac{t^2 s^2 N}{\Delta^2 N + t^2 s^2} \tag{4}$$

На рисунке 3 представлен возникающий прогиб при нагрузке в 10 тонн. Модель нагруженная силой равной 10 тонн, продемонстрировала наименьшую деформацию по оси Z, равную 4,43 мм (рисунок 2). Максимальные напряжения по критерию Von Mises составили 43,54 Мпа (рисунок 3) и были зафиксированы в зоне максимального прогиба.

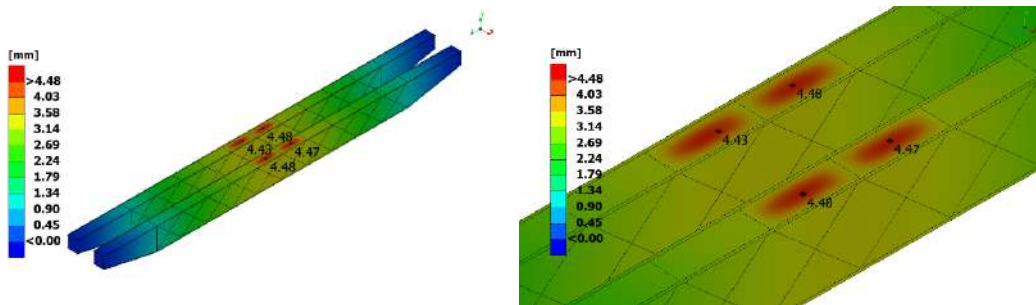


Рисунок 3 – Прогиб кран – балки из стали ASTM A572-50 при нагрузке 10 тонн

На рисунке 4 представлено напряжение, возникающее в кран – балке с геометрией в виде ребер жесткости (X) при нагрузке в 10 тонн.

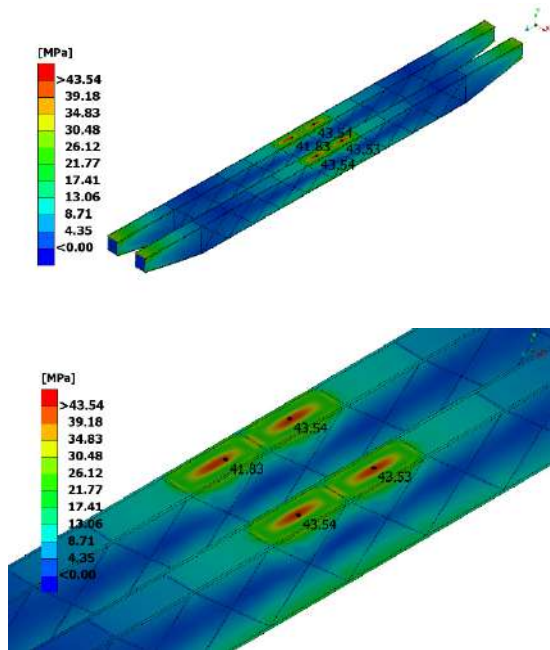


Рисунок 4 – Напряжение возникающее в кран – балке из стали ASTM A572-50 при нагрузке 10 тонн

На рисунке 5 представлен возникающий прогиб при нагрузке в 20 тонн. Модель нагруженная силой равной 20 тонн, продемонстрировала наименьшую деформацию по оси Z, равную 8,90 мм (рисунок 5). Максимальные напряжения по критерию Von Mises составили 84,74 МПа (рисунок 6) и были зафиксированы в зоне максимального прогиба.

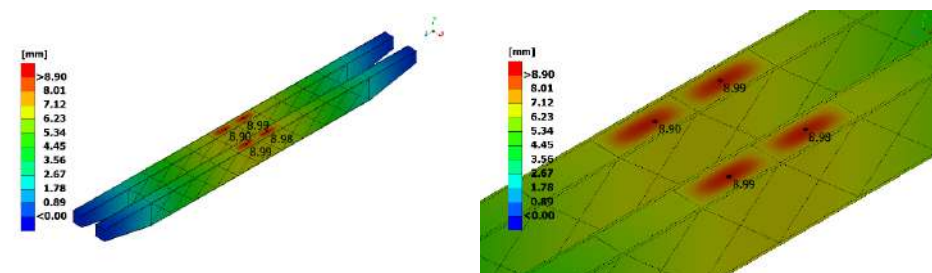


Рисунок 5 – Прогиб кран – балки из стали ASTM A572-50 при нагрузке 20 тонн

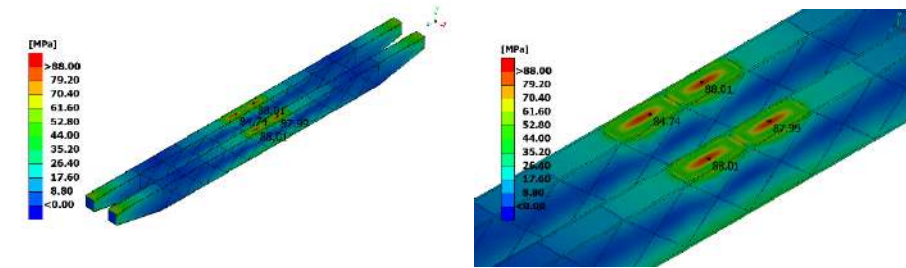


Рисунок 6 – Напряжение возникающее в кран – балке из стали ASTM A572-50 при нагрузке 20 тонн

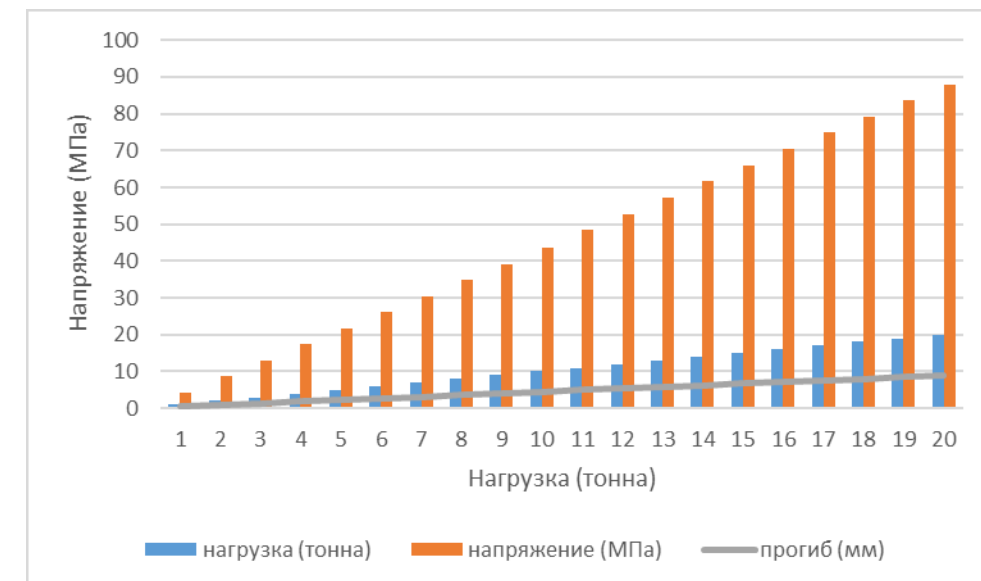


Рисунок 7 – График зависимости прочностных свойств кран – балки от прикладываемой нагрузки

На рисунке 7 представлен сравнительный график статического анализа с двадцатью вариантами нагружений кран – балки. Из графика видно, что прогиб кран – балки имеет линейную зависимость от прикладываемой силы.

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество и прочность кран - балки является правильно подобранный материал и геометрия.

На втором этапе для оценки прочности кран – балки из стали ASTM A572-50 с криволинейными ребрами жесткости (X) проводился однофакторный эксперимент. Графическим методом была определена линейная зависимость между показателем X и Y (рисунок 8), которая выражена уравнением (5).

$$y = 0.4478x - 0.0006 \quad (5)$$

Значение коэффициентов уравнения (4) были определены с использованием метода наименьших квадратов [13;14].

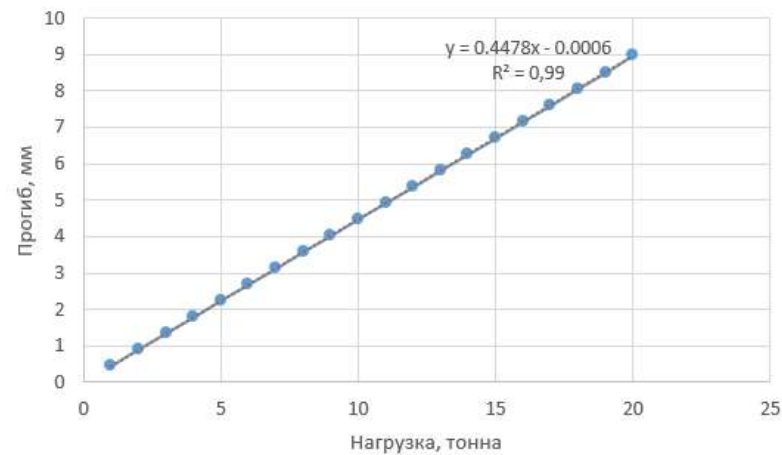


Рисунок 8 – График линейной зависимости прогиба (Y) от нагрузки (X)

Достоверность уравнения была проверена с помощью критерия Фишера $F_{кр} = 4,09$, расчетное значение $F = 16$, что означает значимость полученного уравнения [15;16].

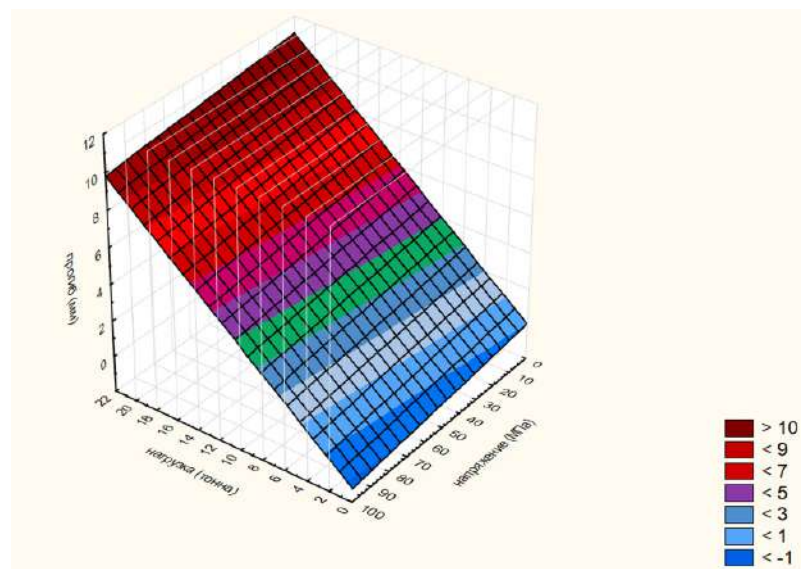


Рисунок 9 – График зависимости прогиба и напряжения от нагрузки

На рисунке 9 представлен график зависимости прогиба и напряжения от прикладываемой нагрузки к кран – балке, где наглядно видно, что при увеличении нагрузки, прогиб и напряжения увеличиваются прямопропорционально (от синего до красного).

При сравнении кран – балки стандартного сечения из материала Ст3, 09Г2С и оптимизированной геометрии из стали ASTM A572-50 можно сделать вывод, что вес конструкции снижается на 20 – 40 % в зависимости от выбранной геометрии,

а также снижаются максимальные напряжения на 60 %. При использовании стандартной геометрии и материала, максимальные напряжения равны 120 – 140 МПа [17], а при использовании оптимизированной геометрии 84,7 МПа.

Информация о финансировании (при наличии)

Статья подготовлена в рамках реализации гранта НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» для молодых ученых, соглашение №3 от 07.06.2024.

Выводы

В результате проведенного исследования было установлено:

Геометрия кран-балки, в виде пересекающихся ребер жесткости (X), снижает концентрацию напряжений по критерию Von Mises (84,74 МПа) в опасных сечениях при максимальной нагрузке (20 тонн) и предотвращает появление трещин, увеличивает жесткость, снижает вибрации и деформации, повышает точность позиционирования груза.

Наиболее сильное влияние на прогиб кран – балки имеет нагрузка, уравнение регрессии которой имеет следующий вид: $y = 0.4478x - 0.0006$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0.999$, объясняет изменение прогиба кран – балки от изменений нагрузки в 99 % случая.

Оптимизированная конструкция позволяет снизить вес на 20–40% не снижая прочность.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и производстве новых кран-балок, а также при модернизации существующих конструкций. Оптимизация геометрии позволяет повысить надежность и долговечность кранов, снизить затраты на их эксплуатацию и ремонт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Berg, A. S., Nurzhanova, O. A., Vytautas, T., Berg, A. A., Vitushenko, D. V. Improvement of Base Sets for Complex Configuration Parts when Assessing their Manufacturability within Industry 4.0 // Material and Mechanical Engineering Technology. – 2024. – № 2. – P. 25–35. – https://doi.org/10.52209/2706-977X_2024_2_25.
- 2 Берг, А. С., Нуржанова, О. А., Жаркевич, О. М., Берг, А. А. Определение прочности МРС и кран-балки с оптимизированной геометрией // Наука и техника Казахстана. – 2024. – № 4. – С. 47–60.
- 3 Kulka, J., Mantič, M., Grega, R., Siman, M., Kopas, M., Maláková, S. Optimisation of Box Girder Design of Overhead Cranes. Appl. Sci. 2024, 14, 9926. – <https://doi.org/10.3390/app14219926>
- 4 Hrabovský, L., Čepica, D., Frydryšek, K. Detection of mechanical stress in the steel structure of a bridge crane. Theor. Appl. Mech. Lett. 2021. – 11, 100299. – ISSN 2095-0349.
- 5 Pástor, M., Lengvarský, P., Hagara, M., Kuřka, J. Experimental investigation of the fatigue life of a bridge crane girder using SN method. Appl. Sci. 2022, 12, 10319.

6 Sun, C., Tan, Y., Zeng, J., Pan, J. S., Tao, Y. The Structure Optimization of Main Beam for Bridge Crane Based on An Improved PSO. J. Comput. 2011, 6. – С. 1585–1590.

7 Тай Зар Чжо Ньюнт. Оптимизация параметров конструкции стоек металлорежущих станков методом баланса градиентов при заданной жесткости // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 3–11.

8 Лемешко, Б. Ю. Методы оптимизации. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 126 с.

9 Интернет-ресурс – Сталь листовая горячекатаная ASTM A572 Класс 50. – [Электронный ресурс]. – <https://ru.lksteelpipe.com/hot-rolled-steel-plate-astm-a572-grade-50>.

10 Интернет-ресурс – ASTM A572 Grade 50. – [Электронный ресурс]. – <https://www.ssab.com/en-ca/brands-and-products/commercial-steel/structural-steel/astm-a572-grade-50>

11 Интернет-ресурс – Astm A572 Стальной Эквивалент/Свойства/Предел Текучести при Растяжении. – [Электронный ресурс]. – <https://ru.czyzindustry.com/info/astm-a572-steel-equivalent-properties-tensile-65816991.html>.

12 Интернет-ресурс – определение объема выборки. – [Электронный ресурс]. – https://studme.org/300499/statistika/opredelenie_obema_vyborki

13 Интернет-ресурс – Метод наименьших квадратов. – [Электронный ресурс]. – http://mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov.html

14 Интернет-ресурс – Метод наименьших квадратов. – [Электронный ресурс]. – <https://books.econ.msu.ru/Introduction-to-Econometrics/chap02/2.2/>

15 Интернет-ресурс – F -- критерий Фишера. – [Электронный ресурс]. – <https://cito-web.yspu.org/link1/metod/met125/node33.html>

16 Интернет-ресурс – Регрессионный анализ. – [Электронный ресурс]. – <https://portal.tpu.ru/SHARED/a/ALEXYEFREMOV/tutoring/Tab10/Lecture%203%20v0.pdf>

17 Жегульский В. П., Миронов В. И., Лукашук О. А. Проектирование и расчет крановых металлических конструкций : учебное пособие – Екатеринбург : Урал. ун-та, 2019. – 184 с.

REFERENCES

1 Berg, A. S., Nurzhanova, O. A., Vytautas, T., Berg, A. A., Vitushenko, D. V. Improvement of Base Sets for Complex Configuration Parts when Assessing their Manufacturability within Industry 4.0 // Material and Mechanical Engineering Technology. – 2024. – № 2. – P. 25–35. – https://doi.org/10.52209/2706-977X_2024_2_25.

2 Berg, A. S., Nurzhanova, O. A., Zharkevich, O. M., Berg, A. A. Opredelenie prochnosti MRS i kran-balki s optimizirovannoj geometriey [Determination of the strength of the MPC and crane beams with optimized geometry] // Nauka i tekhnika Kazaxstana. – 2024. – № 4. – P. 47–60.

3 Kulka, J., Mantič, M., Grega, R., Siman, M., Kopas, M., Maláková, S. Optimisation of Box Girder Design of Overhead Cranes. Appl. Sci. 2024, 14, 9926. – <https://doi.org/10.3390/app14219926>

4 Hrabovský, L., Čepica, D., Frydrýšek, K. Detection of mechanical stress in the steel structure of a bridge crane. Theor. Appl. Mech. Lett. 2021, 11, 100299, ISSN 2095-0349.

5 Pástor, M.; Lengvarský, P.; Hagara, M.; Kuřka, J. Experimental investigation of the fatigue life of a bridge crane girder using SN method. Appl. Sci. 2022, 12, 10319.

6 Sun, C., Tan, Y., Zeng, J., Pan, J. S., Tao, Y. The Structure Optimization of Main Beam for Bridge Crane Based on An Improved PSO. J. Comput. 2011, 6. – P. 1585–1590.

7 Taj Zar Chzho N'yunt. Optimizaciya parametrov konstrukcii stoeck metallorazhushhix stankov metodom balansa gradientov pri zadannoj zhestkosti [Optimization of the design parameters of the racks of metal-cutting machines by balancing gradients at a given stiffness]. // Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Mashinostroenie. – 2012. – № 1. – P. 3–11.

8 Lemeshko, B. Yu. Metody` optimizacii [Optimization methods]. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2009. – 126 P. 9.

9 Internet-resurs – Stal` listovaya goryachekatanaya ASTM A572 Klass 50 [Hot Rolled Steel Sheet ASTM A572 Class 50] [Electronic resource]. – <https://ru.lksteelpipe.com/hot-rolled-steel-plate-astm-a572-grade-50>.

10 Internet-resurs – ASTM A572 Grade 50. – [Electronic resource]. – <https://www.ssab.com/en-ca/brands-and-products/commercial-steel/structural-steel/astm-a572-grade-50>

11 Internet-resurs – Astm A572 Stal`noj E`kvivalent/Svojstva/Predel Tekuchesti pri Rastyazhenii [Astm A572 Steel Equivalent/Features/Tensile Yield strength] [Electronic resource]. – <https://ru.czyzindustry.com/info/astm-a572-steel-equivalent-properties-tensile-65816991.html>.

12 Internet-resurs – opredelenie ob`ema vy`borki [determining the sample size] [Electronic resource]. – https://studme.org/300499/statistika/opredelenie_obema_vyborki

13 Internet-resurs – Metod naimen`shix kvadratov [The least squares method] [Electronic resource]. – https://mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov.html

14 Internet-resurs – opredelenie ob`ema vy`borki [The least squares method] [Electronic resource]. – Metod naimen`shix kvadratov. – <https://books.econ.msu.ru/Introduction-to-Econometrics/chap02/2.2/>

15 Internet-resurs – F -- kriterij Fishera [F - Fischer's criterion] [Electronic resource]. – <https://cito-web.yspu.org/link1/metod/met125/node33.html>

16 Internet-resurs – Regressionny`j analiz [Regression analysis] [Electronic resource]. – <https://portal.tpu.ru/SHARED/a/ALEXYEFREMOV/tutoring/Tab10/Lecture%203%20v0.pdf>

17 Zhegul'skij V. P., Mironov V. I., Lukashuk O. A. Proektirovanie i raschet kranovy`x metallicheskih konstrukcij [Design and calculation of crane metal structures]: uchebnoe posobie – Ekaterinburg : Ural. un-ta, 2019. – 184 p.

Поступило в редакцию 22.01.25.

Поступило с исправлениями 24.01.25.

Принято в печать 26.02.2025.

**A. C. Berg¹, A. A. Berg²*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.
22.01.25 ж. баспаға түсті.

24.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

26.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН ГЕОМЕТРИЯМЕН КРАН СӘУЛЕСІНІҢ БЕРІКТІГІН ЗЕРТТЕУ

Зерттеу ASTM A572-50 болаттан жасалған көпір қранының қран арқалығының беріктігін қамтамасыз ету мәселесінің шешімін сипаттайды. Қиылысатын қабырғалар (X) түрінде қаттылық шеттерін орналастыру арқылы қран сәулесінің ішкі қимасын оңтайландыру оның жүк көтергіштігін арттырады. ASTM A572-50 болаттан жасалған қран арқалығының сипаттамаларының тұрақтылығын қамтамасыз ететін маңызды факторлар, қран арқалығының геометриясын өзгерту, бұл оның беріктігі мен көтергіштігін арттырудың тиімді әдістерінің бірі. Сәулелік профильдің дұрыс таңдалған формасы кернеудің таралуын оңтайландыруға және жарықтар мен деформациялардың пайда болу ықтималдығын азайтуға мүмкіндік береді. Сәуленің көлденең қимасының пішіні оның ішіндегі кернеулердің таралуына айтарлықтай әсер етеді. Оңтайлы геометрия қауіпті аймақтардағы кернеу концентрациясын төмендетуге және жарықтардың алдын алуға мүмкіндік береді. Талдау көрсеткендей, дұрыс таңдалған геометрия сәуленің массасын оның беріктігіне нұқсан келтірмей азайтуға мүмкіндік береді, бұл қранның қуат тұтынуын азайтады және оның маневрлік қабілетін арттырады.

Математикалық модельдеу қран арқалығындағы жүктеме мен оның ауытқуы арасында тікелей байланыс орнатуға мүмкіндік берді. Алынған жоғары детерминация коэффициенті бар регрессия теңдеуі ($R^2=0.999$) модельдің дұрыстығын растайды және әртүрлі жүктемелер кезінде құрылымның әрекетін болжауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: МКЭ, конструкцияларды оңтайландыру, қран арқалықтары, қисық сызықты жиектер, беріктік, қаттылық.

**A. S. Berg¹, A. A. Berg²*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Karaganda, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 22.01.25.

Received in revised form 24.01.25.

Accepted for publication 26.02.25.

INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF A CRANE BEAM WITH OPTIMIZED GEOMETRY

The study describes the solution to the problem of ensuring the strength of the overhead crane girder made of ASTM A572–50 steel. Optimization of the internal section of the crane beam by placing stiffeners in the form of intersecting ribs (X) increases its bearing capacity. Important factors ensuring the consistency of the characteristics of the ASTM A572–50 steel crane girder are changing the geometry of the crane girder, which is one of the effective ways to increase its strength and bearing capacity. A properly selected beam profile shape optimizes stress distribution and reduces the likelihood of cracks and deformations. The shape of the cross-section of the beam significantly affects the stress distribution inside it. The optimal geometry allows you to reduce the stress concentration in hazardous areas and prevent the appearance of cracks. The analysis shows that a properly selected geometry makes it possible to reduce the weight of the beam without compromising its strength, which reduces the crane's energy consumption and increases its maneuverability.

Mathematical modeling allowed us to establish a direct relationship between the load on the crane beam and its deflection. The obtained regression equation with a high coefficient of determination ($R^2=0.999$) confirms the reliability of the model and makes it possible to predict the behavior of the structure under various loads.

Keywords: FEM, optimization of structures, crane beams, curved ribs, strength, rigidity.

*Т. М. Бузауова¹, Г. К. Сарсенгалиева²^{1,2}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8454-6948>*e-mail: toty_77@mail.ru**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ**

В данной статье рассматривается оценка качества плазменной резки с использованием квалиметрического анализа с упором на определение ключевых параметров, влияющих на производительность резки и образование дефектов. Плазменная резка широко используется для обработки токопроводящих материалов, но изменения параметров процесса могут привести к дефектам, влияющим на качество конечного продукта. В данном исследовании проводится комплексная оценка качества плазменной резки путем изучения таких факторов, как скорость резки, мощность, шероховатость поверхности и зона термического воздействия. С помощью метода экспертной оценки и применения интегрального показателя качества мы выявляем наиболее значимые параметры, влияющие на качество резки, уделяя особое внимание минимизации дефектов поверхности. Регрессионный анализ дополнительно поддерживает оптимизацию параметров, предоставляя модель, которая коррелирует скорость и мощность резания с объемом дефектов. Результаты показывают, что увеличение скорости резки и оптимизация настроек мощности значительно уменьшают такие дефекты, как заусенцы и шероховатость поверхности, тем самым повышая общее качество резки. Это исследование дает ценную информацию для повышения точности и эффективности плазменной резки, а предлагаемая модель может быть полезна для промышленного применения, требующего высококачественных результатов.

Ключевые слова: плазменная резка, качество поверхности, коэффициент корреляции, уравнение регрессии, интегральный показатель.

Введение

Плазменная резка – это один из наиболее широко применяемых методов термической обработки токопроводящих материалов. В основе этого лежит использование ионизированной газовой струи (плазмы), которая при высокой температуре и скорости резки позволяет обрабатывать металлы с низкой точностью и эффективностью [1].

Согласно исследованиям [2], плазменная резка отличается высокой скоростью и глубиной, что делает ее незаменимой при обработке таких металлов, как сталь, алюминий и медь. Однако, при этом процессе могут возникать различные дефекты

(рис.1), которые могут повлиять на качество резки и окончательный вид изделия [3].



Рисунок 1 – Виды дефектов при плазменной резке

Качество плазменной резки является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность этого метода. Исследователи уделяют значительное внимание изучению параметров процесса, которые влияют на качество реза, таких как скорость, мощность и состав газа [4].

Исследования, проведенные в работе [5], показывают, что одним из ключевых факторов, влияющих на качество резки, является скорость движения резака. Авторы установили, что при увеличении скорости реза уменьшается ширина зоны термического воздействия, что положительно сказывается на качестве поверхности.

В [6, 7] особое внимание уделяется анализу наиболее распространенных дефектов плазменной резки, включая грат, шероховатость поверхности и образование окалины. Для устранения этих дефектов авторы предлагают методы, включающие оптимизацию параметров резки (скорости, высоты факела и мощности), использование низкого защитного газа для предотвращения окисления.

Качество поверхности, полученной при плазменной резке, представляет собой ключевой показатель, имеющий значительную важность для потребителей. При оценке уровня качества технических изделий часто используется квалиметрическая оценка. Квалиметрическая оценка плазменной резки – это процесс систематической оценки качества реза с использованием различных критериев и методов [8]. В работах [9, 10] рассматриваются современные методы улучшения качества плазменной резки с использованием новых технологий, и квалиметрической оценки качества реза, в зависимости от балльной оценки, основанной на распределении факторов, таких как шероховатость поверхности, ширина зоны термического воздействия и глубина прореза.

Таким образом, современные исследования указывают на важность точной настройки параметров резки для достижения высококачественных результатов. Работы [5, 6] подчеркивают, что скорость и давление газа являются ключевыми параметрами, оказывающими влияние на качество реза. В то же время

исследования [7, 8, 9, 10] предлагают методы контроля и оценки качества, что позволяет минимизировать дефекты и повысить точность резки.

Согласно литературному обзору, квалиметрическая оценка является важным инструментом в современном управлении качеством, и позволяет оптимизировать параметры резки и повысить качество резки.

Актуальность исследования заключается в необходимости оценки параметров реза и разработки оптимальных настроек для снижения количества дефектов. Плазменная резка, как метод обработки, широко используется для обработки металлов, но различные параметры процесса, такие как скорость, мощность, и ширина зоны термического влияния, могут существенно влиять на качество поверхности, вызывая дефекты и увеличивая износ оборудования.

Цель данного исследования заключается в определении и оценке влияния ключевых параметров процесса плазменной резки на качество резаной поверхности. Исследование также направлено на создание модели, позволяющей прогнозировать качество реза при различных настройках оборудования. Это позволит обеспечить стабильное качество продукции, повысить её точность и долговечность, а также оптимизировать условия резки для достижения наилучших показателей при минимальных затратах.

Материалы и методы

Метод квалиметрической оценки для анализа качества плазменной резки по различным критериям. Экспертная оценка проводилась с участием специалистов, которые оценивали параметры по важности и значимости для конечного качества резки.

Интегральный показатель качества, который учитывает весовые коэффициенты для каждого из параметров, а также нормированные значения показателей, чтобы дать комплексную оценку качества.

В настоящем исследовании используется регрессионное уравнение, ранее рассчитанное и опубликованное в работе [11], где была определена базовая модель зависимости параметров плазменной резки. В данной статье это уравнение применяется для построения зависимости между скоростью резки и количеством дефектов, а также для проведения квалиметрической оценки качества резки. Новизна научной работы заключается в использовании уравнения регрессии для оценки качества, что не рассматривалось в предыдущей публикации.

На основе проведенных экспериментов, включающих анализ различных параметров плазменной резки на качество поверхности, были выявлены основные факторы, обеспечивающие наибольшее влияние на количество дефектов: скорость резки и мощность. По результатам регрессионного анализа установлено, что увеличение скорости резки до 1,4 м/мин при мощности 2000 Вт приводит к значительному снижению дефектов, таких как заусенцы и неровности, на поверхности реза [11].

По полученному уравнению регрессии, подставляя числовые значения скорости резки рабочего узла плазменной машины, строим зависимость (рис. 1).

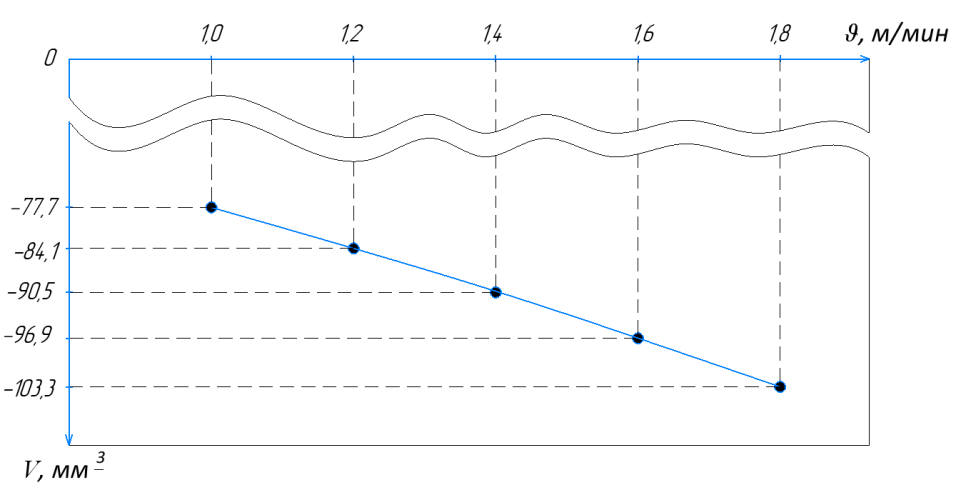


Рисунок 1– График зависимости скорости плазменной резки от объема дефектов

График зависимости (рис.1) демонстрирует линейную зависимость с отрицательной корреляцией, показывая, что увеличение скорости резки способствует снижению объема выявленных дефектов.

Для квалиметрической оценки качества процесса плазменной резки были использованы экспертный метод и интегральный показатель качества. Экспертный метод позволяет оценить сложные и многопараметрические процессы, опираясь на мнение специалистов в данной области. В качестве экспертов выступали операторы станков плазменной резки с ЧПУ ТОО «КарПЛАЗ», обладающие практическим опытом и глубокими знаниями в специфике работы оборудования. Экспертный метод, основанный на оценке качества характеристик объектов и процессов через мнения специалистов, широко используется для анализа и обоснования решений в условиях многокритериальности [12].

Интегральный показатель качества был выбран для обеспечения сводной оценки, объединяющей все ключевые параметры процесса, включая точность, шероховатость и стабильность реза. Этот показатель позволяет систематизировать данные и получить обобщённый результат, что особенно важно для сравнения вариантов и принятия решений в промышленной практике.

Экспертами оцениваемые параметры отмечены по важности в диапазоне от 1 до 10 баллов (табл.1).

Таблица 1 – Результаты экспертной оценки

Оцениваемый параметр	Эксперты					Общая сумма, балл
	№1	№2	№3	№4	№5	
Скорость резки - Q ₁	10	10	10	10	9	49
Мощность - Q ₂	9	8	9	7	10	43
Шероховатость - Q ₃	8	7	10	9	8	42
Точность размеров - Q ₄	9	8	6	9	7	39
Общее количество	36	33	35	35	34	173

На основе полученных сумм рангов составляется обобщенный ранжированный ряд:

$$Q_4 < Q_3 < Q_2 < Q_1 \quad (1)$$

На основе ранжированного ряда можно установить, что ключевым показателем является скорость резки, а вторым по значимости – мощность плазменной резки. Построенный ряд позволяет проанализировать значимость данных показателей.

Коэффициент весомости определяется по следующей формуле и представляет собой результат экспертной оценки:

$$m_i = \frac{Q_{i,j}}{\sum_{i=1,j=1}^{n,k} Q_{i,j}} \quad (2)$$

где n – число экспертов;

k – количество оцениваемых показателей.

$$m_1 = \frac{49}{173} = 0,283; \quad m_2 = \frac{43}{173} = 0,248; \quad m_3 = \frac{42}{173} = 0,242; \\ m_4 = \frac{39}{173} = 0,225; \\ \sum_{i=1}^4 m_i = 0,283 + 0,248 + 0,242 + 0,225 = 1$$

Несколько экспертов, когда оценивают один и тот же объект по определённым критериям, возникает необходимость определить степень согласованности их оценок. Для этого используется коэффициент конкордации [12], который рассчитывается по следующей формуле:

$$W = \frac{12S}{n^2(k^3 - k)} \quad (3)$$

где S – квадратная сумма отклонений рангов или баллов каждого объекта от среднего арифметического значения;

n – число экспертов;

k – количество оцениваемых показателей.

S определяется по формуле как отклонение от среднего арифметического значения:

$$S = \sum_{i=1}^n (Q_{i,j} - Q_{op})^2 \quad (4)$$

$$Q_{op} = \frac{377}{7} = 53,8;$$

$$S = 5,75^2 + 0,25^2 + 1,25^2 + 4,25^2 = 52,75$$

$$W = \frac{12 \cdot 52,75}{25(64 - 4)} = \frac{633}{1500} = 0,422$$

W=0 – абсолютное несоответствие; W=1 – полное соответствие мнений. Следовательно: $0 \leq W \leq 1$. В нашем случае $0 \leq 0,422 \leq 1$.

По результатам экспертного метода установлено, что среди выбранных показателей скорость резки и мощность являются важными. При этом мнение экспертов согласно коэффициенту конкордации совпадает на среднем уровне. На основе полученных параметров произвим расчет интегрального показателя качества.

Интегральный показатель качества (ИПК) – это комплексная метрика, используемая для оценки качества продукции, процессов или услуг на основе нескольких отдельных показателей. Он позволяет объединить различные аспекты качества в единую оценку, что особенно важно в ситуациях, где одно лишь значение не может дать полной картины [13]. Расчет интегрального показателя представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для расчета

Название параметра	Весовые коэффициенты	Диапазон
Скорость резки	$W_{\text{скорость}} = 0,6$	1,0-1,8 м/мин
Мощность резки	$W_{\text{мощность}} = 0,4$	1800-2000 Вт

Нормирование значений:

$$X_i = \frac{P_i - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \quad (5)$$

где P_i – текущее значение;

P_{max} и P_{min} – максимальное и минимальное значения.

Интегральный показатель качества:

$$Q = (W_{\text{скорость}} \cdot X_{\text{скорость}}) + (W_{\text{мощность}} \cdot X_{\text{мощность}}) \quad (6)$$

- при: $\vartheta 1 = 1$ м/мин, $P1 = 1800$ Вт:

Нормирование скорости:

$$X_{\text{скорость}} = \frac{1,0 - 1,0}{1,8 - 1,0} = 0$$

Нормирование мощности:

$$X_{\text{мощность}} = \frac{1800 - 1800}{2000 - 1800} = 0$$

Интегральный показатель качества:

$$Q = (0,6 \cdot 0) + (0,4 \cdot 0) = 0$$

- при: $v_1 = 1$ м/мин, $P_2 = 2000$ Вт:

Нормирование скорости:

$$X_{\text{скорость}} = \frac{1,0 - 1,0}{1,8 - 1,0} = 0$$

Нормирование мощности:

$$X_{\text{мощность}} = \frac{2000 - 1800}{2000 - 1800} = 1$$

Интегральный показатель качества:

$$Q = (0,6 \cdot 0) + (0,4 \cdot 1) = 0,4$$

Также рассчитываем для других показателей, результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчета интегрального показателя

№	Скорость v , м/мин	Мощность P , Вт	Интегральный показатель, Q
1	1	1800	0
		2000	0,4
2	1,2	1800	0,15
		2000	0,55
3	1,4	1800	0,3
		2000	0,7
4	1,6	1800	0,45
		2000	0,85
5	1,8	1800	0,6
		2000	1

Результаты и обсуждение

На графике (рис.2) показана зависимость параметра Q от мощности P для различных скоростей плазменной резки (табл.3).

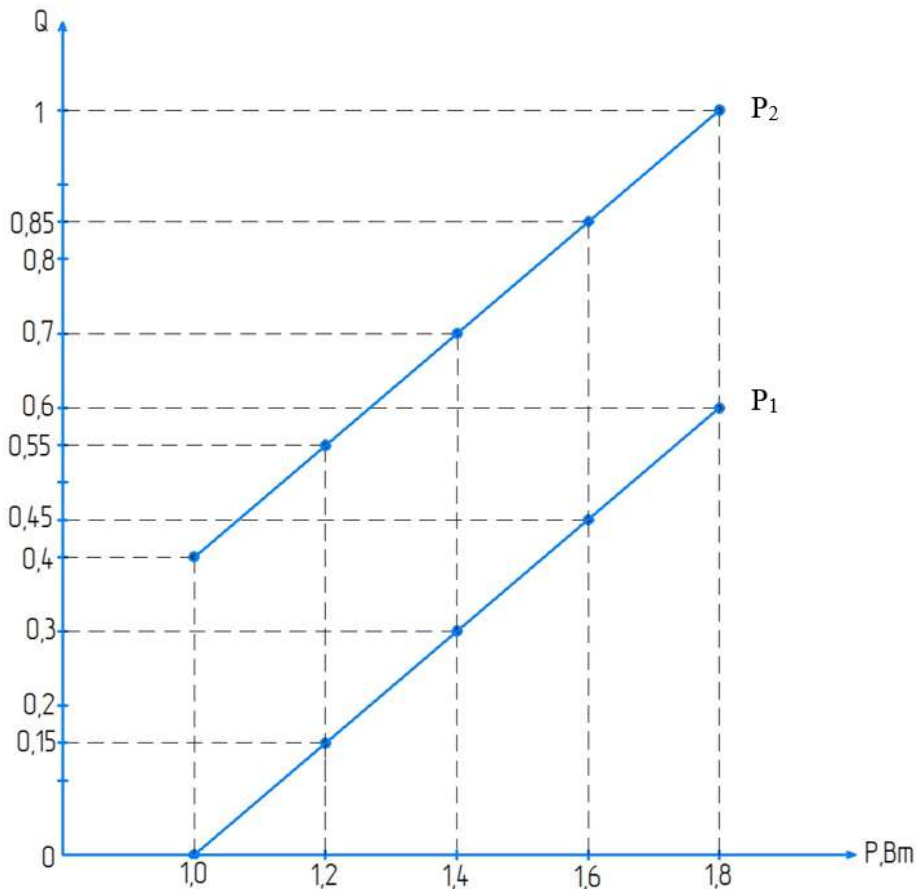


Рисунок 2 – График зависимости интегрального показателя Q от мощности для скоростей v_1-v_5

При увеличении мощности P значение Q увеличивается для всех скоростей плазменной резки $v_1 - v_5$. При большей скорости резки ($v_5 = 1,8$ м/мин) показатель Q выше при каждом значении мощности по сравнению с меньшими скоростями ($v_1 - v_4$). Это показывает, что скорость резки значительно влияет на качество параметров реза, которые определяются через интегральный показатель качества Q . Данный график (рис.2) демонстрирует, что мощность и скорость резки оказывают влияние на параметр Q , который является индикатором качества и уровня дефектов в процессе плазменной резки. Это подкрепляет актуальность проведения квалиметрической оценки, так как от правильного подбора этих параметров зависят конечные характеристики реза.

Выводы

1 Проведенный анализ показал, что мощность и скорость резки оказывают значительное влияние на параметр качества Q , что подтверждается изменением его значений при варьировании данных параметров. При повышении мощности и скорости резки наблюдается рост значения Q , что может свидетельствовать о снижении количества дефектов.

2 На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что для достижения оптимального качества резки необходимо выбирать подходящие значения мощности и скорости резки. Выявленные зависимости могут служить ориентиром при настройке параметров плазменной резки, что позволяет уменьшить количество дефектов и повысить общую эффективность процесса.

3 Применение квалитетической оценки и экспертного метода позволило оценить качество процесса плазменной резки на более глубоком уровне, используя мнения специалистов и интегральные показатели. Это подтверждает эффективность предложенного метода для комплексной оценки качества резки и может быть рекомендовано для использования в промышленной практике.

4 Основная новизна исследования заключается в разработке и применении регрессионного уравнения для оценки качества резки, а также в его использовании для построения зависимости между технологическими параметрами и показателем качества. Данный подход не рассматривался в предыдущих публикациях, что подчеркивает оригинальность и актуальность исследования.

5 Результаты исследования могут быть применены в промышленности для улучшения качества резки на плазменных установках. Разработанная методика позволяет проводить более точную настройку оборудования, что способствует снижению брака, увеличению производительности и улучшению конечных характеристик реза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Галкин, А. М.** Технологические основы плазменной и лазерной резки. Издательство ТГТУ, 2019. – 216 с.
- 2 **Жуков, С. И., Петров, А. А., Ковалев, Н. И.** Квалитетическая оценка машин и ориентиров. М. : Машиностроение, 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 100–108.
- 3 **Murat, Z., Mohammed, C., Mohammed, A., Qasim, A., Qasim, Z.** Developments in Plasma Arc Cutting (PAC) of Steel Alloys: A Review. Jurnal Kejuruteraan. 30 (1). 2018. – P. 7–16. – <https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30>.
- 4 **Бузауова, Т. М., Сарсенгалиева, Г. К.** Идентификация и классификация дефектов в процессе плазменной резки // Труды Республиканской конференции. – Караганда : Изд-во КарТУ. – 2024. – С. 149–150.
- 5 **Пантелеев, А. Н.** Качество плазменной резки и методы его оценки. Издательство: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 178 с.
- 6 **Smith, J., Wang, L., Patel, R.** The Influence of Cutting Speed on Plasma Cut Quality // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. Vol. 225. – P. 54–62.
- 7 **Lee, H., Kim, T.** Analysis of Plasma Cutting Defects and Prevention Methods // Surface and Coatings Technology. – 2018. – Vol. 330. – P. 345–352.
- 8 **Иванов, В. Н.** Методы квалитетической оценки в промышленности. — СПб.: Наука и техника, 2015. – 320 с.
- 9 **Zhang, Q., Li, F.** Qualimetric Assessment of Plasma Cutting // Journal of Advanced Manufacturing. – 2021. Vol. 62. – P. 200–210.

10 **Martinez, P., Oliver, T.** Automatic Quality Control in Plasma Cutting: New Technologies // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – Vol. 48. – P. 77–85.

11 **Бузауова, Т. М., Сарсенгалиева, Г. К.** Планирование и экспериментальные исследования выбора оптимального параметра при плазменной резке // Труды Университета. – 2024. – № 3 (96). – С. 66–72.

12 **Габдрахманов, Р. Н.** Методы оценки качества: квалитетрия и экспертиза. – Казань: Издательство Казанского университета, 2020. – 240 с.

13 **Коваленко, А. В.** Интегральные показатели качества продукции и методы их оценки. – М. : Наука, 2017. – 280 с.

REFERENCES

- 1 **Galkin, A. M.** Technologicheskie osnovy` plazmennoj i lazernoj rezki [Technological fundamentals of plasma and laser cutting] Izd-vo TGTU. – 216p.
- 2 **Zhukov, S. I., Petrov, A. A., Kovalev, N. I.** Kvalimetricheskaya ocenka mashin i orientirov [Qualimetric assessment of machines and landmarks]. M. : Mashinostroenie, 2020. – T. 24. – № 2. – P. 100–108.
- 3 **Murat, Z., Mohammed, C., Mohammed, A., Qasim, A., Qasim, Z.** Developments in Plasma Arc Cutting (PAC) of Steel Alloys : A Review. Jurnal Kejuruteraan. 30 (1). 2018. – P. 7–16. – <https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30>.
- 4 **Buzauova, T. M., Sarsengalieva, G. K.** Identifikaciya i klassifikaciya defektov v processe plazmennoj rezki [Identification and classification of defects in the plasma cutting process] // Trudy` Respublikanskoj konferencii. – Karaganda : Izd-vo KarTU. – 2024. – P. 149–150.
- 5 **Panteleev, A. N.** Kachestvo plazmennoj rezki i metody` ego ocenki [Plasma cutting quality and methods for assessing it] Izd-tvo: MGTU im. N. E`Baumana, 2017. – P. 178.
- 6 **Smith, J., Wang, L., Patel, R.** The Influence of Cutting Speed on Plasma Cut Quality // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – Vol. 225. – P. 54–62.
- 7 **Lee, H., Kim, T.** Analysis of Plasma Cutting Defects and Prevention Methods // Surface and Coatings Technology. – 2018. – Vol. 330. – P. 345–352.
- 8 **Ivanov, V. N.** Metody` kvalimetricheskoj ocenki v promy`shlennosti [Methods of qualimetric assessment in industry] – SPb. : Nauka i tekhnika. 2015. – 320 p.
- 9 **Zhang, Q., Li, F.** Qualimetric Assessment of Plasma Cutting // Journal of Advanced Manufacturing. – 2021. – Vol. 62. – P. 200–210.
- 10 **Martinez, P., Oliver, T.** Automatic Quality Control in Plasma Cutting: New Technologies // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – Vol. 48. – P. 77–85.
- 11 **Buzauova, T. M., Sarsengalieva, G. K.** Planirovanie i e`ksperimental`ny`e issledovaniya vy`bora optimal`nogo parametra pri plazmennoj rezke [Planning and experimental studies of choosing the optimal parameter for plasma cutting] // Trudy` Universiteta. – 2024. – № 3 (96). – P. 66–72.

12 **Gabdraxmanov, R. N.** Metody` ocenki kachestva: kvalimetriya i e`kspertiza [Quality assessment methods: qualimetry and examination]. – Kazan`: Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2020. – 240 p.

13 **Kovalenko, A. V.** Integral`ny'e pokazateli kachestva produkci i metody` ix ocenki [Integral indicators of product quality and methods for their assessment]. – M.: Nauka, 2017. – 280 p.

Поступило в редакцию 19.11.24.

Поступило с исправлениями 19.11.24.

Принято в печать 14.01.2025.

***Т. М. Бузауова¹, Г. К. Сарсенгалиева²**

^{1,2}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

19.11.24 ж. баспаға түсті.

19.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

14.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПЛАЗМАЛЫҚ КЕСУДІҢ САПАСЫН БАҒАЛАУ

Бұл мақалада кесу өнімділігі мен ақаулардың пайда болуына әсер ететін негізгі параметрлерді анықтауға баса назар аудара отырып, квалиметриялық талдау арқылы плазмалық кесу сапасын бағалау қарастырылады. Плазмалық кесу ток өткізгіш материалдарды өңдеу үшін кеңінен қолданылады, бірақ технологиялық параметрлердің өзгеруі соңғы өнімнің сапасына әсер ететін ақауларға әкелуі мүмкін. Бұл зерттеуде кесу жылдамдығы, қуаты, беттің кедір-бұдыры және термиялық әсер ету аймағы сияқты факторларды зерттеу арқылы плазмалық кесу сапасы жан-жақты бағаланады. Сарапшылардың бағалау әдісін және интегралды сапа көрсеткішін қолданып кесу ақауларын азайту мақсатымен, кесу сапасына әсер ететін ең маңызды параметрлері анықталды. Регрессиялық талдаудан алынған модель кесу жылдамдығы мен қуатты ақау көлемімен байланыстыруды қамтамасыз ету арқылы параметрді қосымша оңтайландырды. Нәтижелер кесу жылдамдығын арттыру және қуат параметрлерін баптау беттің кедір-бұдыры сияқты ақауларды айтарлықтай азайтатынын және осылайша жалпы кесу сапасын жақсартатынын көрсетеді. Бұл зерттеу плазмалық кесудің дәлдігі мен тиімділігін арттыру үшін құнды ақпарат береді және ұсынылған модель жоғары сапалы нәтижелерді қажет ететін өнеркәсіптік қолданбалар үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: плазмалық кесу, беттің сапасы, конкордация коэффициенті, регрессия теңдеуі, интегралды көрсеткіш.

***Т. М. Бузауова¹, Г. К. Сарсенгалиева²**

^{1,2}Abylqas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 19.11.24.

Received in revised form 19.11.24.

Accepted for publication 14.01.25.

QUALITY ASSESMENT OF PLASMA CUTTING

This article examines the quality assessment of plasma cutting through the use of qualimetric analysis, focusing on identifying key parameters that influence cutting performance and defect formation. Plasma cutting is widely used for processing conductive materials, but variations in process parameters can lead to defects that impact the quality of the final product. This study provides a comprehensive quality assessment of plasma cutting by examining factors such as cutting speed, power, surface roughness, and the heat-affected zone. Using the expert evaluation method and an integral quality indicator, we identify the most significant parameters affecting cutting quality, with a particular focus on minimizing surface defects. Regression analysis further supports parameter optimization by providing a model that correlates cutting speed and power with defect volume. The results show that increasing cutting speed and optimizing power settings significantly reduce defects such as burrs and surface roughness, thereby enhancing overall cutting quality. This research offers valuable insights for improving the accuracy and efficiency of plasma cutting, and the proposed model may be beneficial for industrial applications requiring high-quality outcomes.

Keywords: plasma cutting, surface quality, concordance coefficient, regression equation, integral indicator.

***А. А. Ергешев¹, А. К. Ракишев², Н. Ю. Кузминова³**

^{1,2}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

³Қарағанды индустриалық университеті, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9005-2309>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9535-4108>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1705-0405>

*e-mail: abdulkarim.yergeshev@bk.ru

АДДИТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯМЕН АЛЫНҒАН PLA ҮЛГІЛЕРІНІҢ БЕРІКТІГІН ТАЛДАУ

Бұл жұмыста Fused Deposition Modelling (FDM) әдісімен 3D-басу технологиялық параметрлерінің полилактид (PLA) үлгілерінің созылу беріктігіне әсері зерттеледі. Үш негізгі фактор қарастырылды: толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және басу жылдамдығы. Екі деңгейлі үш факторлы тәжірибе жүргізілді, оның барысында үлгілер басылып, олардың механикалық сынақтары өткізілді. Тәжірибелік деректер негізінде әр фактордың әсерін сандық бағалауға мүмкіндік беретін сызықтық регрессия теңдеуі алынды.

Теңдеу коэффициенттерінің талдауы көрсеткендей, ең үлкен әсерді қабырға қалыңдығы көрсетеді, оның артуы беріктікті төмендетеді. Толтыру тығыздығы механикалық қасиеттерге оң әсер етеді. Басу жылдамдығы елеулі әсер етпейді, бұл статистикалық талдаумен расталды. Факторлардың беріктікке тәуелділігін графикалық талдау моделі де растады.

Алынған нәтижелердің физикалық түсіндірмесі FDM-басу кезінде бұйымдар құрылымының қалыптасу ерекшеліктеріне байланысты. Параметрлерді оңтайландыру басылған бөлшектердің беріктігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл инженерлік және биомедициналық қолданбалар үшін маңызды. Алынған нәтижелер FDM әдісімен функционалды бұйымдарды өндіру үшін технологиялық процесті реттеу кезінде пайдаланылуы мүмкін, сонымен қатар FDM өнімдерінің сапасы мен сенімділігін арттыру үшін басып шығару параметрлерін оңтайландыру үшін де пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: 3D-басу, FDM, PLA, механикалық қасиеттер, статистикалық талдау.

Кіріспе

Қазіргі заманғы 3D-басу технологиялары тез дамып, машина жасау, медицина және авиация сияқты түрлі салаларда кеңінен қолданылады. Әртүрлі аддитивті өндіріс әдістерінің ішінде Fused Deposition Modelling (FDM) ерекше орын алады, ол қолжетімділігі, оңайлығы және полимерлі материалдардың кең спектрін қолдану мүмкіндігімен ерекшеленеді. Дегенмен, FDM әдісімен алынған

бұйымдардың механикалық қасиеттері басу параметрлеріне байланысты болып, олардың пайдалану сипаттамаларын болжауды қиындатады және технологиялық факторлардың әсерін егжей-тегжейлі зерттеуді талап етеді [1; 2; 3; 4; 5; 6].

Полилактид (PLA) FDM-басу үшін ең танымал материалдардың бірі болып табылады, себебі ол экологиялық таза, биосыйымды және қанағаттанарлық механикалық сипаттамаларға ие [7; 8]. Дегенмен, оның созылу беріктігі толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және басу жылдамдығы сияқты параметрлерге байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Осыған байланысты, бұйымдардың максималды механикалық беріктігін қамтамасыз ететін оңтайлы басу параметрлерін анықтау, сондай-ақ технологиялық факторлардың материалдың беріктік сипаттамаларына әсерінің физикалық себептерін анықтау өзекті міндет болып табылады.

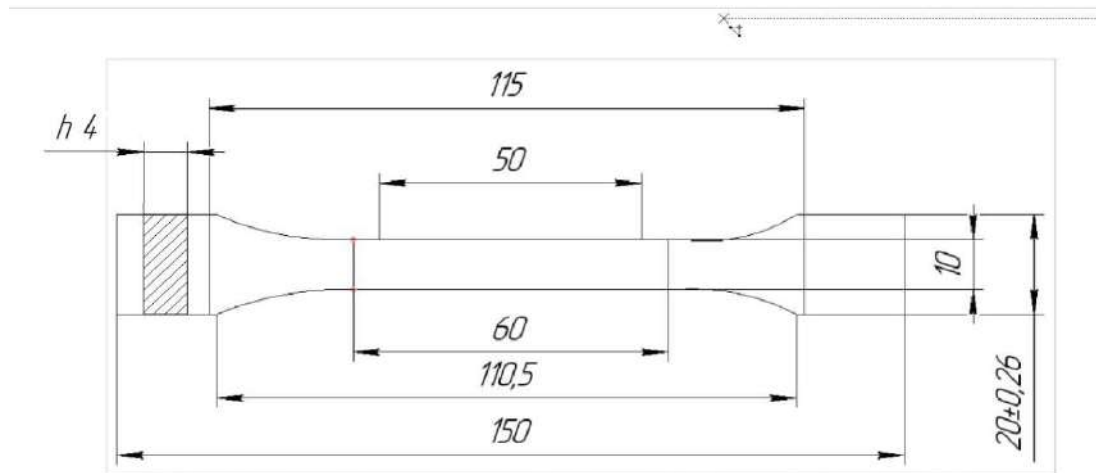
Соңғы жылдары FDM-басу параметрлерінің бұйымдардың механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған көптеген зерттеулер жүргізілді. Мысалы, [9, б.2] жұмысында әртүрлі басу бағыттары соңғы элементтер әдісімен зерттелді, сонымен қатар бұл жұмыста статикалық талдау әдісімен басу бағытынан басқа толтыру, экструдер температурасы және периметр зерттелді. Статистикалық талдау басу бағыты мен толтыру түрінің алынған механикалық қасиеттерге күшті әсер ететінін көрсетті.

Басқа зерттеуде [10, б. 255] FDM әдісімен басылған PLA үлгілерінің механикалық қасиеттері экструдер жылдамдығы, басу жылдамдығы, салқындау жылдамдығы сияқты параметрлермен қарастырылды. Зерттеуде машиналық оқытудың сызықтық регрессия, полиномиялық регрессия, тірек векторының регрессиясы (SVR) тәрізді бірқатар әдістері қолданылды.

Бұл зерттеу FDM әдісімен 3D-басу технологиялық параметрлерінің, соның ішінде толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және басу жылдамдығының PLA бұйымдарының механикалық қасиеттеріне әсерін талдауға бағытталған. Алынған деректер негізінде жеке факторлардың маңыздылығын анықтау, беріктік сипаттамаларын арттыру үшін оңтайлы басу параметрлерін анықтау жоспарлануда.

Материалдар мен әдістері

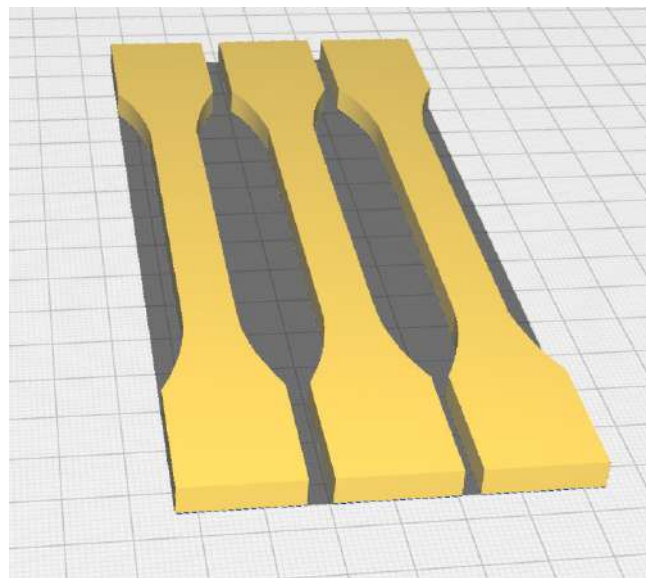
3D-принтерде басылған бөлшектердің механикалық қасиеттерін және әртүрлі пайдаланушы басқаратын басу параметрлерін қолданған кездегі осы қасиеттердің өзгергіштігін анықтау үшін бұл зерттеуде толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және басу жылдамдығының созылу беріктігі мен созылу кезіндегі деформацияға байланыстылығы қарастырылды. Созылу сынағына арналған үлгі 1-суретте көрсетілгендей CAD бағдарламасында жасалып, стереолитография (STL) файлы ретінде сақталды, ал геометрия ISO 527-1:2012 I типті үлгінің геометриясына сәйкес жобаланды. Содан кейін STL файлы әртүрлі процесс параметрлерімен G-кодқа түрлендірілді. Материал ретінде 1,75 мм диаметрлі PLA жіп пайдаланылды. Полилактид қышқылы (PLA) бұл процесс үшін ең жиі қолданылатын материалдардың бірі болып табылады, сонымен қатар FDM-де қолданылатын екінші ең танымал термопластик.



1-сурет – Сынақ үлгісінің өлшемдері

FDM – бұл аддитивті өндірісте әртүрлі материалдардан үлгілер жасау үшін кеңінен қолданылатын әдіс. FDM технологиясы, сонымен қатар FFF (Fused Filament Fabrication) деп аталады. Үлгілерді басу үшін Ultimaker Cura бағдарламалық құралы пайдаланылды. Cura-ның негізгі артықшылықтарының бірі оның қолдану оңайлығы, әртүрлі файл форматтарын қолдауы және көптеген 3D-принтерлермен үйлесімділігі.

Барлық үлгілер PLA үлгілерінің анизотроптық табиғатының әсерін азайту үшін 2-суретте көрсетілгендей көлденең бағытта басылды.



2-сурет – Басылған созылу сынақ үлгілерінің көрінісі

Созылу сынағын өткізу үшін РЭМ-200 универсалды сынақ жүйесі пайдаланылды. Сынақ басқарылатын ығысумен өткізілді, басқару құрылғысы ретінде экстензометр қолданылды. Жоғарғы ұстағыш үзілгенше 5 мм/мин жылдамдықпен қозғалды. Ығысу ΔL және жүктеме күші F мәндері тәжірибе барысында тіркелді, ал инженерлік кернеу σ және деформация ε мәндері келесі теңдеулер негізінде есептелді:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{10 \times 4} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta L}{60} \quad (2)$$

мұнда A – көлденең қима ауданы, L – ұзындық, ал σ және F сәйкесінше Па (Паскаль) және Н (Ньютон) бірліктерінде өлшенеді.

Тәжірибе жоспарлау үшін толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және басу жылдамдығы сияқты үш фактор қарастырылды. Бөлшек беріктігіне әсер етуі мүмкін басқа процесс параметрлері бар, мысалы, қабат биіктігі, басу жылдамдығы, салқындату және т.б. Бұл зерттеуде тұтынушылар жиі өзгертетін процесс параметрлеріне назар аударылды. Сондықтан бұл зерттеуде әрбір экструдер диаметрі үшін өндіруші белгілеген әдепкі параметрлер қолданылды. Тәжірибе жоспарлау кезінде әр фактордың екі деңгейі болды, ал жауап ретінде созылу беріктігі алынды. 1-кестеде қолданылған басу параметрлері көрсетілген.

Таблица 1 – Кіріс параметрлері мен олардың мәндері

Параметр	Өлшем бірлігі	Деңгейлері	
Толтыру тығыздығы	%	30	70
Қабырға қалыңдығы	мм	0,6	1
Басу жылдамдығы	мм/с	40	60

Тәжірибе жоспарлаудың мақсаты – сызықтық үлгіні алу. Берілген жұмыста 23 тұрпатты тәжірибе жүргізілді, мұнда факторлардың саны $k=3$, деңгейлердің саны $p=2$, тәжірибелер саны $N=8$, қайталама сынақтар саны $n=3$. Тәжірибе сынаулардың бірқалыпты қосарлауымен (қайталауымен) өткізілді. Яғни жоспарлау матрицаның барлық жолдарында параллель сынаулардың саны бірдей. Созылу сынақтары үшін барлығы 24 үлгі басылды.

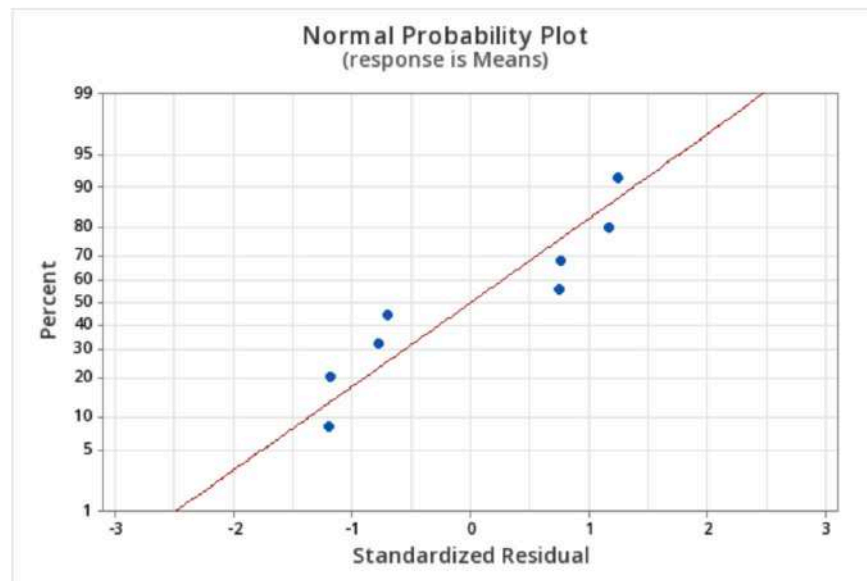
Нәтижелер және талқылау

Сынақтарды өткізгеннен кейін нәтижелердің санақтық өңделуі жүргізілді. Өңделген мәліметтердің негізінде келесі сызықтық теңдеу алынды:

$$y = 924 + 9,9x_1 - 57,6x_2 - 27,9x_{123} \quad (3)$$

Алынған сызықтық теңдеу PLA үлгілерінің созылу беріктігінің толтыру тығыздығы, қабырға қалыңдығы және олардың өзара әрекеттесуіне тәуелділігін сипаттайды. Коэффициенттерді талдау көрсеткендей, толтыру тығыздығының

артуы беріктікке оң әсер етеді ($b_1=9.9$), ал қабырға қалыңдығының артуы оны айтарлықтай төмендетеді ($b_2=-57.6$). Үш фактордың өзара әрекеттесуі ($b_{123}=-27.9$) теріс әсер етеді, бірақ оның әсері аз. Алынған сызықтық моделдің жеткіліктілігін бағалау үшін қалдықтардың нормалдылығын талдау жүргізілді. Бір әдіс – Normal Probability Plot (Қалыпты ықтималдық графигі) құру, бұл қалдықтардың нормалды таралуға сәйкес келетінін көзбен анықтауға мүмкіндік береді.

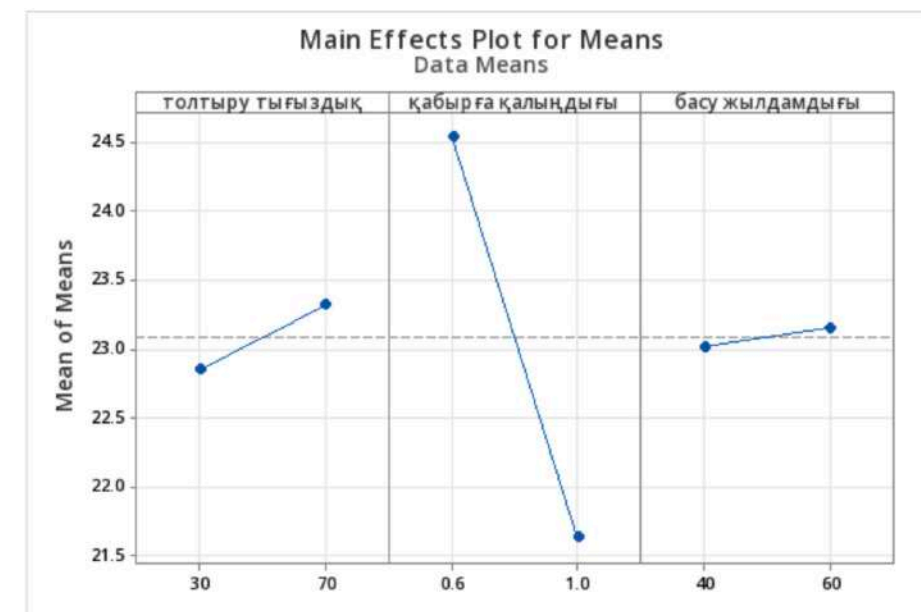


3-сурет – Қалыпты ықтималдық графигі

Қалыпты ықтималдық графигінде қалдықтар түзу бойымен орналасқан, бұл олардың нормалды таралуға жуық екенін көрсетеді. Графиктің шеттерінде шамалы ауытқулар байқалды, бірақ олар елеусіз және елеулі жүйелі қателердің болуына дәлел емес. Бұл FDM технологиялық параметрлерінің беріктікке тәуелділігін сипаттау үшін сызықтық моделдің жеткіліктілігін растайды.

Коэффициенттер b_3 , b_{12} , b_{13} және b_{23} сенімділік интервалынан төмен болды, бұл олардың статистикалық маңызды еместігін көрсетеді. Атап айтқанда, басу жылдамдығының әсері ($b_3=3.25$) беріктікке елеулі емес. Бұл моделді жеңілдетуге мүмкіндік береді, басылған үлгілердің механикалық қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлар ретінде толтыру тығыздығы мен қабырға қалыңдығына назар аударуға болады.

Тендеудің негізінде алынған үш фактордың әсері график түрінде 4-суретте бейнеленген.



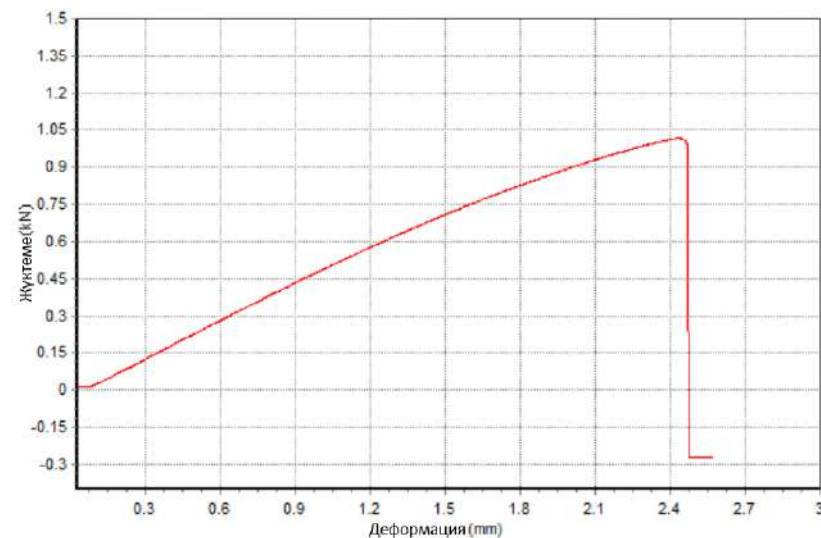
4-сурет – Үш параметрдің үлгінің механикалық қасиетіне әсері

Негізгі әсерлер графиктерін талдау көрсеткендей, толтыру тығыздығы беріктікке оң әсер етеді: 30 %-дан 70 %-ға дейін артқанда орташа мәндердің шамалы өсуі байқалады. Бұл толтыру тығыздығының жоғарылауы басылған үлгілердің механикалық қасиеттерін жақсартатынын растайды, бірақ әсері елеусіз.

Қабырға қалыңдығы беріктікке ең күшті әсер етеді. Қалыңдық 0,6 мм-ден 1,0 мм-ге дейін артқанда беріктік айтарлықтай төмендейді, бұл сызықтық тендеудегі теріс коэффициентке сәйкес келеді. Бұл ішкі кернеулердің қалыптасу ерекшеліктеріне және үлкен қалыңдықтарда үлгілердің біртекті емес құрылымына байланысты болуы мүмкін.

Басу жылдамдығы 40–60 мм/с диапазонында беріктікті іс жүзінде өзгертпейді, бұл графикалық талдаумен және модельдегі төмен коэффициентпен расталады. Демек, оны механикалық қасиеттерге елеулі әсер етпей өзгертуге болады, басқа басу параметрлерін оңтайландыруға назар аударуға болады.

Толтыру тығыздығының артуы беріктікті арттырады, себебі материал қабаттары арасындағы байланыстар саны артады, ал ішкі қуыстар азаяды. Бұл әлсіз аймақтарда кернеулердің шоғырлануынан бұзылу ықтималдығын төмендетеді. Дегенмен, тым жоғары толтыру тығыздығы ішкі кернеулердің артуына әкелуі мүмкін, бұл механикалық қасиеттерге әсер етуі мүмкін. Бұл қабырға қалыңдығына да қатысты болуы мүмкін, тым қалың қабырғалар қабаттардың біркелкі емес салқындауына әкелуі мүмкін, бұл ішкі ақауларды тудырады.



5-сурет – Жүктеме-ығысу қисығы

5-суретте максималды жүктеме мәні бар үлгінің жүктеме-ығысу қисығының мысалы көрсетілген. Графиктен бастапқы кезеңде серпімді деформацияға сәйкес сызықтық кесінді бар екенін көруге болады. Ығысу ұлғайған сайын пластикалық деформация орын алады, содан кейін жүктеме өзінің максималды мәніне жетеді (созылу беріктігінің шегі). Содан кейін қисық үлгінің қирауына алып келетін жүктеменің төмендеуін көрсетеді.

Созылу беріктігін анықтау:

Созылу беріктігі-бұл үлгіні бұзғанға дейін тіркелген максималды кернеу.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1052}{10 \times 4} = 26,3 \text{ МПа}$$

ISO 527 стандартына сәйкес PLA-пластиктің созылу беріктігі 50–70 МПа құрайды. Алайда экспериментте созылу сынағы кезінде үлгілер 100% толтырылмады, сондай-ақ қабат қалыңдығы мен басып шығару жылдамдығы сияқты параметрлер қолданылды. Осы факторлардың әсерінен алынған үлгілер стандарттағы көрсетілген үлгілерге қарағанда әлсіз болды.

Қорытынды

Зерттеу барысында FDM әдісімен басылған PLA үлгілерінің созылу беріктігі толтыру тығыздығына, қабырға қалыңдығына және басу жылдамдығына байланысы бар екені анықталды. Алынған сызықтық регрессия теңдеуі осы факторлардың әсерін сандық бағалауға мүмкіндік берді, ең үлкен әсерді қабырға қалыңдығы көрсететінін, ал басу жылдамдығының үлесі аз екенін көрсетті. Статистикалық талдау факторлардың өзара әрекеттесу коэффициенттерінің елеусіз екенін көрсетті, бұл олардың мәндері сенімділік интервалынан аспауымен расталды.

Факторлардың беріктікке тәуелділігін графикалық талдау толтыру тығыздығы мен қабырға қалыңдығының артуы беріктікті арттыратынын, ал басу жылдамдығының артуы механикалық сипаттамаларды төмендететінін көрсетті. Қалдықтардың нормалды таралуын талдау моделдің дұрыстығын растады, регрессия теңдеуінің жеткілікті дәлдігін көрсетті.

Алынған нәтижелердің физикалық түсіндірмесі FDM-басу кезінде құрылымның қабаттық қалыптасу ерекшеліктеріне негізделген. Толтыру тығыздығы ішкі байланыстар санын анықтайды, қабырға қалыңдығы жүктемені таратуға әсер етеді, ал басу жылдамдығы қабаттар арасындағы жабысудың дәрежесін анықтайды. Осылайша, басылған PLA бұйымдарының созылу беріктігін арттыру үшін орташа басу жылдамдығында жоғары толтыру тығыздығы мен қабырға қалыңдығын қолдану ұсынылады.

Үлгілердің микроқұрылымын одан әрі зерттеу, соның ішінде фрактография және қабат аралық байланыстарды талдау, бұзылу механизмдері мен процесс параметрлерінің әсері туралы қосымша түсінік беруге мүмкіндік береді. Болашақта мұндай зерттеулерді жүргізу 3D басу режимдерін өзгерту кезінде пайда болатын микроскопиялық ақауларды анықтауға және оларды азайту жолдарын анықтауға көмектеседі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Rajkumar, S.** Effect of infill pattern and build orientation on mechanical properties of FDM printed parts : An experimental modal analysis approach// arXiv preprint arXiv:2202.05692. – 2022.

2 **Milovanović, A., Sedmak, A., Grbović, A., Golubović, Z., Mladenović, G., Čolić, K., Milošević, M.** Comparative analysis of printing parameters effect on mechanical properties of natural PLA and advanced PLA-X material // Procedia Structural Integrity. – 2020. 28. – 1963–1968 p.

3 **Rodrigues, M. B., Amaral, F. D., Teixeira, P. H. D., Torres, R. D.** Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology // Materials Research – 2018. 21(4)

4 **Sabyrov, N., Ailgazyev, A., Desmond, A., Hazrat, A.** Design of a flexible neck orthosis on Fused Deposition Modeling printer for rehabilitation on regular usage. – 2021. – 63–71 p.

5 **Mikolajewska, E., Macko, M., Ziarnicki, L., Stańczak, S., Kawalec, P., Mikolajewski D.** 3D printing technologies in rehabilitation engineering // Journal of Health Sciences. – 2014. – 12. – 78–83 p.

6 **Keating, S. J., Gariboldi, M. I., William, G. P., Sunanda, S., David, S., Oxman, K. N.** 3D Printed Multimaterial Microfluidic Valve// PloSONE. – 2016. – e0160624 p.

7 **Mohd Sabee, M. M. S., Ahmad Tajuddin, N. N. I., Ku Ishak, K. M., Rusli, A., Abdullah, M. K.** Comparison of physical and mechanical properties of biodegradable polybutylene adipate terephthalate, polycaprolactone, and poly (lactic acid) fabricated

via fused deposition modeling and conventional molding // Journal of Applied Polymer Science, 2022. – 139(29).

8 Farah, S., Anderson, D. G., Langer, R. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications A comprehensive review.// Advanced Drug Delivery Review. – 2016. – 107, 367–392 p.

9 Bragaglia, M., Cecchini, F., Paleari, L., Ferrara, M., Rinaldi, M., Nanni, F. Modeling the fracture behavior of 3D-printed PLA as a laminate composite: Influence of printing parameters on failure and mechanical properties// Composite Structures.– 2023.

10 Quan, R., Chinchilla, S.C., Nassehi, A., Liu, F. Machine learning-driven optimization of 3D printing parameters for PLA bone scaffolds with enhanced mechanical properties//Procedia CIRP. – 2024. – 125. – 255–259 p.

REFERENCES

1 Rajkumar, S. Effect of infill pattern and build orientation on mechanical properties of FDM printed parts : An experimental modal analysis approach// arXiv preprint arXiv:2202.05692.– 2022

2 Milovanović, A., Sedmak, A., Grbović, A., Golubović, Z., Mladenović, G., Čolić, K., Milošević, M. Comparative analysis of printing parameters effect on mechanical properties of natural PLA and advanced PLA-X material // Procedia Structural Integrity.– 2020. 28, 1963–1968 p.

3 Rodrigues, M. B., Amaral, F. D., Teixeira, P. H. D., Torres, R. D. Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology // Materials Research – 2018. 21(4)

4 Sabyrov, N., Ailgazyev, A., Desmond, A., Hazrat, A. Design of a flexible neck orthosis on Fused Deposition Modeling printer for rehabilitation on regular usage. – 2021. – 63–71 p.

5 Mikolajewska, E., Macko, M., Ziarnicki, L., Stańczak, S., Kawalec, P., Mikolajewski D. 3D printing technologies in rehabilitation engineering // Journal of Health Sciences. – 2014. – 12. – 78-83 p.

6 Keating, S. J., Gariboldi, M. I., William, G. P., Sunanda, S., David, S., Oxman, K. N. 3D Printed Multimaterial Microfluidic Valve// PloSONE.– 2016. – e0160624 p.

7 Mohd Sabee, M. M. S., Ahmad Tajuddin, N. N. I., Ku Ishak, K. M., Rusli, A., Abdullah, M. K. Comparison of physical and mechanical properties of biodegradable polybutylene adipate terephthalate, polycaprolactone, and poly (lactic acid) fabricated via fused deposition modeling and conventional molding // Journal of Applied Polymer Science, 2022. – 139(29).

8 Farah, S., Anderson, D. G., Langer, R. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications A comprehensive review.// Advanced Drug Delivery Review. – 2016. – 107, 367–392 p.

9 Bragaglia, M., Cecchini, F., Paleari, L., Ferrara, M., Rinaldi, M., Nanni, F. Modeling the fracture behavior of 3D-printed PLA as a laminate composite: Influence of printing parameters on failure and mechanical properties// Composite Structures.– 2023.

10 Quan, R., Chinchilla, S.C., Nassehi, A., Liu, F. Machine learning-driven optimization of 3D printing parameters for PLA bone scaffolds with enhanced mechanical properties//Procedia CIRP. – 2024. – 125. – 255–259 p.

11.02.25 ж. баспаға түсті.

14.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. А. Ергешев¹, А. К. Ракишев², Н. Ю. Кузминова³

^{1,2}Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

³Қарагандинский индустриальный университет, Республика Казахстан, г. Темиртау
Поступило в редакцию 11.02.25.

Поступило с исправлениями 14.02.25.

Принято в печать 01.03.2025.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ PLA-ОБРАЗЦОВ ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

В данной работе исследуется влияние технологических параметров 3D-печати методом Fused Deposition Modelling (FDM) на прочность при растяжении образцов из полилактида (PLA). Рассматриваются три ключевых фактора: плотность заполнения, толщина стенок и скорость печати. Проведен трехфакторный эксперимент с двумя уровнями, в ходе которого напечатаны образцы и выполнены их механические испытания. На основе экспериментальных данных получено линейное уравнение регрессии, позволяющее количественно оценить влияние каждого фактора.

Анализ коэффициентов уравнения показал, что наибольшее влияние оказывает толщина стенок, увеличение которой приводит к снижению прочности. Плотность заполнения положительно влияет на механические свойства, однако эффект выражен слабее. Скорость печати не оказывает значимого влияния, что подтверждается статистическим анализом. Графический анализ зависимости факторов от прочности подтвердил адекватность модели.

Физическое объяснение полученных результатов связано с особенностями формирования структуры изделий при FDM-печати. Оптимизация параметров позволяет повысить прочность напечатанных деталей, что имеет значение для инженерных и биомедицинских приложений. Полученные результаты могут быть использованы при настройке технологического процесса для изготовления функциональных изделий методом FDM, также могут быть использованы для оптимизации параметров печати с целью повышения качества и надежности изделий, изготовленных методом FDM.

Ключевые слова: 3D-печать, FDM, PLA, механические свойства, статистический анализ.

*A. A. Ergeshev¹, A. K. Rakishev², N. Yu. Kuzminova³^{1,2}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

³Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau

Received 11.02.25.

Received in revised form 14.02.25.

Accepted for publication 01.03.25.

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This paper examines the effect of 3D printing process parameters using the Fused Deposition Modeling (FDM) method on the tensile strength of polylactide (PLA) samples. Three key factors are considered: filling density, wall thickness, and printing speed. A three-factor experiment with two levels was conducted, during which samples were printed and mechanically tested. Based on the experimental data, a linear regression equation was obtained that allows one to quantitatively assess the effect of each factor.

Analysis of the equation coefficients showed that wall thickness has the greatest effect, an increase in which leads to a decrease in strength. Filling density has a positive effect on mechanical properties, but the effect is less pronounced. Printing speed does not have a significant effect, which is confirmed by statistical analysis. Graphical analysis of the dependence of factors on strength confirmed the adequacy of the model.

The physical explanation of the obtained results is associated with the features of the formation of the structure of products during FDM printing. Optimization of parameters allows one to increase the strength of printed parts, which is important for engineering and biomedical applications. The obtained results can be used to adjust the technological process for the production of functional products using the FDM method, and can also be used to optimize printing parameters in order to improve the quality and reliability of products manufactured using the FDM method.

Keywords: 3D printing, FDM, PLA, mechanical properties, statistical analysis.

SRNTI 55.19.03

<https://doi.org/10.48081/DBOI7744>

**A. Zh. Kassenov¹, *A. Zh. Taskarina², G. T. Itybayeva³,
D. A. Iskakova⁴, A. S. Yanushkin⁵**

^{1,2,3,4}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar⁵Chuvash State University, Chuvashia, Cheboksary¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6385-8627>⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3104-4818>⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>*e-mail: aya_taskarina@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF PROCESSING HOLES WITH A TOOL ASSEMBLY REAMER

Currently, scientific and technological progress is associated with the increasing importance of manufacturing technology in the creation of new products.

The constant increase in the range of manufactured products, shortening the time for changing production facilities, increasing the complexity of part designs, and increasing the requirements for accuracy and surface quality implies an increase in the volume of blade processing operations, among which hole processing operations occupy a particularly prominent place.

This article is devoted to optimizing machining operations to ensure that the finished part is of the required quality at a minimum cost of processing. The effectiveness and expediency of the widespread use of scientifically based optimization methods for the analysis and processing of information, in particular, for the research and optimization of various technological processes of metalworking, is shown.

An increase in the efficiency of the hole processing process with a chisel assembly with a rigid attachment without vertex teeth was achieved using a mathematical model solved graphically. Technical limitations have been selected and calculated, and a graphical representation of the machining process with a chisel assembly with without vertex teeth for structural steel (Steel 45) has been constructed. Optimal modes (rotation speed and feed rate) of hole processing have been determined, taking into account all technological, structural, organizational and production conditions.

Keywords: reamer, cutting, strength, precision, rigidity, roughness, feed, rotation speed.

Introduction

The stability of the quality indicators of mechanical engineering products depends crucially on the rational design of technological processes. The optimally selected technology makes it possible to ensure high product performance and economic efficiency of production [1; 2].

Experimental studies conducted by the authors [3] have shown that in terms of high efficiency of the final deployment operation, increased accuracy and durability of the tool, and reduced roughness of the machined parts, the best results are provided by a new design of a combined cutting tool – a chisel assembly with rigid attachment without vertex teeth.

Optimization of technological processes and cutting modes, in particular, is based on a mathematical model, and to establish it, technical limitations are identified, which determine the described process to the greatest extent, and an evaluation function (optimality criterion) [4; 5].

The choice of certain technical limitations depends on the type of processing and is determined by specific conditions of a technological, structural, organizational and production nature. The most important technical limitations are:

- cutting capabilities of the tool, determined by its durability;
- the power of the main motion drive motor;
- the lowest and highest cutting speed (spindle speed) and feed allowed by the kinematics of the machine;
- the strength and rigidity of the cutting tool;
- processing accuracy;
- roughness of the treated surface.

When optimizing for two parameters (n – rotation speed and S – feed), the minimum cost is usually used as an evaluation function. Technical limitations are based on known dependencies. Bringing all technical constraints to a linear form and representing them as a system of inequalities in combination with an evaluation function provides a mathematical model of the metal cutting process [6]. The determination of optimal cutting modes (rotation speed and feed) using the constructed mathematical model can be performed analytically or graphically.

Materials and methods. Limitation 1. Cutting capabilities of the tool. Establishes a relationship between the cutting speed, determined by the accepted durability of the tool, its geometry, cutting depth, feed and mechanical properties of the processed material, on the one hand, and the cutting speed, determined by the kinematics of the machine, on the other [7].

The cutting speed is determined by the formula [8]:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v \quad (1)$$

where C_v – is a constant coefficient characterizing the standard processing conditions, $C_v = 10.6$ (structural carbon steel $\sigma_b = 750$ MPa material of the cutting part T15K6 [8, p. 383];

D – is the diameter of the workpiece, $D = 45$ mm;

T – is the accepted durability of the tool, $T = 90$ min [8, p. 384];

K_v – is a correction factor that takes into account the actual cutting conditions.

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv} K_{\lambda p.kp.}, \quad (2)$$

where K_{mv} – is the coefficient that takes into account the properties of the processed material, 1.08 [8, pp. 358–359];

K_{uv} – is a coefficient that takes into account the properties of the tool material, $K_{uv} = 1.0$ [8, p. 361];

K_{lv} – is a coefficient that takes into account the depth of deployment [8, p. 385];

q, x, y, m – are exponents of degrees or variables in the cutting speed formula, $q = 0.3$; $x = 0.2$; $y = 0.65$; $m = 0.4$ [8, p. 383].

$K_{\lambda p.kp.}$ – is a coefficient that takes into account the angle of inclination of the cutting edge of the chisel assembly, $K_{\lambda p.kp.} = 1.5$.

$$K_v = 1.08 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.5 = 1.62$$

On the other hand, the cutting speed is determined by the kinematics of the machine according to the dependence:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (3)$$

By equating the right-hand sides of formulas (2) and (3) and making transformations, we obtain the expression of the first technical constraint in the form of inequality:

$$n S^{0.65} \leq \frac{318 \cdot 10.6 \cdot 45^{0.3} \cdot 1.62}{45 \cdot 90^{0.4} \cdot 0.5^{0.2}} \quad (4)$$

To select the optimal values of cutting modes using linear programming methods, all technical limitations and the evaluation function are reduced to a linear form by logarithm. So, the expression after logarithmization will have the form:

$$\ln n + \ln S = \ln \frac{318 \cdot 10.6 \cdot 45^{0.3} \cdot 1.62}{45 \cdot 90^{0.4} \cdot 0.5^{0.2}} \quad (5)$$

We introduce the notation $x_1 = \ln n$; $x_2 = \ln(100S)$ (in the notation x_2 , the feed S is multiplied by 100 to avoid obtaining negative values of the logarithms).

$$b_1 = \ln \frac{318 \cdot 10.6 \cdot 45^{0.3} \cdot 1.62}{45 \cdot 90^{0.4} \cdot 0.5^{0.2}} \cdot 100^{0.65}$$

From here we get the first technical constraint in linear form

$$x_1 + 0.65x_2 \leq b_1 \quad (6)$$

$$b_1 = \ln(72.16 \cdot 100^{0.65}) = 7.27.$$

Limitation 2. The power of the electric motor of the main movement of the machine. This limitation establishes the relationship between the effective power spent on the cutting process and the power of the electric drive of the main movement of the machine [7, p. 311]. The effective power spent on the cutting process is determined by the formula [8, p. 371]:

$$N_{eff} = \frac{P_z V}{102 \cdot 60}, \quad (7)$$

where P_z – is the cutting force, which according to [8, p. 371] is defined as:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} V^{n_{P_z}} k_P \quad (8)$$

Given the necessary conditions for the cutting process, the following inequality can be obtained:

$$N_{eff} \leq N_n \eta \quad (9)$$

where N_n – is the power of the electric motor of the main drive of the machine, kW;

η – is the efficiency of the kinematic circuit from the electric motor to the tool.

By equating the right-hand sides of expressions (6) and (9), we obtain the second technical constraint in the form of inequality:

$$n^{n_{P_z}+1} S^{y_{P_z}} \leq \frac{6120(10^3)^{n_{P_z}+1} N_n \eta}{C_{P_z} t^{x_{P_z}} D^{n_{P_z}+1} \pi^{n_{P_z}+1} k_P}, \quad (10)$$

where the values of the coefficients are selected from [8, p. 372]: $C_{P_z} = 300$; $x_{P_z} = 1,0$; $y_{P_z} = 0,75$; $n_{P_z} = -0,15$.

The value of the refining coefficient for cutting force:

$$k_P = k_{mp} \cdot k_{\phi p} \cdot k_{\gamma p} \cdot k_{\lambda p} \cdot k_{\tau p} \cdot k_{\lambda p.kp} = 0,938 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,52$$

For the 2A135 machine, the electric motor power is $N=4.0$ kW, $n = 0.81$ [9]. Then:

$$n^{0,85} S^{0,75} \leq \frac{6120(10^3)^{0,85} \cdot 4 \cdot 0,81}{300 \cdot 0,5^{1,0} \cdot 45^{0,85} \cdot \pi^{0,85} \cdot 1,52}$$

After reducing to a linear form and introducing the notation, we obtain:

$$0,85x_1 + 0,75x_2 \leq b_2, \quad (11)$$

where $b_2 = \ln(124,33 \cdot 100^{0,75}) = 8,28$.

Limitations 3 and 4. The lowest and highest allowable cutting speeds. These limits establish the relationship between the calculated cutting speed and the kinematics of the machine at a minimum and maximum. They are written as follows [7, p. 311]:

$$n \geq n_{mach.min} \quad (12)$$

$$n \leq n_{mach.max} \quad (13)$$

For the 2A135 machine, the rotation speed is $n_{mach.min} = 68 \text{ min}^{-1}$, $n_{mach.max} = 1100 \text{ min}^{-1}$. Then:

$$x_1 \geq b_3, \quad (14)$$

where $b_3 = \ln 68 = 4,22$.

$$x_1 \leq b_4, \quad (15)$$

where $b_4 = \ln 1100 = 7,00$.

Limitations 5 and 6. The smallest and largest allowed feeds. These restrictions, similar to the previous two, establish the relationship between the calculated feed and the feed allowed by the minimum kinematics of the machine [7, p. 312]:

$$s \geq s_{mach.min} \quad (16)$$

and to the maximum

$$s \leq s_{mach.max} \quad (17)$$

For the 2A135 machine, the rotation speed $s_{mach.min} = 0.12 \text{ mm/rpm}$ (8.16 mm/min), $s_{mach.max} = 1.6 \text{ mm/rpm}$ (256 mm/min) [9]. Then:

$$x_2 \geq b_5, \quad (18)$$

where $b_5 = \ln 8,16 = 2,1$.

$$x_2 \leq b_6, \quad (19)$$

where $b_6 = \ln 256 = 5,55$.

Other technical limitations are defined in the same way:

Limitation 7. The strength of the cutting tool. Establishes the relationship between the calculated values of cutting speed and feed with acceptable strength.

Limitation 8. Rigidity of the cutting tool. Establishes the relationship between the calculated values of cutting speed and feed with the permissible stiffness of the cutting tool.

Limitation 9. Rigidity of the workpiece. Establishes the relationship between the calculated values of the cutting speed and feed with the permissible ones.

Limitation 10. Required surface roughness. Establishes the relationship between the calculated cutting and feeding speeds providing the required roughness.

All the obtained technical limitations 1–10 form a mathematical model of the cutting process of the cutter assembly in an analytical form. In addition to the technical limitations presented in the form of a system of inequalities, the model includes the evaluation function f_0 :

$$\begin{cases} x_1 + 0,65x_2 \leq 7,27 \\ 0,85x_1 + 0,75x_2 \leq 8,28 \\ x_1 \geq 4,22 \\ x_1 \leq 7,00 \\ x_2 \geq 2,1 \\ x_2 \leq 5,55 \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 4,99 \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 1,89 \\ -0,3x_1 + 0,6x_2 \leq 15,06 \\ x_2 \leq 3,02 \\ f_0 = (x_1 + x_2)_{\max} \end{cases}$$

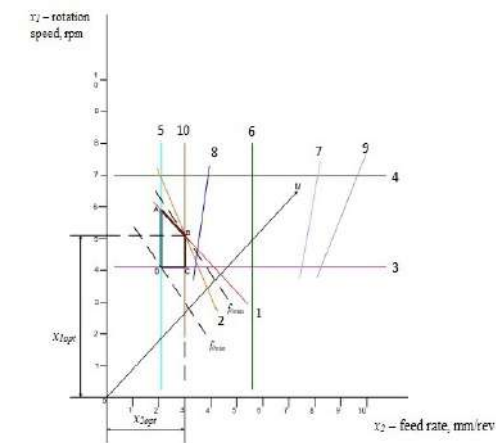
It is known that the extreme value of the evaluation function (for a decision polygon) is provided for x_1 and x_2 located at a point lying on one of the boundary lines or their intersection. Therefore, the task of finding the optimal values of $x_{1\text{opt}}$ and $x_{2\text{opt}}$ is reduced to sequentially calculating the coordinates of all possible points of intersection of boundary lines and then determining for them the largest sum $f_0 = (x_1 + x_2)_{\max}$. After determining the coordinates of $x_{1\text{opt}}$ and $x_{2\text{opt}}$, optimal cutting modes can be calculated. To solve a problem given by a system of linear equations and inequalities, the method of complete enumeration of points forming a polygon of possible solutions is usually used. The points of intersection of the lines are determined in pairs and the coordinates of these points are substituted into the inequalities of the system. A point whose coordinates satisfy all straight lines without exception (checking for compatibility of the system of equations) and at the same time the sum of whose coordinates ($x_1 + x_2$) is the largest, and will be the optimum point.

Results and discussion

This problem is solved by the graphical method, where each technical constraint is represented by a boundary line that defines a half-plane where it is possible for a system

of inequalities to overlap. The boundary lines intersect to form a polygon of ABCD solutions (Figure 1), within which any point satisfies all inequalities without exception.

The estimated function $f_0 = x_1 + x_2$ is represented by a straight line perpendicular to the maximization vector M at an angle of 45° to the axes x_1 and x_2 .



1 – limitation 1; 2 – limitation 2; 3 and 4 – limitations 3 and 4; 5 and 6 – limitations 5 and 6; 7 – limitation 7; 8 – limitation 8; 9 – limitation 9; 10 – limitation 10

Figure 1 – Graphical representation of the mathematical model [10]

At point D, where the line of the evaluation function touches the polygon of solutions, the function takes the minimum value of $f_{0\min}$, and at point B – the maximum value of $f_{0\max}$. The coordinates of this point are the optimal values $x_{1\text{opt}} = 5,08$ and $x_{2\text{opt}} = 3,02$.

After determining the coordinates of $x_{1\text{opt}}$ and $x_{2\text{opt}}$, optimal hole processing modes were calculated with a chisel assembly with rigid mounting without vertex teeth for structural steel (Steel 45):

- rotation speed

$$n_{\text{opt}} = \exp(x_{1\text{opt}}) = \exp(5,08) = 160 \text{ rpm}$$

- supply

$$s_{\text{opt}} = \exp(x_{2\text{opt}}) / 100 = \exp(3,02) / 100 = 0,2 \text{ mm/rev}$$

Information about financing

The research was carried out within the framework of program-targeted financing of subjects of scientific and/or scientific and technical activities for 2024–2026 under the

IRN project BR24993003 «Development of a set of measures for instrumental support of manufacturing sectors of the Economy of the Republic of Kazakhstan», funded by the Committee of Science and Higher Education of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Conclusions

Thus, it can be concluded that optimizing the process of processing holes with a chisel assembly with a rigid attachment without vertex teeth using the above mathematical modeling technique can be recommended for predicting cutting conditions.

REFERENCES

- 1 Hessainia, Z., Yallese, M. A., Bouzid, L., Mabrouki, T. On the application of response surface methodology for predicting and optimizing surface roughness and cutting forces in hard turning by PVD coated insert // International Journal of Industrial Engineering Computations. – 2015. – № 6. – P. 267–284. – <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2014.10.003>.
- 2 Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Tusupbekova, G. M. Wear resistance of metal-cutting tools and formation of secondary contact structures during cutting // Вестник ЕНУ имени Л. Н. Гумилева. Серия технические науки и технологии. – Astana : изд-во ЕНУ. – 2022. – № 4(141) – С. 87–97. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97>.
- 3 Касенов, А. Ж., Таскарина, А. Ж., Янюшкин, А. С., Исакова Д. А., Тукаев И. Т. Влияние СОТС и параметров конструкции резцовой сборной развертки на точность обработки // Наука и техника Казахстана. – Павлодар. – 2023. – № 3. – С. 42–56. – <https://doi.org/10.48081/APHA8929>.
- 4 Zhu, B., Xiao, Y.M. H., Wan, X., Xiong, L. Theoretical modeling and experimental verification of chip flow angle catastrophe in double-edged cutting considering non-linear effects // International Journal of Mechanical Sciences. – 2020. – № 172. – P. 105394. – <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105394>.
- 5 Zhang, S.-N., Cheng, D.-D., Xiong, L.-S. Regularization of mathematical model for chip flow angle catastrophe // Advances in Manufacturing. – 2021. – № 9(4). – P. 568–579. – <https://doi.org/10.1007/s40436-021-00369-8>.
- 6 Гусейнов, Р. В., Султанова, Л. М. Особенности моделирования в оптимизационных задачах теории резания металлов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – № 44 (1). – С. 8–16. – <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-8-16>.
- 7 Филонов, И. П., Беляев, Г. Я., Клжуро, Л. М. и др. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебное пособие для вузов [Текст] / под общ. ред. И. П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
- 8 Справочник технолога машиностроителя : в 2 томах / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 944 с.

9 Интернет-ресурс – 2А135 Станок вертикально-сверлильный универсальный. Описание, характеристики, схемы. – [Электронный ресурс]. – https://stanki-katalog.ru/sprav_2a135.htm

10 Таскарина, А. Ж., Итыбаева, Г. Т., Луб, Т. Л. Разработка математической модели процесса обработки отверстий резцовой сборной разверткой с безвершинными зубьями // Материалы международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления в XXI веке» – Нефтекаменск: Научно-издательский центр «Мир науки». – 2024. – С. 23–27.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Hessainia, Z., Yallese, M. A., Bouzid, L., Mabrouki, T. On the application of response surface methodology for predicting and optimizing surface roughness and cutting forces in hard turning by PVD coated insert // International Journal of Industrial Engineering Computations. – 2015. – № 6. – P. 267–284. – <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2014.10.003>.
- 2 Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Tusupbekova, G. M. Wear resistance of metal-cutting tools and formation of secondary contact structures during cutting // VESTNIK ENU imeni L. N. Gumileva. Seriya texnischeckie nauki i texnologii. – Astana : Izd-vo ENU. – 2022. – № 4(141) – P. 87–97. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97>.
- 3 Kasenov, A. Zh., Taskarina, A. Zh., Yanushkin, A. S., Isakova, D. A., Tukaev, I. T. Vliyanie SOTS i parametrov konstrukcii rezcovoj sbornoj razvyortki na tochnost' obrabotki [Influence of STS and design parameters of the cutter assembly on processing accuracy] // Nauka i texnika Kazaxstana. – Pavlodar. – 2023. – № 3. – P. 42–56. – <https://doi.org/10.48081/APHA8929>.
- 4 Zhu, B., Xiao, Y.M. H., Wan, X., Xiong, L. Theoretical modeling and experimental verification of chip flow angle catastrophe in double-edged cutting considering non-linear effects // International Journal of Mechanical Sciences. – 2020. – № 172. – P. 105394. – <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105394>.
- 5 Zhang, S.-N., Cheng, D.-D., Xiong, L.-S. Regularization of mathematical model for chip flow angle catastrophe // Advances in Manufacturing. – 2021. – № 9(4). – P. 568–579. – <https://doi.org/10.1007/s40436-021-00369-8>.
- 6 Gusejnov, R. V., Sultanova, L. M. Osobennosti modelirovaniya v optimizacionny`x zadachax teorii rezaniya metallov [Features of modeling in optimization problems of metal cutting theory] // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. – 2017. – № 44 (1). – P. 8–16. – <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-8-16>.
- 7 Filonov, I. P., Belyaev, G. Ya., Kozhuro, L. M. i dr. Proektirovanie texnologicheskix processov v mashinostroenii [Designing technological processes in mechanical engineering] : uchebnoe posobie dlya vuzov [Text] / pod obshh. red. I. P. Filonova. – Mн. : UP «Texnoprint», 2003. – 910 s.

8 Spravochnik tehnologa-mashinostroitelya [Handbook of a machine-building technologist]: v 2-x t. [Text] / pod red. A. M. Dal'skogo, A. G. Kosilovoj, R. K. Meshheryakova, A. G. Suslova. – 5-e izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroenie-1, 2001. – Vol. 2. – 944 p.

9 Internet-resurs – 2A135 Stanok vertikal'no-sverlil'ny'j universal'ny'j. Opisanie, karakteristiki, sxemy' [Universal vertical drilling machine. Description, characteristics, diagrams]. – [Electronic resource]. – https://stanki-katalog.ru/sprav_2a135.htm.

10 Taskarina, A. Zh., Ity'baeva, G. T., Lub, T. L. Razrabotka matematicheskoy modeli processa obrabotki otverstij rezcovoy sbornoj razvyortkoj s bezvershinny'mi zub'yami [Development of a mathematical model of the hole processing process with a chisel assembly with topless teeth] // Materialy' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Prioritetny'e nauchny'e napravleniya v XXI veke». – Neftekamensk: Nauchno-izdatel'skiy centr «Mir nauki». – 2024. – P. 23–27.

Received 08.02.25.

Received in revised form 08.02.25.

Accepted for publication 15.02.25.

А. Ж. Касенов¹, *А. Ж. Таскарина², Г. Т. Итыбаева³,

Д. А. Исакова⁴, А. С. Янюшкин⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университеті, Республика Казахстан, г. Павлодар

⁵Чувашский государственный университет, Чувашия, г. Чебоксары

08.02.25 ж. баспаға түсті.

08.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ РЕЗЦОВОЙ СБОРНОЙ РАЗВЁРТКОЙ

В настоящее время научно-технический прогресс связан с усилением значения технологии производства при создании новых изделий.

Постоянное увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, сокращение сроков смены объектов производства, усложнение конструкций деталей, повышение требований к точности и качеству поверхности предполагает увеличение объема операций лезвийной обработки, среди которых операции по обработке отверстий занимают особо заметное место.

Данная статья посвящена оптимизации операций механической обработки, гарантирующих получение готовой детали требуемого качества при минимальной стоимости обработки. Показана эффективность и целесообразность широкого применения научно-обоснованных методов оптимизации для анализа и обработки информации, в частности, для исследования и оптимизации различных технологических процессов обработки металлов.

Повышение эффективности процесса обработки отверстий резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев достигнуто с

помощью математической модели, решенной графическим методом. Выбраны и рассчитаны технические ограничения, построено графическое изображение процесса обработки резцовой сборной развёрткой с безвершинными зубьями для конструкционной стали (Сталь 45). Определены оптимальные режимы (частота вращения и подача) обработки отверстий с учетом всех условий технологического, конструкционного и организационно-производственного характера.

Ключевые слова: развёртка, резание, прочность, точность, жёсткость, шероховатость, подача, частота вращения.

А. Ж. Касенов¹, *А. Ж. Таскарина², Г. Т. Итыбаева³,

Д. А. Исакова⁴, А. С. Янюшкин⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁵Чуваш мемлекеттік университеті, Чувашия, Чебоксары қ.

Поступило в редакцию 08.02.25.

Поступило с исправлениями 08.02.25.

Принято в печать 15.02.2025.

КЕСКІШ ҚҰРАМА ҰҢҒЫЛАҒЫШПЕН ТЕСІКТЕРДІ ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Қазіргі уақытта ғылыми-техникалық прогресс жаңа өнімдерді жасау кезінде өндіріс технологиясының маңыздылығын арттырумен байланысты.

Шығарылатын бұйымдар номенклатурасының ұдайы ұлғаюы, өндіріс объектілерін ауыстыру мерзімдерінің қысқаруы, бөлшектердің конструкцияларының күрделенуі, бетінің дәлдігі мен сапасына қойылатын талаптардың артуы пышақты өңдеу операцияларының көлемін ұлғайтуды көздейді, олардың ішінде тесіктерді өңдеу операциялары ерекше орын алады.

Бұл мақала өңдеудің минималды құнымен қажетті сапаның дайын бөлігін алуға кепілдік беретін өңдеу операцияларын оңтайландыруға арналған. Ақпаратты талдау және өңдеу үшін, атап айтқанда, металдарды өңдеудің әртүрлі технологиялық процестерін зерттеу және оңтайландыру үшін ғылыми негізделген оңтайландыру әдістерін кеңінен қолданудың тиімділігі мен орындылығы көрсетілген.

Графикалық әдіспен шешілген математикалық модельдің көмегімен шыңсыз тістерді қатты бекітетін кескіш құрастырмалы ұңғылағышпен тесіктерді өңдеу процесінің тиімділігін арттыруға қол жеткізілді. Техникалық шектеулер таңдалды және есептелді, құрылымдық болатқа арналған шыңсыз тістері бар кескіш құрама ұңғылағышпен өңдеу процесінің графикалық бейнесі салынды (45 болат). Технологиялық, құрылымдық және ұйымдастырушылық-өндірістік сипаттағы барлық жағдайларды ескере отырып, тесіктерді Өңдеудің оңтайлы режимдері (айналу жиілігі және беру) анықталды.

Кілтті сөздер: ұңғылағыш, кесу, беріктік, дәлдік, қаттылық, кедір-бұдыр, беру, айналу жиілігі.

**И. С. Куанов¹, *К. Т. Шеров², А. А. Сагитов³,
С. О. Тусупова⁴, С. И. Мендалиева⁵**

^{1,2,3,5}Казахский агротехнический исследовательский университет имени
С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана,

⁴Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9827-5728>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8920-4901>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4819-8656>

*e-mail: shkt1965@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ С ИМПУЛЬСНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ СТАЛИ HARDOX 450

В настоящее время сталь HARDOX широко используется машиностроительными предприятиями Республики Казахстан (РК). Результаты исследования проведенные в условиях машиностроительных предприятий показали, что существует проблема при механической обработке стали HARDOX связанная с большим расходом режущих инструментов. Так как при обработке стали HARDOX режущий инструмент подвергается преждевременному износу. Такое состояние проблемы диктует необходимость разработки ресурсосберегающего способа обработки стали HARDOX. Целью научного исследования является определение влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности стали HARDOX при термофрикционном фрезеровании с импульсным охлаждением.

Для исследования твердости обработанной поверхности после термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением использовались методы экспериментального исследования, планирование эксперимента с использованием компьютерной программы «Statistica 10». Результаты экспериментального исследования показали, что, подбирая режимов резания можно управлять твердостью обработанной поверхности. Известно, что сталь HARDOX 450 имеет гарантированную твердость 425-475 HB. Диапазон разброса твердости не превышает 50 HB согласно техническим требованиям SSAB. В результате экспериментального исследования выявлено, что исходной твердость стали HARDOX 450 не снижается и при необходимости за счет подбора режимов резания можно обеспечить его повышения. Установлено, что с увеличением глубины резания (t) и скорости подачи (S) увеличивается твердость (HB) обработанной поверхности.

Ключевые слова: Обработка стали HARDOX, термофрикционное фрезерование, импульсное охлаждение, твердость обработанной поверхности, износ, режимы резания.

Введение

В настоящее время разработка и изготовления деталей технологического оборудования горнодобывающей, нефтяной, угольной и др. промышленности Республики Казахстан (РК) предусматривает использование металлов и сплавов, обладающих преимущественно особыми физико-механическими свойствами. Одним из таких материалов является сталь HARDOX, который в настоящее время широко используется машиностроительными предприятиями РК. Результаты исследования проведенные в условиях машиностроительных предприятий показали, что существует проблема при механической обработке стали HARDOX, которая связана с износом режущих инструментов [1; 2]. Преждевременный износ режущего инструмента влияет на качество механической обработки и приводит к излишнему их расходу, который включается в себестоимость механической операции и его удорожанию.

Для решения данной проблемы проводятся научные исследования на кафедре «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина направленная к разработке ресурсосберегающего способа механической обработки на основе термофрикционного резания [3; 4].

Было проведено анализ выполненных научных исследований зарубежных ученых и выявлено что для обработки стали HARDOX применяют различные способы [5] и методы обработки [6; 7].

В работе [8] приведены результаты исследования по механической обработке стали HARDOX 500 методом фрезерования с использованием в процессе резания специальной гибридной наножидкости. При этом достигнуто увеличение скорости фрезерования в 2 раза (с 80 м/мин до 140 м/мин), которое способствовало повышению производительности и качества обработки.

В работе [9] исследован процесс абразивной водоструйной резки стали HARDOX 500 и выполнена оптимизация режимов обработки. Экспериментально исследовано влияние режимов (давление, скорость перемещения, расход абразива) абразивной водоструйной резки на такие показатели качества как ширина пропила, глубина резания, шероховатость обработанной поверхности.

В работах [10; 11] выполнены машинные экспериментальные исследования процесса плазменно-дуговой резки стали HARDOX 400. При этом входными факторами выбраны ток дуги, скорость резания, расстояние отвода и давление подаваемого газа, а выходными факторами являлись скорость удаления материала, пропил и шероховатость обработанной поверхности. А также путем использования регрессионного анализа разработана модель прогнозирования для оценки ответов. Точность модели установлена сравнением экспериментальных и прогнозируемых результатов.

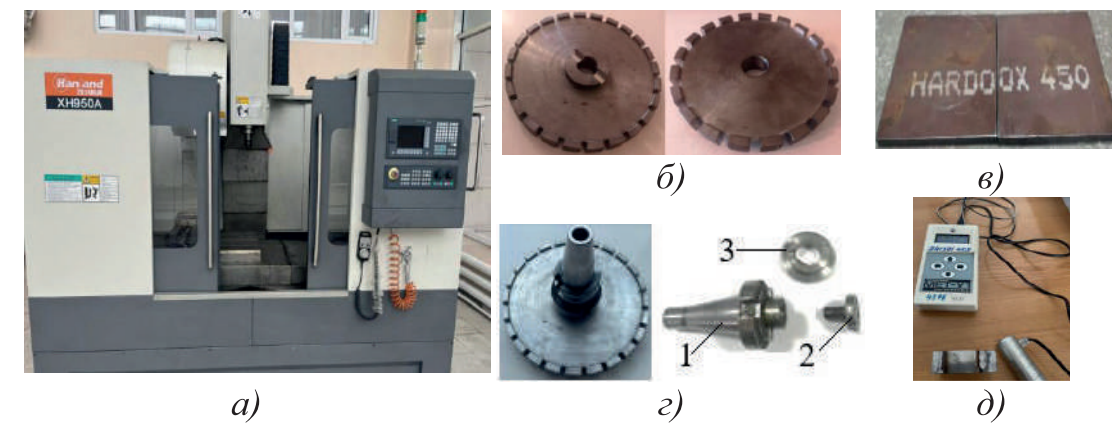
В работе [12] исследован процесс сварки разнородных материалов - стали HARDOX 450 и S355J2C+N. Соединение осуществлено методом дуговой сварки в среде защитного газа. После получения неразъемного соединения, образцы подвергались механическим испытаниям, такими как на изгиб, на удар по Шарпи, на износ и растяжение, а также исследована микротвердость. Результаты исследования показали, что методом дуговой сварки в среде защитного газа возможно получение качественного соединения разнородных материалов.

В работе [3] проведены экспериментальные исследования процесса термофрикционной отрезки стали HARDOX при различных режимах резания и с использованием режущих дисков изготовленных из различных материалов. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что при определении оптимальных режимов резания можно достичь высоких показателей качества обработанных поверхностей. А также, подбирая оптимальные режимы резания, можно управлять процессом термофрикционной отрезки, в частности размером заусенцев. При обработке оптимальными режимами резания, а также с использованием режущих дисков трения с выемками изготовленных из стали 20 и СЧ15 были достигнуты минимальные значения размеров заусенца. Также экспериментально было доказана возможность выполнения различных операций, в частности, разрезка заготовки, обработка открытых и закрытых шпоночных пазов.

Материалы и методы

Для исследования твердости обработанной поверхности после термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением использовались методы экспериментального исследования, планирование эксперимента с использованием компьютерной программы «Statistica 10» при поиске оптимальных условий. Анализ и исследование полученных результатов основаны на научных положениях теорий резания, технологии машиностроения и материаловедение.

На рисунке 1 показаны оборудование и приборы, использованные при выполнении экспериментального исследования способа термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением, стали HARDOX 450.



а - вертикально-фрезерный станок XN950A с ЧПУ; б – фреза трения (вид из двух сторон); в – материал сталь HARDOX 450 для обработки; г – фреза трения в сборе и оправка (1), шайба (3), болт (2); д – электронный прибор для измерения твердости

Рисунок 1 – Оборудование и приборы, использованные при выполнении экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводилось на вертикально-фрезерном станке XN950A с ЧПУ в лаборатории кафедры «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина (рис. 1, а). Для обработки были подготовлены образцы из стали HARDOX 450 (рис. 1, а). Твердость обработанной поверхности измерялось с помощью электронного прибора (рис. 1, д).

Результаты и обсуждения

Для планирования эксперимента был использован компьютерная программа Statistica 10. Значения факторов и функций желательности определялись методом DOE в программе Statistica 10. Графики зависимости и наиболее оптимальные значения факторов получены методом Бокса-Бенкена. Представлена матрица планирования и результаты эксперимента. Центральный композиционный план второго порядка для трех факторов состоит из плана полнофакторного эксперимента типа 2³.

На рисунке 2 показана матрица планирования и результаты эксперимента.

Планир. план	3 факт. план Бокса-Бенкена			
	n	S	t	HB
1	1800.000	105.0000	1.750000	420
2	3000.000	105.0000	1.750000	400
3	1800.000	15.0000	1.750000	490
4	3000.000	15.0000	1.750000	470
5	1800.000	60.0000	0.500000	440
6	3000.000	60.0000	0.500000	430
7	1800.000	60.0000	3.000000	460
8	3000.000	60.0000	3.000000	450
9	2400.000	105.0000	0.500000	430
10	2400.000	15.0000	0.500000	455
11	2400.000	105.0000	3.000000	440
12	2400.000	15.0000	3.000000	480
13	2400.000	60.0000	1.750000	445
14	2400.000	60.0000	1.750000	460
15	2400.000	60.0000	1.750000	475

Рисунок 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Уточняя влияние матричной композиции, позволяет анализировать поверхности откликов, представляющие собой 3D графики зависимостей $HB=f(t, n)$, $Ra=f(t, n)$ (рис. 2,3). На рисунке 3 показан поверхность отклика твердости относительно глубины резания и частоты вращения

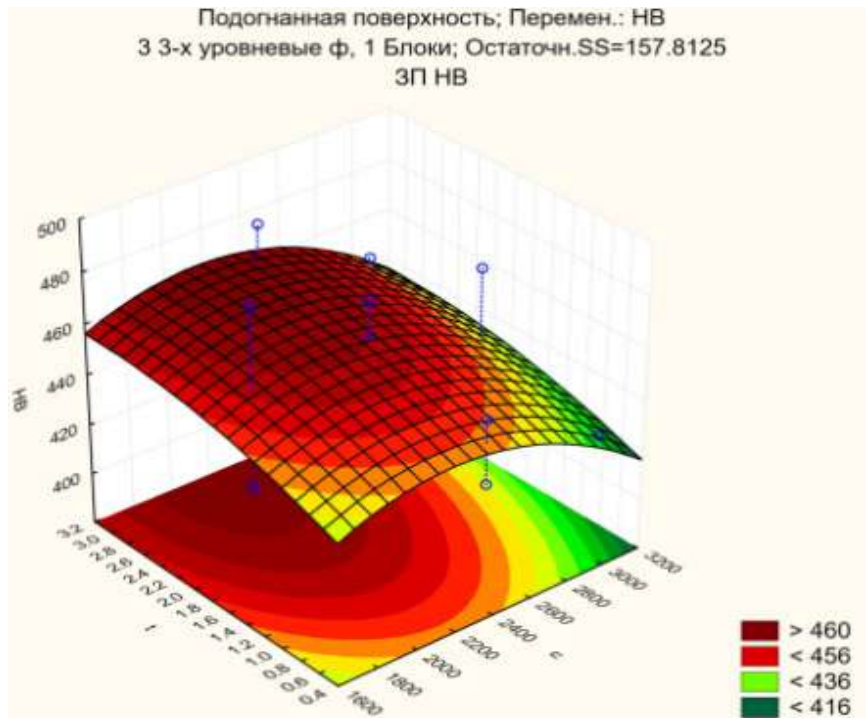


Рисунок 3 – Поверхность отклика твердости (HB) относительно глубины обработки (t) и частоты вращения (n) (S=60 мм/об)

Таким образом, увеличение глубины резания приводит к увеличению твердости. Из диаграммы видно, что при значении глубины резания от 0,5 до 3 мм и частоте вращения от 1800 до 3000 об/мин оптимальное значение твердости составляет 470 HB (рис. 3). При глубине резания 3 мм оптимальное значение твердости составляет 470 HB, а при уменьшении глубины резания значение твердости также уменьшается. При значении частоты вращения 2400 об/мин наиболее оптимальное значение твердости составляет 470 HB. При уменьшении или увеличении частоты вращения от 2400 об/мин значение твердости также уменьшается (см. рис. 3). Также в программе Statistica были получены профили предсказанных значений и функций желательности (рис.4). По диаграммам можно увидеть необходимые оптимальные значения режимов резания. Например для достижения твердости 490 HB необходимо использовать режимы: $n=2100$ об/мин, $t=3$ мм и $s=15$ мм/об.

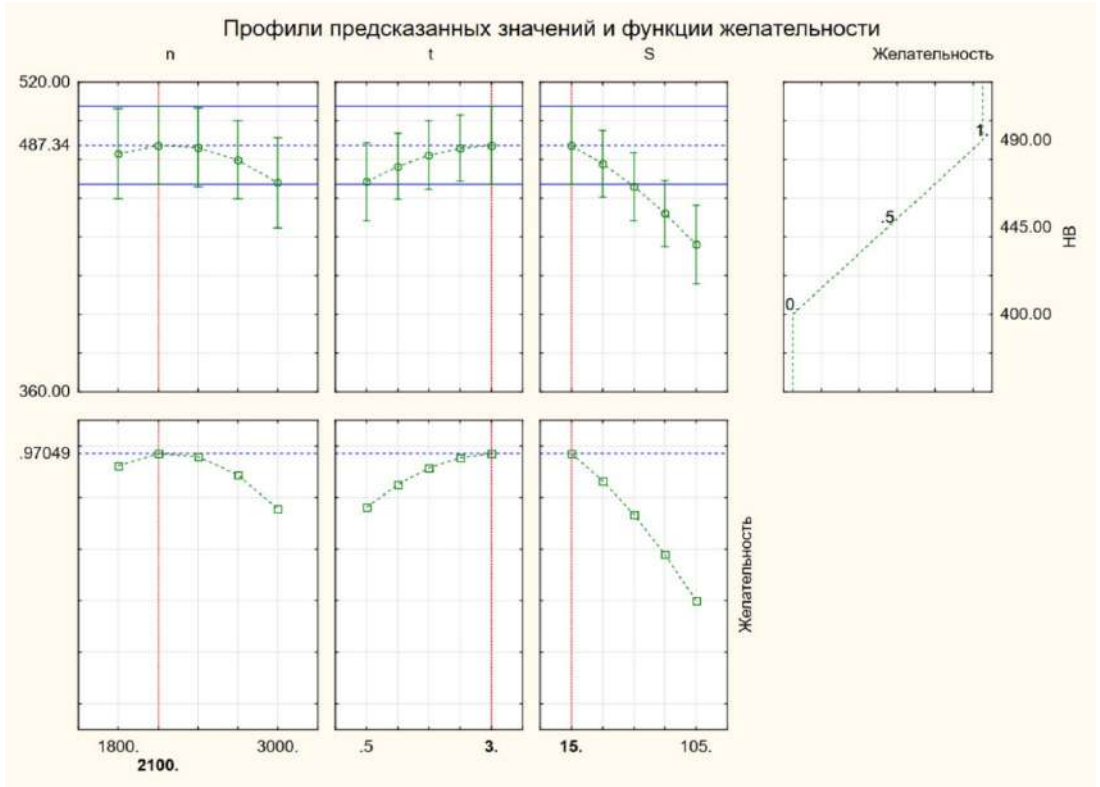
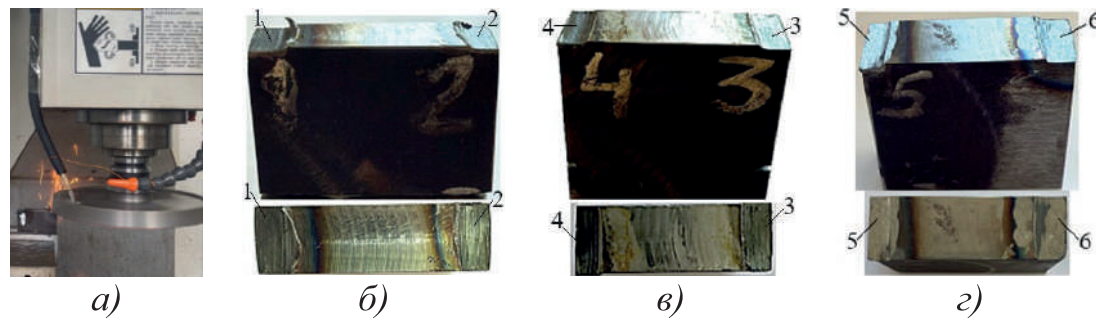


Рисунок 4 – Профили предсказанных значений и функций желательности, которые выбирают режимы резания для получения оптимального (желаемого) значения твердости

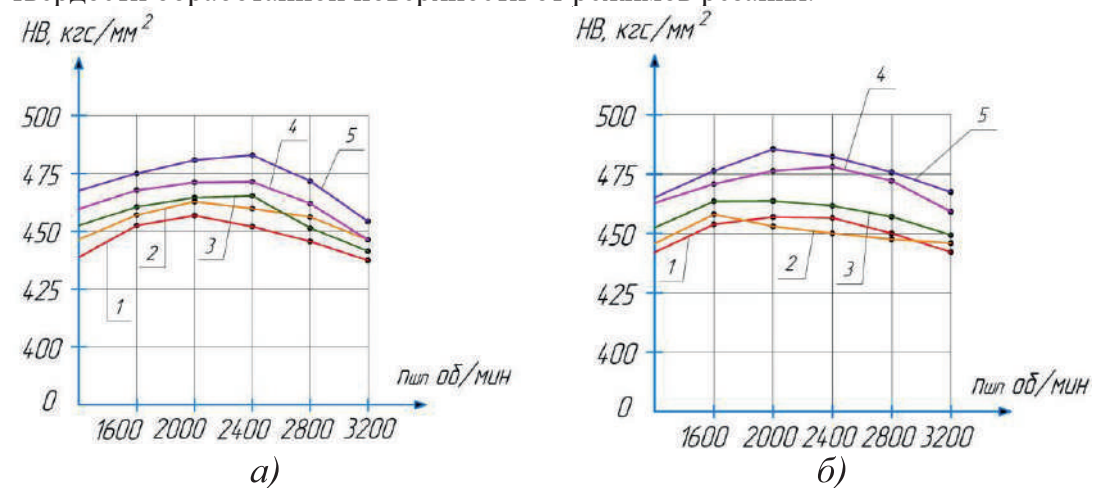
На рисунке 5 показан процесс термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением и обработанные образцы.



а - процесс термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением;
б,в,г - обработанные образцы из стали HARDOX 450 (вид сверху и сбоку);
1,2,3,4,5,6 - обработанные поверхности на различных режимах резания

Рисунок 5 – Процесс термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением и обработанные образцы

На основе обработки полученных результатов экспериментального исследования были построены графики влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности. На рисунке 6 показаны графики зависимости твердости обработанной поверхности от режимов резания.



а - графики зависимости твердости от частоты вращения при различных значениях глубины резания; $t_1=1\text{ мм}$; $t_2=1,5\text{ мм}$; $t_3=2\text{ мм}$; $t_4=2,5\text{ мм}$; $t_5=3\text{ мм}$; $S=60\text{ мм/мин}$; а - графики зависимости твердости от частоты вращения при различных значениях подачи; $S_1=60\text{ мм/мин}$; $S_1=15\text{ мм/мин}$; $S_2=30\text{ мм/мин}$; $S_3=60\text{ мм/мин}$; $S_4=80\text{ мм/мин}$; $S_5=105\text{ мм/мин}$; $t=2\text{ мм}$.

Рисунок 6 – Графики зависимости твердости обработанной поверхности от режимов резания

Результаты экспериментального исследования влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности при термофрикционном фрезеровании с импульсным охлаждением показали, что, подбирая режимов резания можно управлять твердостью обработанной поверхности. Известно, что сталь HARDOX 450 имеет гарантированную твердость 425-475 HB. Диапазон разброса твердости не превышает 50 HB согласно техническим требованиям SSAB. Из графиков видно, что исходной твердость стали HARDOX 450 не снижается (см. рис. 6,а,б). В случае необходимости повышения исходной твердости его можно достичь на режимах резания ($n=2000\text{ об/мин}$; $S=105\text{ мм/мин}$; $t=3\text{ мм}$) (см. рис. 6,а,б, кривой 5). Выявлено, что с увеличением глубины резания (t) и скорости подачи (S) увеличивается твердость (HB) обработанной поверхности (см. рис. 6а,б). Были определены оптимальные значения режимов резания: $n=2800\text{ об/мин}$; $S=60\text{ мм/мин}$; $t=2\text{ мм}$.

Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований способа термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением стали HARDOX 450 показали, что исходной твердость стали HARDOX 450 не снижается и при этом подбирая режимов резания можно управлять твердостью обработанной поверхности.

2. Установлено, что с увеличением глубины резания и скорости подачи повышается твердость обработанной поверхности. Определены следующие оптимальные режимы резания: $n=2800\text{ об/мин}$; $S=60\text{ мм/мин}$; $t=2\text{ мм}$.

3. В дальнейшем представляет научный и практический интерес металлографическое исследование структурных изменений стали HARDOX 450 при термофрикционном фрезеровании с импульсным охлаждением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шеров, К. Т., Мусаев, М. М., Куанов, И. С., Мұқыш, Б. Б. Сталь HARDOX и проблемы его обработки [Текст] // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 7), посвященной 100-летию со дня рождения академика А. С. Сагинова. Часть 3. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2015. – С. 267–271.

2 Шеров, К. Т., Сихимбаев, М. Р., Шеров, А. К., Маздубай, А. В., Мусаев, М. М., Доненбаев, Б. С., Куанов, И. С. Экспериментальные исследования способа термофрикционной отрезки с импульсным охлаждением при обработке сортового проката различных профилей [Текст] // Международный журнал экспериментального образования. – Москва : Изд-во ИД «Академия Естествознания», 2016. – № 11 (Ч. 1). – С. 36–40.

3 Шеров К. Т., Куанов, И. С., Айнабекова, С. С., Маздубай, А. В., Карсакова, Н. Ж. Экспериментальное исследование обрабатываемости стали HARDOX 450 термофрикционным способом [Текст] // Труды университета. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2019. – № 4 (77) – С. 13–18.

4 **Шеров, К. Т., Маздубай, А. В., Қуанов, И. С.** Научное исследование возможности отрезки стали HARDOX термофрикционным способом [Текст] // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 8), Часть 3. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2016. – С. 147–148.

5 **Dewangan, S. K., Kumar, P., Jha, S. K.** Optimization of Quality and Productivity of Wire EDM by Using L9 Orthogonal Array [Text] // Advances in Industrial and Production Engineering. Springer, Singapore, 2019. – P. 93–100. – https://doi.org/10.1007/978-981-13-6412-9_9

6 **Kalavathi, V., Bhuyan, R. K.** Optimization of process parameters in wedm process on two workpieces of materials HARDOX-400 and HARDOX-500. [Text] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2018. – Vol. 8(4). – P. 71–82. – <https://doi.org/10.24247/ijmperdaug20189>.

7 **Kumar Naik, D., Maity, K. P.** An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis. [Text] // Materials Today : Proceedings, 2018. – Vol. 5(5). – P. 13157–13165. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.306>.

8 **Duc TM, Long TT, Tuan NM.** Novel Uses of Al₂O₃/MoS₂ Hybrid Nanofluid in MQCL Hard Milling of Hardox 500 Steel. [Text] // Lubricants, 2021. – vol. 9(4):45. – <https://doi.org/10.3390/lubricants9040045>

9 **Andrzej Perec, Wojciech Musial, Jaroslaw Prazmo, Ryszard Sobczak, Aleksandra Radomska-Zalas, Anna Fajdek-Bieda, Slawomir Nagnajewicz, Frank Pude.** Multi-criteria Optimization of the Abrasive Waterjet Cutting Process for the High-Strength and Wear-Resistant Steel Hardox500. [Text] // Advances in Water Jetting, Springer International Publishing, 2019. – P. 145–154. – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53491-2>

10 **Deepak Kumar Naik.** Kalipada Maity Predictive modeling of surface roughness, material removal rate and kerf using multiple regression analysis in plasma arc cutting process of hardox and abrex steel. [Text] // Surface Review and Letters, 2020. – Vol. 27. – № 09. 1950206. – <https://doi.org/10.1142/S0218625X19502068>

11 **Deepak Kumar Naik.** Kalipada Maity Experimental analysis of the effect of gas flow rate and nature on plasma arc cutting of Hardox-400. [Text] // Welding in the World, 2020. – Vol. 64. – P. 345–352. – <https://doi.org/10.1007/s40194-019-00836-8>

12 **Atakan Barış Özturan, Gürkan İrsel, Betül Nur Güzey.** Study of the microstructure and mechanical property relationships of gas metal arc welded dissimilar Hardox 450 and S355J2C+N steel joints [Text] // Materials Science and Engineering : A, 2022. – Vol. 856. 143486. – <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143486>.

REFERENCES

1 **Sherov, K. T., Musayev, M. M., Kuanov, I. S., Mūkysh, B. B.** Stal' HARDOX i problemy yego obrabotki [HARDOX steel and its processing problems], [Текст] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki,

obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №7), posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika A. S. Saginova. Chast' 3. – Karaganda : Izd-vo KarGTU, 2015. – P. 267–271.

2 **Sherov, K. T., Sikhimbayev, M.R., Sherov, A. K., Mazdubay, A.V., Musayev, M. M., Donenbayev, B. S., Kuanov, I. S.** Eksperimental'nyye issledovaniya sposoba termofriksionnoy otrezki s impul'snym okhlazhdeniyem pri obrabotke sortovogo prokata razlichnykh profiley [Experimental studies of the method of thermofriction cutting with pulse cooling during processing of rolled products of various profiles], [Text] // Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. – Moscow : Izd-vo ID «Akademiya Yestestvoznaniya», 2016, № 11 (CH. 1). – P. 36–40.

3 **Sherov, K. T., Kuanov, I. S., Aynabekova, S. S., Mazdubay, A. V., Karsakova, N. Zh.** Eksperimental'noye issledovaniye obrabatyvayemosti stali HARDOX 450 termofriksionnym sposobom [Experimental study of the machinability of HARDOX 450 steel by thermofriction method], [Текст] // Trudy universiteta. – Karaganda : Izd-vo KarGTU, 2019. – № 4 (77) – P. 13–18.

4 **Sherov, K. T., Mazdubay, A. V., Kuanov, I. S.** Nauchnoye issledovaniye vozmozhnosti otrezki stali NARDOX termofriksionnym sposobom [Scientific study of the possibility of cutting HARDOX steel by thermofriction method], [Text] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №8), Chast' 3. – Karaganda : Izd-vo KarGTU, 2016. – P. 147–148.

5 **Dewangan, S. K., Kumar, P., Jha, S. K.** Optimization of Quality and Productivity of Wire EDM by Using L9 Orthogonal Array [Text] // Advances in Industrial and Production Engineering. Springer, Singapore, 2019. – P. 93–100. – https://doi.org/10.1007/978-981-13-6412-9_9

6 **Kalavathi, V., Bhuyan, R. K.** Optimization of process parameters in wedm process on two workpieces of materials HARDOX-400 and HARDOX-500. [Text] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2018. – Vol. 8(4). – P. 71–82. – <https://doi.org/10.24247/ijmperdaug20189>.

7 **Kumar Naik, D., Maity, K. P.** An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis. [Text] // Materials Today : Proceedings, 2018. – Vol. 5(5). – P. 13157–13165. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.306>

8 **Duc TM, Long TT, Tuan NM.** Novel Uses of Al₂O₃/MoS₂ Hybrid Nanofluid in MQCL Hard Milling of Hardox 500 Steel. [Text] // Lubricants, 2021. – Vol. 9(4):45. – <https://doi.org/10.3390/lubricants9040045>

9 **Andrzej Perec, Wojciech Musial, Jaroslaw Prazmo, Ryszard Sobczak, Aleksandra Radomska-Zalas, Anna Fajdek-Bieda, Slawomir Nagnajewicz, Frank Pude.** Multi-criteria Optimization of the Abrasive Waterjet Cutting Process for the High-Strength and Wear-Resistant Steel Hardox500. [Text] // Advances in Water Jetting, Springer International Publishing, 2019. – P. 145–154. – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53491-2>

10 **Deepak Kumar Naik**. Kalipada Maity Predictive modeling of surface roughness, material removal rate and kerf using multiple regression analysis in plasma arc cutting process of hardox and abrex steel. [Text] // Surface Review and Letters, 2020. – Vol. 27. – № 09. 1950206. – <https://doi.org/10.1142/S0218625X19502068>

11 **Deepak Kumar Naik**. Kalipada Maity Experimental analysis of the effect of gas flow rate and nature on plasma arc cutting of Hardox-400. [Text] // Welding in the World, 2020. – Vol. 64. – P. 345–352. – <https://doi.org/10.1007/s40194-019-00836-8>

12 **Atakan Barış Özturan, Gürkan İrsel, Betül Nur Güzey**. Study of the microstructure and mechanical property relationships of gas metal arc welded dissimilar Hardox 450 and S355J2C+N steel joints [Text] // Materials Science and Engineering : A, 2022. – Vol. 856. 143486. – <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143486>.

Поступило в редакцию 06.03.25.

Поступило с исправлениями 07.03.25.

Принято в печать 09.03.2025.

И.С. Куанов¹, *К. Т. Шеров², А. А. Сагитов³, С. О. Тусупова⁴, С. И. Мендалиева⁵
^{1,2,3,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

⁴Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

06.03.25 ж. баспаға түсті.

07.03.25 ж. түзетулерімен түсті.

09.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

HARDOX 450 БОЛАТЫН ИМПУЛЬСТІК САЛҚЫНДАТУҒА ИЕ ТЕРМОФРИКЦИЯЛЫҚ ФРЕЗЕРЛЕУ КЕЗІНДЕ ӨНДЕЛГЕН БЕТТІҢ ҚАТТЫЛЫҒЫН ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУ

Қазіргі уақытта HARDOX болаты Қазақстан Республикасының (ҚР) машина жасау кәсіпорындарында кеңінен қолданылады. Машина жасау кәсіпорындары жағдайында жүргізілген зерттеу нәтижелері HARDOX болатты өңдеу кезінде кесу құралдарының үлкен шығынымен байланысты мәселе бар екенін көрсетті. Өйткені HARDOX болатты өңдеу кезінде кескіш құрал мерзімінен бұрын тозуға ұшырайды. Мәселенің бұл күйі HARDOX болатты өңдеудің ресурс үнемдеу әдісін әзірлеу қажеттілігін талап етеді. Ғылыми зерттеудің мақсаты импульстік салқындатуға ие термофрикциялық фрезерлеу кезінде HARDOX болатының өңделген бетінің қаттылығына кесу режимдерінің әсерін анықтау болып табылады. Импульстік салқындатуға ие термофрикциялық фрезерлеуден кейін өңделген беттің қаттылығын зерттеу үшін эксперименттік зерттеу әдістері, сондай-ақ «Statistica 10» компьютерлік бағдарламасын қолдана отырып экспериментті жоспарлау қолданылды. Эксперименттік зерттеудің нәтижелері кесу режимдерін таңдау арқылы өңделген беттің қаттылығын басқаруға болатындығын көрсетті. HARDOX 450 болатының 425–475 HB кепілдендірілген қаттылығы бар екені белгілі. SSAB техникалық талаптарына сәйкес қаттылықтың таралу диапазоны 50 HB аспайды. Эксперименттік зерттеу нәтижесінде HARDOX 450 болатының

бастапқы қаттылығы төмендемейтіні анықталды және қажет болған жағдайда кесу режимдерін таңдау арқылы оның жоғарылауын қамтамасыз етуге болады. Кесу тереңдігі (t) және беру жылдамдығы (S) жоғарылаған сайын өңделген беттің қаттылығы (HB) жоғарылайтыны анықталды.

Кілтті сөздер: HARDOX болатын өңдеу, термофрикциялық фрезерлеу, импульсті салқындату, өңделген беттің қаттылығы, тозу, кесу режимдері.

I. S. Kuanov¹, *K. T. Sherov², A. A. Sagitov³, S. O. Tusupova⁴, S. I. Mendaliev⁵
^{1,2,3,5}S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana

⁴Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan Pavlodar

Received 06.03.25.

Received in revised form 07.03.25.

Accepted for publication 09.03.25.

EXPERIMENTAL STUDY OF HARDNESS OF MACHINED SURFACE DURING THERMOFRICTION MILLING WITH PULSE COOLING OF HARDOX 450 STEEL

Currently, HARDOX steel is widely used by machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan (RK). The results of research conducted in the conditions of machine-building enterprises showed that there is a problem in the mechanical processing of HARDOX steel associated with high consumption of cutting tools. As at processing of steel HARDOX the cutting tool is subjected to premature wear. This state of the problem dictates the need to develop a resource-saving method of machining HARDOX steel. The purpose of scientific research is to determine the influence of cutting modes on the hardness of the machined surface of HARDOX steel during thermofriction milling with pulse cooling. To investigate the hardness of the machined surface after thermofriction milling with pulse cooling, experimental research methods were used, experiment planning with the use of the computer program “Statistica 10”. The results of the experimental study showed that by selecting cutting modes it is possible to control the hardness of the machined surface. It is known that HARDOX 450 steel has a guaranteed hardness of 425–475 HB. The range of hardness variation does not exceed 50 HB according to SSAB technical requirements. As a result of experimental study it was found that the initial hardness of HARDOX 450 steel does not decrease and if necessary by selecting cutting modes it is possible to ensure its increase. It was found that with increasing depth of cut (t) and feed rate (S), the hardness (HB) of the machined surface increases.

Keywords: Machining of HARDOX steel, thermofriction milling, pulse cooling, hardness of machined surface, wear, cutting modes.

**Ж. К. Мусина¹, * Т. Л. Луб², И. А. Шумейко³,
Деревягин С. И⁴, Ткачук А. А⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2233-4947>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9861-7321>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-4151>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6904-7438>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2230-3697>

*e-mail: lub_tou_mis@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА ПРИ РОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ИНСТРУМЕНТОМ С САМОВРАЩАЮЩЕЙСЯ КРОМКОЙ

В данной статье представлен интегрированный подход к математическому моделированию процесса износа при ротационной обработке металлов с использованием инструмента с самовращающейся режущей кромкой. Разработанная модель объединяет динамику вращения режущей пластины, основанную на расчёте моментов, создаваемых основными компонентами сил резания, с учётом инерционных эффектов и трения в подшипниковом узле, а также локальный процесс износа, характеризуемый стохастическим описанием контакта инструмента с заготовкой. Особое внимание уделяется влиянию самовращения, которое обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всей окружности режущей кромки, значительно снижая локальные перегрузки и продлевая срок службы инструмента.

Математическая модель описывает динамику вращения и накопление износа с использованием теоретико-вероятностного подхода, что позволяет учитывать как детерминированные, так и случайные аспекты процесса резания. Для численного решения уравнений динамики и износа используется метод Эйлера, а для моделирования случайных флуктуаций контакта — метод Монте-Карло. Реализованная программа на Python демонстрирует практическую применимость предложенного подхода посредством визуализации распределения износа по угловой координате, динамики угловой скорости инструмента и эволюции износа отдельных сегментов.

Полученные результаты могут стать основой для разработки рекомендаций по оптимизации процессов токарной обработки и других видов обработки с использованием инструментов с самовращающейся режущей кромкой.

Ключевые слова: математическое моделирование, износ инструмента, ротационная обработка, самовращающаяся кромка, стохастическое моделирование, метод Монте-Карло.

Введение

Современные методы обработки металлов резанием требуют повышения эффективности и качества обработки. Одним из перспективных направлений является использование инструмента с самовращающейся режущей кромкой [1]. Процесс резания при этом осуществляется на токарном станке, где обработка детали происходит за счет её вращения и поступательного перемещения резца. Отличительной особенностью рассматриваемого метода является наличие у резца дополнительного вращения, обусловленного установкой режущей пластины на подшипники. Данное вращение обеспечивается за счет угла поворота пластины и действия сил инерции.

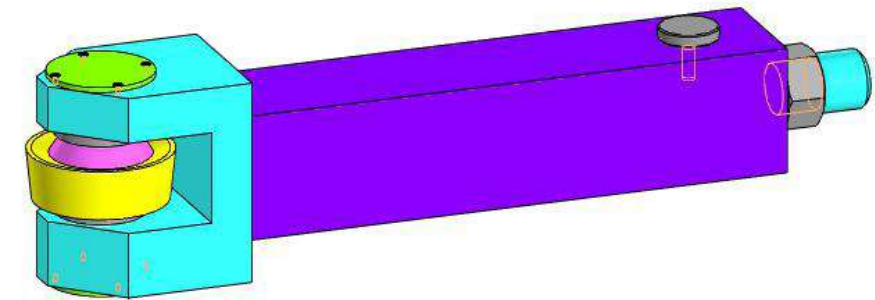


Рисунок 1 – Ротационный поворотный безвершинный токарный резец со стружколомом [2].

Самовращающиеся ротационные инструменты значительно снижают износ за счет равномерного распределения нагрузки по всей окружности режущей кромки. Это способствует многократному увеличению срока службы инструмента, что в отдельных случаях может превышать стандартные значения в сотни раз. Кроме того, применение таких инструментов позволяет существенно повысить эффективность обработки труднообрабатываемых материалов, включая никелевые и титановые сплавы, за счет снижения локальных термомеханических напряжений и оптимизации теплоотведения [3, 4].

Ротационные инструменты способствуют снижению температуры в зоне резания за счет равномерного распределения тепловой нагрузки по всей режущей кромке. Исследованием режущей пластины методом конечных элементов занимались авторы [5,6] для оценки температуры и распределения напряжения в зоне резания при использовании самовращающихся инструментов. Результаты их исследований показали, что самовращающиеся инструменты способствуют снижению температуры в зоне резания, что уменьшает термический износ и повышает стойкость инструмента. Это предотвращает перегрев отдельных участков, снижает вероятность термического повреждения режущей пластины и минимизирует образование прижогов на обработанной поверхности. В результате улучшается качество обработки, обеспечивается стабильность размеров и

параметров шероховатости, а также повышается общая стойкость инструмента [4,7].

Шероховатость поверхности [8] образованной при обработке самовращающимся инструментом, при идентичных со стандартным резцом режимах резания, имеет менее выраженный микрорельеф за счет геометрии круглой режущей кромки. Дополнительное сглаживание шероховатости обеспечивается самовращением режущей кромки, которое формируется в процессе её поворота во время обработки.

Математическое моделирование ротационной обработки инструментом с самовращающейся кромкой является сложной задачей для исследователей, поскольку наличие самовращения за счет сил инерции и трения усложняет моделирование.

Разработаны математические модели для предсказания сил резания и скорости вращения инструмента [9,10], которые учитывают влияние трения в подшипниковом узле [3]. Эти модели позволяют более точно прогнозировать поведение инструмента в процессе резания, что способствует оптимизации режимов обработки и повышению стабильности процесса. Учет трения в подшипниках обеспечивает корректную оценку нагрузок на инструмент, предотвращает преждевременный износ и способствует улучшению качества обработки.

Авторами [11,12] разъяснены применения методов оптимизации, таких как метод поверхности отклика и генетические алгоритмы, позволяет определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие минимальную шероховатость обработанной поверхности и максимальную скорость удаления металла. Эти методы учитывают влияние основных параметров обработки, включая скорость резания, подачу и глубину резания, а также характеристики самовращающегося инструмента. Оптимизация условий обработки способствует повышению производительности, снижению износа инструмента и улучшению качества обработки.

Авторами [13,14] рзработаны модель износа самоходных вращающихся режущих инструментов разработана на основе геометрического взаимодействия рабочего инструмента и эмпирической функции. Прогресс износа инструмента регистрировался через разные интервалы времени. Был разработан генетический алгоритм для определения констант в предлагаемой модели. Сравнение измеренного и прогнозируемого износа фланца показало, что разработанная модель способна прогнозировать скорость прогрессирования износа фланца вращающегося инструмента.

Материалы и методы

Одно из основных преимуществ самовращающихся режущих пластин это равномерный износ, прогнозирование которого является основной задачей при исследовании данного процесса резания.

Для исследования процесса износа разработана математическая модель с учетом теоретико-вероятностного подхода.

Для начала установим основные предположения и переменные:

Одно из основных преимуществ самовращающихся режущих пластин это равномерный износ, прогнозирование которого является основной задачей при исследовании данного процесса резания.

Для исследования процесса износа разработана математическая модель с учетом теоретико-вероятностного подхода.

Для начала установим основные предположения и переменные:

1. Процесс резания:

- заготовка вращается с угловой скоростью ω_3 ;
- резец перемещается продольно с подачей s с глубиной резания a ;
- контакт режущей кромки с заготовкой вызывает износ;
- P_z – касательная сила к поверхности резания, применительно к процессу точения её часто называют также главной или вертикальной составляющей силы резания;
- P_y – радиальная сила, действующая по радиусу обрабатываемой заготовки;
- P_x – осевая сила, действующая в направлении, параллельном оси заготовки.

2. Резец снабжён круглой режущей пластиной радиуса $R_{р.п.}$, установленной на подшипниках. Пластина самовращается под действием момента, возникающего вследствие распределения сил резания вдоль её кромки. Пусть в каждый момент времени элемент инструмента определяется угловой координатой λ (от 0 до 2π).

3. Износ режущей кромки:

- обозначим износ в каждой точке кромки как $V(\lambda, t)$, где λ – угловая координата на пластине, а t – время;
- износ происходит из-за контакта с заготовкой и носит вероятностный характер.

Уравнение динамики вращения инструмента

Момент, вызывающий самовращение:

На элементе кромки, расположенном под углом λ силы P_y и P_z создают момент относительно центра пластинки. Если принять, что локальный вклад в момент определяется проекцией сил на соответствующие рычажные линии, можно записать элементарный вклад в момент:

$$dM(\lambda, t) = R_{р.п.} [P_z(\lambda, t) \sin(\lambda + \delta_z) + P_y(\lambda, t) \cos(\lambda + \delta_y)] \frac{d\lambda}{2\pi}, \quad (1)$$

где δ_z и δ_y – поправочные углы на локальную ориентацию контакта.

Общий момент по кромке:

$$M(t) = R_{р.п.} \int_0^{2\pi} [P_z(\lambda, t) \sin(\lambda + \delta_z) + P_y(\lambda, t) \cos(\lambda + \delta_y)] \frac{d\lambda}{2\pi} \quad (2)$$

Уравнение вращательного движения:

С учётом инерционного эффекта (момент инерции пластины $I_{р.п.}$) и моментов трения M_f в подшипнике (которые могут быть как зависимыми с угловой скоростью пластины $M_f = c\omega_{р.п.}$, так и иметь пороговый характер), динамика описывается уравнением:

$$I_{p.п.} \frac{d\omega_{p.п.}}{dt} = M(t) - M_f. \quad (3)$$

При установившемся режиме $\frac{d\omega_{p.п.}}{dt} \approx 0$ получаем равновесие:

$$\omega_{p.п.} \approx \frac{M(t)}{c} \quad (\text{при } M_f = c\omega_{p.п.}). \quad (4)$$

Итоговое уравнение динамики вращения инструмента

$$I_{p.п.} \frac{d\omega_{p.п.}}{dt} = R_{p.п.} \int_0^{2\pi} [P_z(\lambda, t) \sin(\lambda + \delta_z) + P_y(\lambda, t) \cos(\lambda + \delta_y)] \frac{d\lambda}{2\pi} - M_f. \quad (5)$$

Модель износа режущей кромки с вероятностным описанием

Износ инструмента в точке будем характеризовать функцией $V(\lambda, t)$. Основная идея – локальный износ зависит от действующих сил резания и их проекций на направление, вызывающее механическое стирание. При этом контакт между режущей кромкой и заготовкой (а, следовательно, интенсивность износа) распределён по λ в зависимости от относительной скорости вращения пластинки и заготовки.

Локальное уравнение износа:

Введем параметр k – коэффициент изнашивания, а также весовую функцию $W(\lambda, t)$, отражающую вероятность (или долю времени) контакта элемента с заготовкой. Тогда можно записать:

$$\frac{\partial V(\lambda, t)}{\partial t} = kW(\lambda, t)F_{эф}(\lambda, t), \quad (6)$$

где $F_{эф}(\lambda, t)$ – эффективная сила, вызывающая износ, которая определяется суммой вкладов основных компонент сил резания и трения:

$$F_{эф}(\lambda, t) = \alpha P_z(\lambda, t) + \beta P_y(\lambda, t) + \gamma P_x(\lambda, t) + \mu N(\lambda, t), \quad (7)$$

где коэффициенты α, β, γ отражают геометрию контакта и чувствительность износа к соответствующим силам;

μ – коэффициент трения в зоне контакта;

$N(\lambda, t)$ – нормальная сила, которая может быть оценена через общую величину сил резания (например, суммированием модулей соответствующих компонент).

Весовая функция $W(\lambda, t)$:

Если заготовка вращается с угловой скоростью ω_3 , а инструмент – с $\omega_{p.п.}$, то контакт конкретной точки λ имеет периодический характер и тогда $W(\lambda, t)$ можно описать как:

$$W(\lambda, t) = \chi(\lambda - \omega_{p.п.}t + \Delta(\omega_3 t)), \quad (8)$$

где $\chi(\cdot)$ – функция, принимающая значение 1, когда элемент находится в зоне контакта (например, в пределах некоторого углового интервала), и 0 – иначе.

При усреднённом описании можно считать $\langle W \rangle = \frac{1}{2\pi}$, что соответствует

равномерному распределению контакта при быстром вращении инструмента.

Итоговое уравнение скорости накопления износа:

$$\frac{\partial V(\lambda, t)}{\partial t} = kW(\lambda, t)[\alpha P_z(\lambda, t) + \beta P_y(\lambda, t) + \gamma P_x(\lambda, t) + \mu N(\lambda, t)] \quad (9)$$

Моделирование сил резания P_x, P_y и P_z

В реальных процессах течения силы резания часто моделируются эмпирическими зависимостями от глубины резания a и подачи s :

$$P_i = C_i a^{m_i} s^{n_i} \cdot \varphi_i(\lambda, t) \quad \text{для } i \in \{x, y, z\} \quad (10)$$

Значения коэффициентов C_i , а также показателей m_i и n_i определяются на основе экспериментальных данных и позволяют описать общую тенденцию изменения сил при варьировании технологических параметров. Эти соотношения можно уточнять экспериментально.

При самовращении режущей пластины ориентация локальных осей контакта изменяется, поэтому в уравнениях $P_i(\lambda, t)$ может появляться зависимость от угла – то есть, локально силы резания модулируются положением на кромке.

$\varphi_i(\lambda, t)$ – поправочная функция, учитывающая локальные эффекты ориентации контакта и влияние самовращения.

Результаты и обсуждения

На рисунке 2 представлен пример программы на Python, которая прогнозирует износ режущей кромки с учётом динамики самовращения, эмпирических зависимостей сил резания и стохастических (Монте-Карло) флуктуаций. Программа дискретизирует кромку по углу, решает уравнения динамики и накопления износа методом Эйлера и использует случайные флуктуации для моделирования вариаций в процессе резания.

Примечание: параметры (например, коэффициенты, глубина резания, подача, моменты инерции, коэффициент трения) подобраны для демонстрации работы модели. Для практического применения их следует откалибровать на основе экспериментальных данных.

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# 1. Определение параметров модели
# =====

# --- Геометрия и дискретизация ---
N_theta = 360 # Число сегментов по углу (рекомендуется кратное 360)
theta = np.linspace(0, 2*np.pi, N_theta, endpoint=False)
dtheta = 2*np.pi / N_theta # Шаг по углу (в радианах)
R_p = 15.0 # Радиус режущей пластины (мм)

# --- Динамика вращения ---
I_p = 0.1 # Момент инерции пластины (единицы: кг*мм^2 или аналогичные)
c = 0.05 # Коэффициент вязкого трения в подшипниках

# --- Временные параметры ---
dt = 0.001 # Временной шаг (с)
T_total = 10.0 # Общее время моделирования (с)
n_steps = int(T_total / dt) # Количество временных шагов

# --- Технологические параметры резания ---
a = 2.0 # Глубина резания (мм)
s = 0.1 # Подача (мм/об)

# --- Эмпирические параметры сил резания ---
C_z, C_y, C_x = 100.0, 50.0, 20.0 # Базовые коэффициенты для P_z, P_y, P_x (Н)
m_z, m_y, m_x = 1.0, 1.0, 1.0 # Показатели степени зависимости от глубины резания
n_z, n_y, n_x = 1.0, 1.0, 1.0 # Показатели степени зависимости от подачи

# --- Коэффициенты для износа ---
alpha = 1.0 # Влияние P_z на износ
beta = 0.8 # Влияние P_y на износ
gamma = 0.5 # Влияние P_x на износ
mu = 0.3 # Влияние нормальной силы (трения) на износ
k_wear = 1e-4 # Коэффициент изнашивания (подбирается экспериментально)

```

```

N_force = 100.0 # Нормальная сила в зоне контакта (Н)

# --- Модель распределения контакта (Monte Carlo) ---
p_contact = 0.2 # Вероятность контакта для отдельного сегмента в каждом временном шаге

# --- Флуктуации сил (10% разброс) ---
fluctuation_level = 0.1

# --- Поправочные углы для расчёта момента (в радианах) ---
delta_z = 0.0
delta_y = 0.0

# Установка генератора случайных чисел для воспроизводимости
np.random.seed(42)

# =====
# 2. Инициализация переменных и истории
# =====

V = np.zeros(N_theta) # Массив накопленного износа для каждого сегмента (единицы: мм или условные величины)
omega_p = 0.0 # Начальная угловая скорость самовращения (рад/с)

# История моделирования (для последующего анализа)
omega_history = np.zeros(n_steps)
V_history = np.zeros((n_steps, N_theta))
time_array = np.linspace(0, T_total, n_steps)

# =====
# 3. Функции для расчёта сил резания
# =====

def compute_cutting_forces(a, f, fluctuation_level, N):
    """
    Вычисление компонент сил резания с учетом эмпирических зависимостей
    и случайных флуктуаций.
    """

```

Рисунок 2 – Начальный фрагмент программы прогнозирования износа

Алгоритм работы программы

Инициализация параметров. Задаются дискретизация угловой координаты, параметры инструмента (радиус, момент инерции, коэффициент трения), технологические параметры (глубина резания, подача) и эмпирические коэффициенты для расчёта сил P_x , P_y и P_z .

Модель распределения контакта (Monte Carlo). Для каждого сегмента кромки на каждом временном шаге определяется, находится ли данный сегмент в зоне контакта (с вероятностью $p_{contact}$). Это реализовано с помощью генератора случайных чисел.

Расчёт сил резания с учетом случайных флуктуаций. Для каждого сегмента рассчитываются компоненты сил P_x , P_y и P_z по эмпирическим формулам с добавлением случайного отклонения (10% разброс).

Динамика вращения инструмента. По интегральной формуле рассчитывается суммарный момент $M(t)$, создаваемый распределением сил по кромке. Затем угловая скорость $\omega_{p.п.}$ обновляется методом Эйлера с учетом момента инерции и вязкого трения.

Эволюция износа. Для каждого сегмента вычисляется прирост износа за временной шаг dt по уравнению:

$$\Delta V = dt \cdot k_{wear} \cdot W \cdot (\alpha P_z + \beta P_y + \gamma P_x + \mu N_{force}) \quad (11)$$

Износ накапливается с течением времени.

Визуализация результатов (рисунки 3-5). Программа выводит на экран полярный график распределения износа по угловой координате, график изменения угловой скорости инструмента и, при необходимости, эволюцию износа для выбранного сегмента. Эту модель можно расширять, уточнять или использовать для оптимизации режимов резания, корректируя параметры в соответствии с экспериментальными данными.

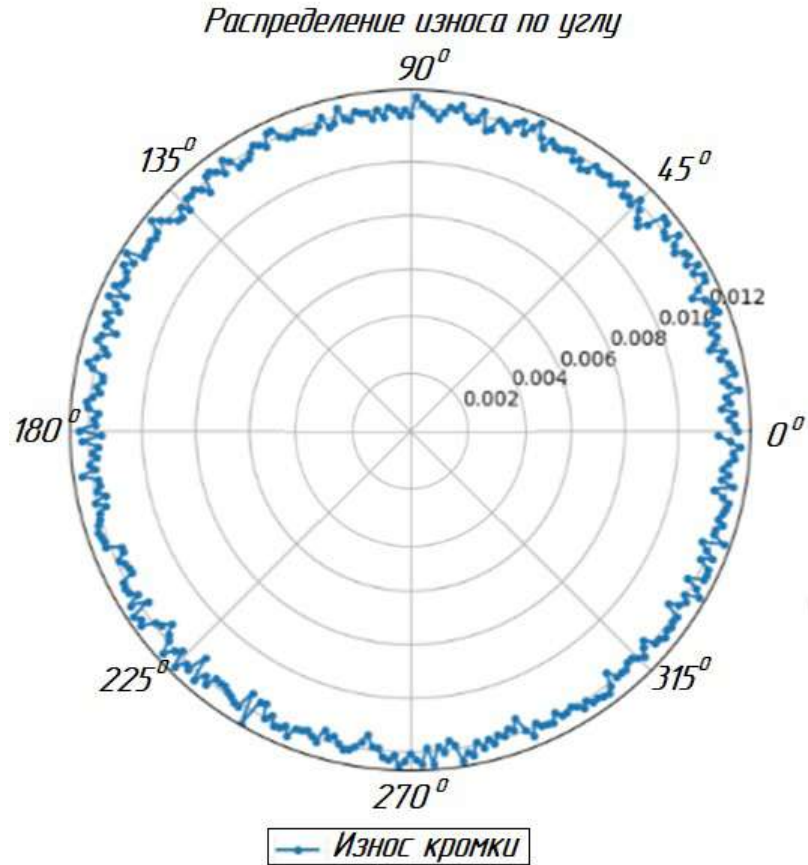


Рисунок 3 – Визуализация распределения износа по углу твердосплавной пластинки резца

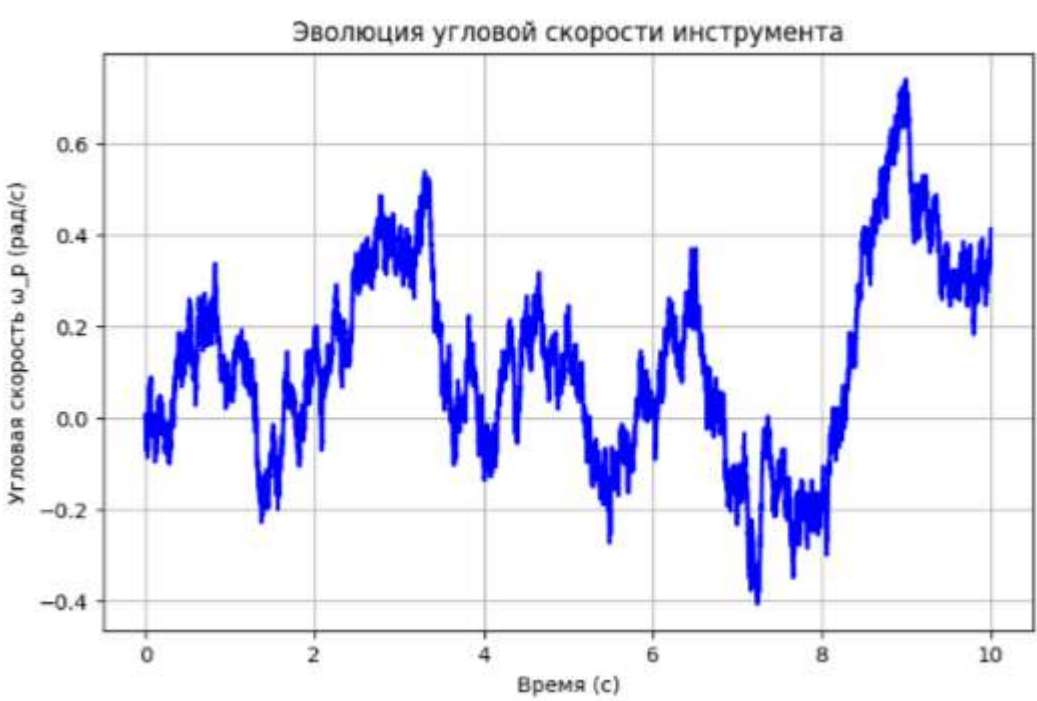


Рисунок 4 – Эволюции угловой скорости инструмента



Рисунок 5 – Эволюции износа для сегмента

Ключевые моменты реализации

1. Модульная структура. Функция `compute_cutting_forces` вычисляет компоненты сил резания для каждого сегмента с учётом эмпирических зависимостей и добавлением случайных колебаний.

2. Дискретизация кромки и моделирование контакта. Кромка делится на 360 сегментов. На каждом временном шаге для каждого сегмента методом Монте-Карло определяется, находится ли он в зоне контакта (вероятность p_{contact}).

3. Динамика вращения. Момент, создаваемый распределением сил, вычисляется с учётом поправочных углов. Затем обновляется угловая скорость резца с учётом момента инерции и вязкого трения.

4. Моделирование износа. Для каждого сегмента рассчитывается прирост износа в соответствии с уравнением, учитывающим влияние всех трёх компонентов сил и нормальной силы.

5. Визуализация. Результаты отображаются в виде полярного графика (распределение износа по углу), графика угловой скорости во времени и эволюции износа для выбранного сегмента.

Эта программа является базовой моделью, которую можно доработать, адаптируя эмпирические зависимости и параметры к реальным экспериментальным данным для оптимизации режущего инструмента с самовращающейся кромкой.

Информация о финансировании (при наличии)

Исследования выполнены в рамках планового-целевого финансирования на 2024-2026 годы по программе: ИРН BR24993003 «Разработка комплекса мероприятий инструментального обеспечения обрабатывающих отраслей экономики РК», финансируемой Комитетом Науки МНВО РК.

Выводы

В статье представлена комплексная математическая модель, объединяющая динамику самовращения режущей пластины, эмпирические зависимости сил резания (P_x , P_y , P_z) и стохастическое распределение контакта с заготовкой. Такой подход позволяет учитывать как детерминированные, так и случайные компоненты процесса обработки. Модель показывает, что самовращение способствует равномерному износу, увеличивая срок службы инструмента и улучшая качество обработки.

Включены ключевые механизмы:

динамика вращения с учетом сил резания, инерции и трения;

локальный износ, зависящий от P_x , P_y , P_z и нормальной силы;

стохастические колебания контакта, моделируемые методом Монте-Карло.

Программа на Python позволяет численно прогнозировать износ, анализировать параметры и оптимизировать режимы резания.

Эти выводы подчёркивают, что комплексное моделирование, включающее как детерминированные, так и стохастические аспекты, является эффективным инструментом для анализа и оптимизации процессов резания с использованием современных режущих инструментов. Для повышения точности модели требуется экспериментальная калибровка, что поможет оптимизировать процессы токарной обработки и других видов резания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Yevtushenko, T. L., Kassenov, A. Z., Mussina, Z. K. et al. Analysis of Rotary Cutter Structure. Russ. Engin. Res. 42 (Suppl 1), P. 70–73. – 2022. – <https://doi.org/10.3103/S1068798X23010070>.

2 Ротационный безвершинный поворотный токарный резец со стружколомом / Касенов А. Ж., Евтушенко Т. Л., Мусина Ж. К., Итыбаева Г. Т., Абишев К. К., Исакова Д. А., Янюшкин А. С. // Патент на изобретение № 36087, 10.02.2023.

3 Kishawy, H., Ahmed, W., & Mohany, A. Analytical modeling of metal cutting process with self-propelled rotary tools. Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology, 33. – 2021. – P. 115–122. – <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2021.03.002>.

4 Ezugwu, E. Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique. Journal of Materials Processing Technology, 185, P. – 2007. – P. 60–71. – <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2006.03.112>.

5 Ahmed, W., Hegab, H., Kishawy, H., & Mohany, A. Estimation of temperature in machining with self-propelled rotary tools using finite element method. Journal of Manufacturing Processes, 61, P. 100–110. – <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.080>.

6 Луб Т. Л., Касенов А. Ж., Мусина Ж. К., Янюшкин А. С., Мусина Л. Р. Обоснование геометрических параметров режущей пластины ротационного безвершинного поворотного токарного резца // Наука и техника Казахстана. – 2024. – № 2. – С. 39–49.

7 Popov, M. Mathematical Model of Rotary Machined Helical Surfaces. MATEC Web of Conferences. 2021. – <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134601038>.

8 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 // Наука и техника Казахстана. – 2024. – № 1. – С. 39–49.

9 Li, L., & Kishawy, H. A model for cutting forces generated during machining with self-propelled rotary tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 2006. – P. 1388–1394. – <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2005.10.003>.

10 Suzuki, N., Suzuki, T., An, R., Ukai, K., Shamoto, E., Hasegawa, Y., & Horiike, N. Force Prediction in Cutting Operations with Self-propelled Rotary Tools Considering Bearing Friction. Procedia CIRP, 14, 2014. – P. 125–129. – <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.03.033>.

11 Rao, T., Krishna, A., Katta, R., & Krishna, K. Modeling and multi-response optimization of machining performance while turning hardened steel with self-propelled rotary tool. Advances in Manufacturing, 3, 2014. – P. 84–95. – <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0092-z>.

12 Nguyen, T. An energy-efficient optimization of the hard turning using rotary tool. Neural Computing and Applications, 33, 2020. – P. 2621–2644. – <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05149-2>.

13 Kishawy, H., Pang, L., & Balazinski, M. Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools. International Journal of Mechanical Sciences, 53, 2011. – P. 1015–1021. – <https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2011.08.009>.

14 Umer, U., Mian, S., Mohammed, M., Abidi, M., Moiduddin, K., & Kishawy, H. Tool Wear Prediction When Machining with Self-Propelled Rotary Tools. Materials, 15. – 2022. – <https://doi.org/10.3390/ma15124059>.

REFERENCES

1 Yevtushenko, T. L., Kassenov, A. Z., Mussina, Z. K. et al. Analysis of Rotary Cutter Structure. Russ. Engin. Res. 42 (Suppl 1), P. 70–73. – 2022. – <https://doi.org/10.3103/S1068798X23010070>.

2 Rotacionnyj bezvershinnyj povorotnyj tokarnyj rezec so struzhkolomom [Rotary Topless Rotary Turning Cutter with Chip Breaker] / Kasenov A. Zh., Yevtushenko T. L., Musina Zh. K., Itybaeva G. T., Abishev K. K., Iskakova D. A., Yanyushkin A. S. // Patent for invention № 36087, 02/10/2023

3 Kishawy, H., Ahmed, W., & Mohany, A. Analytical modeling of metal cutting process with self-propelled rotary tools. Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology, 33. – 2021. – P. 115–122. – <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2021.03.002>.

4 Ezugwu, E. Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique. Journal of Materials Processing Technology, 185, P. – 2007. – P. 60–71. – <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2006.03.112>.

5 Ahmed, W., Hegab, H., Kishawy, H., & Mohany, A. Estimation of temperature in machining with self-propelled rotary tools using finite element method. Journal of Manufacturing Processes, 61, P. 100–110. – <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.080>.

6 Lub T. L., Kassenov A. Zh., Mussina Zh. K., Yanushkin A. S., Musina L. R. Obosnovanie geometricheskikh parametrov rezhushchej plastiny rotacionnogo bezvershinного povorotного tokarnого rezca [Substantiation of the geometric parameters of the cutting plate of a rotary topless rotary turning cutter] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2024. – № 2. – P. 39–49.

7 Popov, M. Mathematical Model of Rotary Machined Helical Surfaces. MATEC Web of Conferences. 2021. – <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134601038>.

8 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 // Наука и техника Казахстана. – 2024. – № 1. – С. 39–49.

9 Li, L., & Kishawy, H. A model for cutting forces generated during machining with self-propelled rotary tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 2006. – P. 1388–1394. – <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2005.10.003>.

10 Suzuki, N., Suzuki, T., An, R., Ukai, K., Shamoto, E., Hasegawa, Y., & Horiike, N. Force Prediction in Cutting Operations with Self-propelled Rotary Tools Considering Bearing Friction. Procedia CIRP, 14, 2014. – P. 125–129. – <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.03.033>.

11 Rao, T., Krishna, A., Katta, R., & Krishna, K. Modeling and multi-response optimization of machining performance while turning hardened steel with self-propelled rotary tool. Advances in Manufacturing, 3, 2014. – P. 84–95. – <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0092-z>.

12 Nguyen, T. An energy-efficient optimization of the hard turning using rotary tool. Neural Computing and Applications, 33, 2020. – P. 2621–2644. – <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05149-2>.

13 Kishawy, H., Pang, L., & Balazinski, M. Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools. International Journal of Mechanical Sciences, 53, 2011. – P. 1015–1021. – <https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2011.08.009>.

14 Umer, U., Mian, S., Mohammed, M., Abidi, M., Moiduddin, K., & Kishawy, H. Tool Wear Prediction When Machining with Self-Propelled Rotary Tools. Materials, 15. – 2022. – <https://doi.org/10.3390/ma15124059>.

Поступило в редакцию 14.02.25.

Поступило с исправлениями 14.02.25.

Принято в печать 17.02.25.

Ж. К. Мусина¹, * Т. Л. Луб², И. А. Шумейко³, С. И. Деревягин⁴, А. А. Ткачук⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

14.02.25 ж. баспаға түсті.

14.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

17.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ӨЗДІГІНЕН АЙНАЛАТЫН ЖИЕГІ БАР ҚҰРАЛМЕН АЙНАЛМАЛЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ ТОЗУ ПРОЦЕСІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл мақалада өздігінен айналатын кесу жиегі бар құралды қолдана отырып, металдарды айналымалы өңдеу кезінде тозу процесін математикалық модельдеуге интеграцияланған тәсіл ұсынылған. Өзірленген модель мойынтірек жинағындағы инерциялық әсерлер мен үйкелісті ескере отырып, кесу күштерінің негізгі компоненттері тудыратын моменттерді есептеуге негізделген кесу тақтасының айналу динамикасын, сондай-ақ құралдың дайындамамен байланысының стохастикалық сипаттамасымен сипатталатын жергілікті тозу процесін біріктіреді. Өздігінен айналу әсеріне ерекше назар аударылады, бұл жүктеменің кесу жиегінің бүкіл шеңберіне біркелкі таралуын қамтамасыз етеді, жергілікті шамадан тыс жүктемені айтарлықтай азайтады және құралдың қызмет ету мерзімін ұзартады.

Математикалық модель кесу процесінің детерминистік және кездейсоқ аспектілерін ескеруге мүмкіндік беретін теориялық-ықтималдық тәсілін қолдана отырып, айналу динамикасы мен тозудың жинақталуын сипаттайды. Динамика мен тозу теңдеулерін сандық шешу үшін Эйлер әдісі, ал кездейсоқ контактілі ауытқуларды модельдеу үшін Монте — Карло әдісі қолданылады. Іске асырылған Python бағдарламасы тозудың бұрыштық координаталық таралуын, құралдың бұрыштық жылдамдық динамикасын және жеке

сегменттердің тозу эволюциясын визуализациялау арқылы ұсынылған тәсілдің практикалық қолданылуын көрсетеді.

Алынған нәтижелер өздігінен айналатын кесу жиегі бар құралдарды пайдалана отырып, токарлық өңдеу процестерін және өңдеудің басқа түрлерін оңтайландыру бойынша ұсыныстарды әзірлеуге негіз бола алады.

Кілтті сөздер: математикалық модельдеу, құралдың тозуы, айналмалы өңдеу, өздігінен айналатын жиек, стохастикалық модельдеу, Монте-Карло әдісі.

Zh. K. Mussina¹, * T. L. Lub², I. A. Shumeyko³, S. I. Derevyagin⁴, A. A. Tkachuk⁵

^{1,2,3,4,5}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 14.02.25.

Received in revised form 14.02.25.

Accepted for publication 17.02.25.

MATHEMATICAL MODELING OF THE WEAR PROCESS DURING ROTARY MACHINING USING A TOOL WITH A SELF-ROTATING CUTTING EDGE

This article presents an integrated approach to the mathematical modeling of the wear process during rotary metalworking using a tool with a self-rotating cutting edge. The developed model combines the dynamics of rotation of the cutting plate, based on the calculation of the moments created by the main components of the cutting forces, taking into account inertial effects and friction in the bearing assembly, as well as the local wear process, characterized by a stochastic description of the contact of the tool with the workpiece. Special attention is paid to the effect of self-rotation, which ensures uniform load distribution over the entire circumference of the cutting edge, significantly reducing local overloads and prolonging tool life.

The mathematical model describes the dynamics of rotation and wear accumulation using a probability-theoretical approach, which allows taking into account both deterministic and random aspects of the cutting process. The Euler method is used to numerically solve the equations of dynamics and wear, and the Monte Carlo method is used to simulate random fluctuations in contact. The implemented Python program demonstrates the practical applicability of the proposed approach by visualizing the wear distribution along the angular coordinate, the dynamics of the angular velocity of the tool, and the wear evolution of individual segments.

The results obtained can become the basis for the development of recommendations for optimizing turning and other types of machining using tools with a self-rotating cutting edge.

Keywords: mathematical modeling, tool wear, rotary machining, self-rotating edge, stochastic modeling, Monte Carlo method.

МРНТИ 55.13.99

<https://doi.org/10.48081/QKXI3631>

А. Е. Мухитова¹, *О. А. Нуржанова², О. М. Жаркевич³, О. Černašėjus⁴

^{1,2,3}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

⁴Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, Литва, г. Вильнюс

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5703-4737>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2196-6392>

*e-mail: nurzhanova_o@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Целью исследования является экспериментальная оценка износостойкости наплавленных слоев, полученных с использованием проволоки Св08Г2С, 30ХГСА и ОК Tubrodur 35GM, которые применяются при восстановлении валов электродвигателей. Этот параметр напрямую влияет на долговечность и надежность восстановленной детали, а также на эффективность работы всего электродвигателя. Выбор оптимального материала обеспечивает долговечность вала при дальнейшей эксплуатации. Установлена прямая корреляция между твердостью наплавленного материала и его износостойкостью: наиболее твердый сплав ОК Tubrodur 35GM продемонстрировал наилучшие результаты, так как он имел наименьшую площадь лунки износа. Наибольшая площадь лунки наблюдалась у наплавочного материала Св08Г2С.

При анализе микроструктуры наплавленных образцов проволоками СВ08Г2С, 30ХГСА, ОК Tubrodur 35GM были выявлены особенности пористости наплавленных слоев для каждого из материалов. Наибольшая пористость наплавки наблюдается с проволокой 30ХГСА, наименьшая пористость - с проволокой СВ08Г2С, наибольшее количество включений наблюдается с проволокой ОК Tubrodur 35GM.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что для увеличения износостойкости и долговечности восстанавливаемых наплавкой валов электродвигателей рекомендуется применять проволоки СВ08Г2С и ОК Tubrodur 35GM.

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации процессов восстановления деталей машин методом наплавки.

Ключевые слова: коэффициент трения, Св-08Г2С, ОК Tubrodur 35GM, 30ХГСА, износостойкость.

Введение

В процессе работы валы постоянно взаимодействует с различными элементами двигателя (подшипники, муфты), что приводит к постепенному износу поверхности [1]. Вибрации, возникающие при работе двигателя, ускоряют процесс износа, особенно на участках с концентрацией напряжений [2]. Перепады температур могут вызывать термические напряжения в материале вала, что приводит к образованию микротрещин и ускорению износа [3].

Если износ поверхностей валов электродвигателей не превышает 0,1 - 1 мм, ремонтные предприятия чаще всего поврежденные участки вала восстанавливают слоем металла с помощью различных методов наплавки (электродуговой, плазменной, лазерной) [4]. После наплавки поверхность обрабатывается для восстановления геометрических параметров [5].

Оценка износостойкости наплавочных материалов является одним из ключевых этапов при восстановлении изношенных поверхностей валов электродвигателей [6]. Этот параметр напрямую влияет на долговечность и надежность восстановленной детали, а также на эффективность работы всего электродвигателя [7].

Таким образом, целью данной статьи является оценка износостойкости наплавочных материалов, применяемых при восстановлении наплавкой поверхностей валов электродвигателей для выбора оптимального материала, обеспечивающего долговечность вала при дальнейшей эксплуатации.

Материалы и методы

В ходе эксперимента для наплавки на подложку из металла Ст3 были использованы три марки проволок:

- 1) СВ08Г2С $\varnothing$ 1,2 мм;
- 2) ОК Tubrodur 35GM $\varnothing$ 1,2 мм;
- 3) 30ХГСА $\varnothing$ 1,6 мм.

В таблице 1 представлены химические составы проволок.

Таблица 1 – Химический состав и физико-механические свойства наплавочных материалов

Марка	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni	σ_r , МПа	σ_n , МПа	KCV, Дж/см ²
СВ08Г2С	0.05 -0.08	1.8 -1.95	0.7 -0.95	0.025	0.02	-	-	430	560	55
ОК Tubro- dur 35GM	0.20	1,0	1.4	0.030- 0.025	0.030- 0.025	1.50	-	497	588	68
30ХГСА	0.28- 0.34	1.1	0.9	0.008	0.007	1.0	0.128	490	655	59

Образцы наплавлялись при помощи сварочного полуавтомата Kemppi (США).

При наплавке регулировалась скорость подачи проволоки (V). Два остальных параметра: сила тока (I) и напряжение выставались оборудованием автоматически (U).

Выбор оптимальных режимов наплавки был основан на получении качественного наплавленного слоя [8] высотой 3 – 3,5 мм и твердостью для 335-400 HV для СВ08Г2С ОК и Tubrodur 35 GM ($V = 2,75$ м/с; $I = 96$ А; $U = 19,2$ В), твердостью 275 HV для 30ХГСА ($V = 3,75$ м/с; $I = 100$ А; $U = 20,9$ В).

От каждой марки проволоки был выбрано по одному образцу. Образцы были подготовлены для проведения трибологических испытаний согласно ГОСТ 23.224-86 [9].

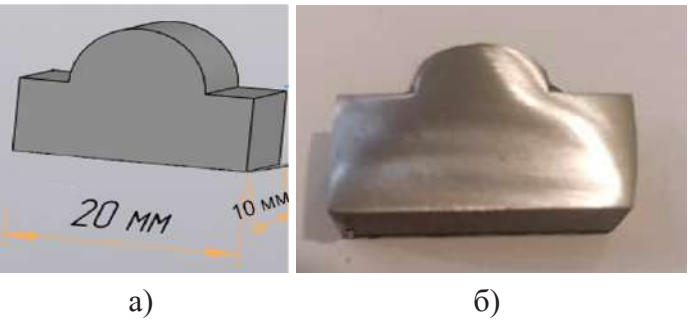


Рисунок 1 – Образцы, подготовленные для трибологических испытаний (а – 3D модель наплавленного образца, б – экспериментально наплавленный образец)

Трибологические исследования проводились по схеме трения «Шарик-диск» на трибометре Microtest (Microtest, SA, Мадрид, Испания, рисунок 3) в следующих экспериментальных условиях:

- расстояние скольжения – 100 м;
- скорость скольжения – 150 об/мин;
- радиус траектории – 2 мм;
- нагрузка – 10 Н;
- температура испытания – 22,3°С;
- время – 27 мин.

В качестве индентора использовался шарик из закаленной нержавеющей стали AISI 52100 диаметром 4 мм, твердостью 64 HRC. Каждый из 3 образцов был частично срезан по направлению наплавки для проведения испытания на износ.

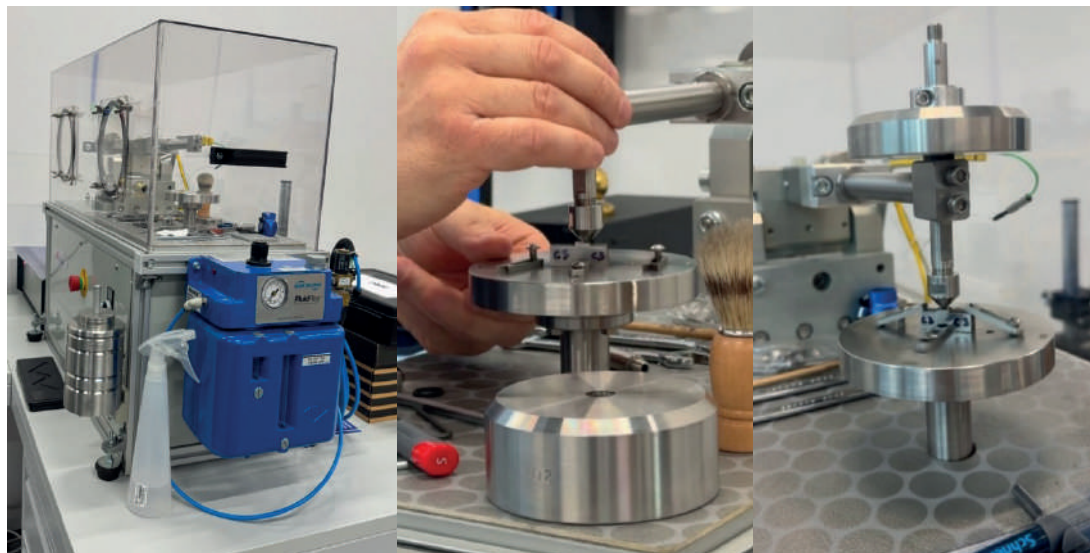


Рисунок 3 – Трибометр Microtest

Степень износа материала с наплавкой оценивалась путем взвешивания опытных образцов до и после испытаний на аналитических весах (рисунок 4).



Рисунок 4 – Лабораторные весы AS 60/220.R2 PLUS Analytical Balance

Потерю веса шарика регистрировали на лабораторных весах с точностью 0,00001 %, потерю веса образца регистрировали с точностью 0,001.

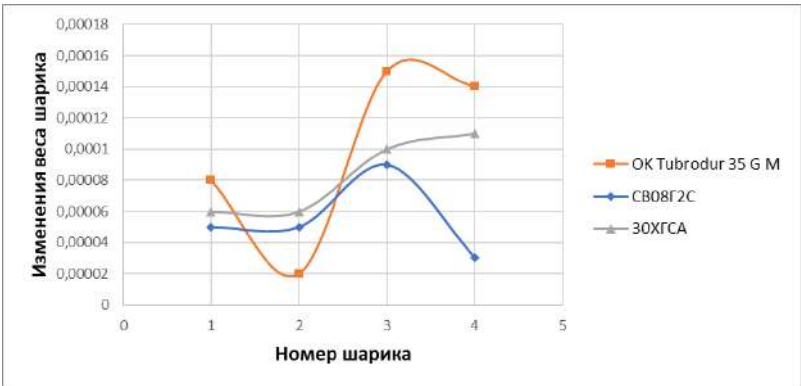
Результаты и обсуждение

На образцах после трибологических испытаний остался след трения шарика о поверхность (рисунок 5).

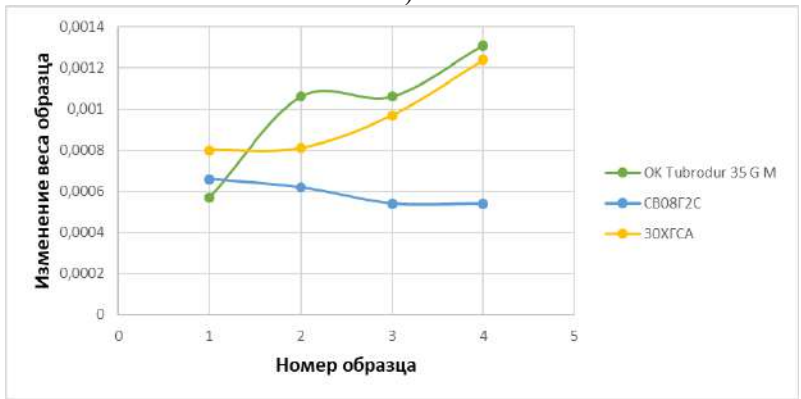


Рисунок 5 – Образцы после трибологических испытаний

Полученные зависимости твердости наплавленного слоя от изменения массы образцов и шариков для каждой проволоки показаны на рисунке 6.



а)



б)

Рисунок 6 – Изменение массы образцов и шариков для каждой проволоки (а – изменения массы шарика для трех проволок, б – изменение веса образца для трех проволок)

На рисунке 7 представлена зависимость коэффициента трения от расстояния прохождения контртела при трибологических испытаниях.

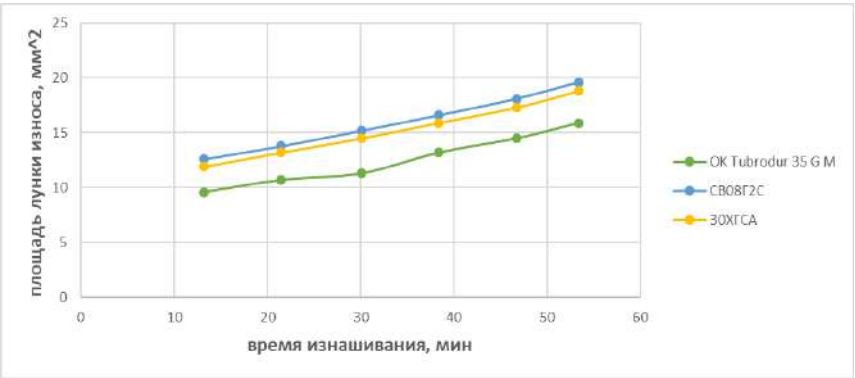


Рисунок 7 – Зависимость изменение площади износа от времени изнашивания

Установлено, что площадь лунки износа линейно возрастает с увеличением времени изнашивания. Наибольшая площадь лунки наблюдается у наплавочного материала СВ08Г2С, наименьшая площадь лунки – ОК Tubrodur 35GM.

Для оценки износостойкости наплавленных материалов были определены зависимости коэффициента трения от пути трения (рисунок 8).

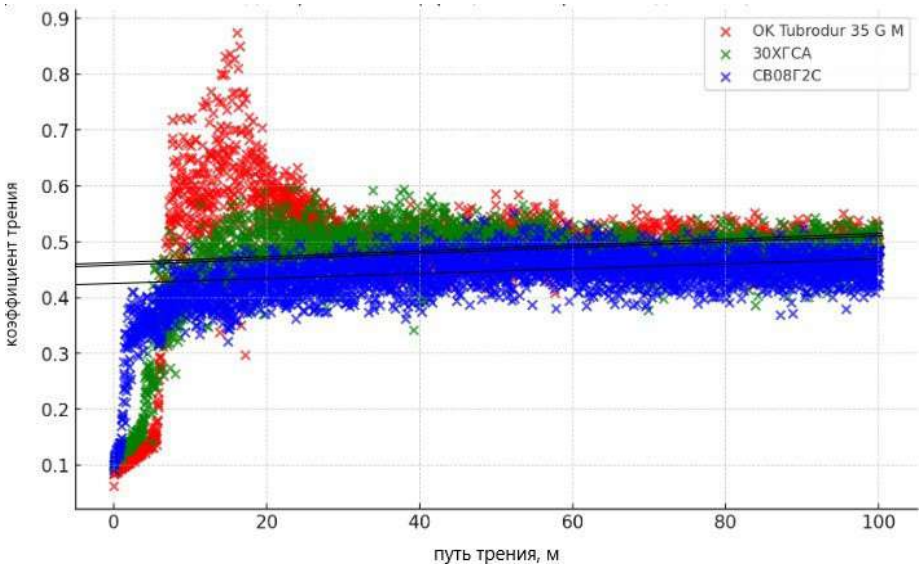


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента трения от расстояния прохождения контртела при трибологических испытаниях

Установлено, что коэффициент трения за путь = 100 м для наплавочного материала СВ08Г2С находится в пределах $0,47 \div 0,49$; для 30ХГСА – $0,45 \div 0,47$, для ОК Tubrodur – $0,43 \div 0,45$, Результаты трибологических испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

№ образца	Изменение веса шарика после эксперимента, г	Изменение веса образца после эксперимента, г	Коэффициент трения	Путь трения, м
СВ08Г2С	0,00009	0,00054	0,482302	55,825516
30ХГСА	0,0001	0,00097	0,465334	50,004631
ОК Tubrodur 35GM	0,00002	0,00106	0,440520	50,018681

Анализируя данные таблицы 2, можно сделать вывод, что наиболее износостойким является наплавочный материал ОК Tubrodur 35GM.

Также была проанализирована микроструктура наплавленных образцов пролоками СВ08Г2С, 30ХГСА, ОК Tubrodur 35GM на сканирующем электронном микроскопе JEOL (Япония).

Таблица 3 – Микроструктура наплавленного слоя по трем проволокам

Увели- чение	СВ08Г2С	30ХГСА	ОК Tubrodur 35GM
×1000			
×500			

Наплавка, выполненная материалами СВ08Г2С, 30ХГСА, ОК Tubrodur 35GM имеет вытянутость зерна [10] вдоль ведения движения горелки.

Наибольшая пористость наплавки наблюдается с проволокой 30ХГСА, наименьшая пористость - с проволокой СВ08Г2С. наибольшее количество включений наблюдается с проволокой ОК Tubrodur 35GM.

Выводы

Среди исследованных материалов наибольшую площадь лунки демонстрирует самый мягкий сплав СВ08Г2С, в то время как наименьшую — самый твердый сплав ОК Tubrodur 35GM. Материал 30ХГСА занимает промежуточное положение по твердости. Самым износостойким наплавочным материалом при выбранных

режимах является ОК Tubrodur 35GM ($k_T = 0,44$), затем 30ХГСА ($k_T = 0,46$), менее износостойким СВ08Г2С ($k_T = 0,48$);

Наиболее пористая наплавка при выбранных режимах проволокой 30ХГСА, затем проволокой ОК Tubrodur 35GM, наименее пористая наплавка СВ08Г2С;

С учетом вышеизложенного, для увеличения износостойкости и долговечности восстанавливаемых наплавкой валов электродвигателей применять проволоки СВ08Г2С и ОК Tubrodur 35GM.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Zharkevich, O., Nurzhanova, O., Zhukova, A., Bucinskas, V. Investigation of the Performance Properties of Parts Surfaces to Be Recovered by SemiAutomatic Hardfacing // Труды университета. – 2023. – №2 (91). – С. 52–58.

2 Kowalski, S., Barta, D., Dižo, J., Dittrich, A. Assessment of the Wear of a Repeatedly Disassembled Interference-Fit Joint Operating under Rotational Bending Conditions// Appl. Sci. – 2023. – 13. (3902). – <https://doi.org/10.3390/app13063902>.

3 Жаркевич, О. М., Мухитова, А. Е., Тайманова, Г. К. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің ақауларын талдау және оларды қалпына келтіру әдістері //Труды университета. – 2023. – № 4 (93). – С. 3–8.

4 Kupiec, B., Opiekun, Z., Dec, A. Rebuilding of Turbocharger Shafts by Hardfacing// Materials. – 2022. – 15 (5761). – <https://doi.org/10.3390/ma15165761>.

5 Krainev, D., Polyanchikova, M., Bondarev, A. Influence of the surface layer characteristics on the regularities of the cutting process // MATEC Web of Conferences. – 2017. – 129 (01045). – P. 1–3.

6 Ban, M., Hasegawa, N., Ueno, Y., Shinozaki, H., Fukumoto, H. Wear Resistance Property of Hardfacing Weld Overlays Containing Metal Carbides// Tribology Online. – 2012. – 7(4). – P. 207. – <https://doi.org/10.2474/trol.7.207>.

7 Popov, M., Kulnitskiy, B., Blank, V. Superhard Materials Based on Fullerenes and Nanotubes// Comprehensive Hard Materials. – 2014. – V. 3. – P. 515–538.

8 Жаркевич, О. М., Мухитова, А. Е., Нуржанова, О. А., Бессонов, А. В., Тайманова, Г. К. Исследование оптимальных параметров наплавки при восстановлении валов электродвигателей // Вестник ЕНУ. – 2024. - Техническая серия, № 2. – С. 204–218.

9 Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей: ГОСТ 23.224-86. – Изд. сент. 2005; введ. 01.01.87.

10 Lyutskanov, K., Hristov, H., Demirova, K. Experimental research of abrasive wear of surfacing layers// SCNVNA. – 2018. – 32. – P. 52–56.

REFERENCES

1 Zharkevich, O., Nurzhanova, O., Zhukova, A., Bucinskas, V. Investigation of the Performance Properties of Parts Surfaces to Be Recovered by SemiAutomatic Hardfacing // Trudy universiteta. – 2023. – №2(91). – P. 52–58.

2 Kowalski, S., Barta, D., Dižo, J., Dittrich, A. Assessment of the Wear of a Repeatedly Disassembled Interference-Fit Joint Operating under Rotational Bending Conditions// Appl. Sci. – 2023. – 13. (3902). – <https://doi.org/10.3390/app13063902>

3 Zharkevich, O. M., Mukhitova, A. E., Tajmanova, G. K. Elektr kozgaltkyshtarynyn bilikterinin akaularyn taldaу zhane olardy kalpyna keltiru adisteri [Analysis of malfunctions of the shafts of electric motors and methods for their recovery] //Trudy universiteta. – 2023. – № 4 (93). – P. 3–8

4 Kupiec, B., Opiekun, Z., Dec, A. Rebuilding of Turbocharger Shafts by Hardfacing// Materials. – 2022. – 15 (5761). – <https://doi.org/10.3390/ma15165761>.

5 Krainev, D., Polyanchikova, M., Bondarev, A. Influence of the surface layer characteristics on the regularities of the cutting process // MATEC Web of Conferences. – 2017. – 129 (01045). – P. 1–3.

6 Ban, M., Hasegawa, N., Ueno, Y., Shinozaki, H., Fukumoto, H. Wear Resistance Property of Hardfacing Weld Overlays Containing Metal Carbides// Tribology Online. – 2012. -7(4). – P. 207. <https://doi.org/10.2474/trol.7.207>.

7 Popov, M., Kulnitskiy, B., Blank, V. Superhard Materials Based on Fullerenes and Nanotubes// Comprehensive Hard Materials. – 2014. – V.3. – P. 515–538.

8 Zharkevich, O. M., Mukhitova, A. E., Nurzhanova, O. A., Bessonov, A. V., Tajmanova, G. K. Issledovanie optimalnyh parametrov naplavki pri vosstanovlenii valov elektrodvigatелеj [Investigation of optimal surfacing parameters during restoration of electric motor shafts]// Vestnik ENU. – 2024. – Tehnicheskaya seriya, № 2. – P. 204–218.

9 Obespechenie iznosostojkosti izdelij. Metody ocenki iznosostojkosti vosstanovlennyh detalej [Ensuring the wear resistance of products. Methods for assessing the wear resistance of refurbished parts]: GOST 23.224-86. – publ. sept.. 2005; intr. 01.01.87.

10 Lyutskanov, K., Hristov, H., Demirova, K. Experimental research of abrasive wear of surfacing layers// SCNVNA. – 2018. – 32. – P. 52–56.

Поступило в редакцию 15.01.25.

Поступило с исправлениями 21.01.25.

Принято в печать 10.02.25.

*А. Е. Мухитова¹, *О. А. Нуржанова², О. М. Жаркевич³, О. Černašėjus⁴*

^{1,2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

⁴Гедимин атындағы Вильнюс техникалық университетінің, Литва, Вильнюс қ.

15.01.25 ж. баспаға түсті.

21.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**ЭЛЕКТР ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ БІЛІКТЕРІНІҢ БЕТТЕРІН
ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН БЕТКІ
МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ**

Зерттеудің мақсаты-электр қозғалтқыштарының біліктерін қалпына келтіруде қолданылатын Sv08g2s, 30XGS және OK tubrodur 35GM сымдарының көмегімен алынған балқытылған қабаттардың тозуға төзімділігін эксперименттік бағалау. Бұл параметр қалпына келтірілген бөліктің беріктігі мен сенімділігіне, сондай-ақ бүкіл электр қозғалтқышының тиімділігіне тікелей әсер етеді. Оңтайлы материалды таңдау әрі қарай жұмыс істегенде біліктің беріктігін қамтамасыз етеді. Балқытылған материалдың қаттылығы мен оның тозуға төзімділігі арасында тікелей корреляция орнатылды: ең қатты қорытпа OK Tubrodur 35GM ең жақсы нәтиже көрсетті, өйткені оның тозу тесігінің ауданы ең аз болды. Шұңқырдың ең үлкен ауданы Sv08g2s беткі материалында байқалды.

Балқытылған үлгілердің микроқұрылымын SV08G2S, 30XGS, OK Tubrodur 35GM сымдарымен талдау кезінде материалдардың әрқайсысы үшін балқытылған қабаттардың кеуектілігінің ерекшеліктері анықталды. Бетінің ең үлкен кеуектілігі 30XGS сыммен, ең аз кеуектілігі - CB08G2C сыммен, ең көп қосындылар OK Tubrodur 35gm сыммен байқалады.

Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде электр қозғалтқыштарының балқытылатын біліктерінің тозуға төзімділігі мен беріктігін арттыру үшін CB08G2C және OK Tubrodur 35gm сымдарын қолдану ұсынылатыны анықталды.

Зерттеу нәтижелерін балқыту арқылы машина бөлшектерін қалпына келтіру процестерін оңтайландыру үшін пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: үйкеліс коэффициенті, CB08G2C, OK Tubrodur 35GM, 30HGSA, тозуға төзімділік.

**A. E. Mukhitova¹, *O. A. Nurzhanova²,
O. M. Zharkevich³, O. Černašėjus⁴**

^{1,2,3}Abylka Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

⁴Gediminas Vilnius Technical University, Vilnius, Lithuania

Received 15.01.25.

Received in revised form 21.01.25.

Accepted for publication 10.02.25.

**INVESTIGATION OF WEAR RESISTANCE OF SURFACING MATERIALS
FOR RESTORATION OF SHAFT SURFACES OF ELECTRIC MOTORS**

The aim of the study is to experimentally evaluate the wear resistance of the deposited layers obtained using Sv08G2C, 30HGSA and OK Tubrodur 35GM wires, which are used in the restoration of electric motor shafts. This parameter directly affects the durability and reliability of the restored part, as well as the efficiency of the entire electric motor. The choice of the optimal material ensures the durability of

the shaft during further operation. A direct correlation has been established between the hardness of the deposited material and its wear resistance: the hardest alloy OK Tubrodur 35GM demonstrated the best results, since it had the smallest wear hole area. The largest area of the hole was observed in the surfacing material Sv08G2S.

When analyzing the microstructure of the deposited samples with SV08G2C, 30HGSA, OK Tubrodur 35GM wires, the porosity features of the deposited layers for each of the materials were revealed. The highest porosity of the surfacing is observed with 30HGSA wire, the lowest porosity is with SV08G2C wire, the largest number of inclusions is observed with OK Tubrodur 35GM wire.

As a result of experimental studies, it was found that to increase the wear resistance and durability of the shafts of electric motors restored by surfacing, it is recommended to use SV08G2C and OK Tubrodur 35GM wires.

The results of the study can be used to optimize the processes of repairing machine parts by surfacing.

Keywords: coefficient of friction, SV08G2C, OK Tubrodur 35GM, 30HGSA, wear resistance.

**В. В. Поветкин¹, М. К. Татыбаев², *Ж. Н. Абілқайыр³,
О. О. Дуйсенбекова⁴, О. Т. Манкешева⁵**

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

^{2,3,4,5}Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7568-1061>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6039-5173>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3506-6264>

*e-mail: jastalap81@mail.ru

МАШИНАЛАР МЕН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН ЖӘНЕ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫ

Мақала Қазақстанның тау-кен және қайта өңдеу өнеркәсібінде қолданылатын машиналар мен материалдардың қызмет ету мерзімін және тозуға төзімділігін арттырудың негізгі бағыттарына арналған. Мақалада металл ұнтақтарын газбен жалынмен балқыту процестері мен технологиясы қарастырылған, машина бөлшектерінің қатайтылған беткі қабатын жасау үшін перспективалы заманауи газотермиялық әдістер орнатылған. Тозуға төзімді жабындарды қолданудың газотермиялық әдісін зерттеу негізінде центрифугалық топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегінің жаңа дизайны жасалды. Газотермиялық балқытуды қолданудың техникалық-экономикалық негіздемесінің нәтижесінде қуаты 10-нан 60 кВт-қа дейінгі электр догалы плазматрондардың плазмалық ағындарын пайдаланудың тиімділігі анықталды, олар 500 МПа-ға дейін адгезия беріктігін және 0,56 экономикалық тиімділік коэффициентін қамтамасыз етеді. Брахиостокрон мен логарифмдік спираль бойынша профильденген иық пышақтарының кіру және шығу бұрыштары оңтайландырылған, бұл бөлшектердің әсер ету әсерін азайтады. CrB₂ хром боридімен өздігінен ағатын ПГ-Ж40 қорытпасын қолдану сорғылардың жұмыс ресурсын едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Сорғы бөлшектерінің әр түрлі жұмыс жағдайында қызмет ету мерзімі туралы мәліметтер, сондай-ақ ұсынылған әдістің тиімділігін растайтын зерттеу нәтижелері келтірілген. Алынған әзірлемелер тек тау-кен өнеркәсібінде ғана емес, сонымен қатар жабдықтар қарқынды тозуға ұшырайтын мұнай-газ, құрылыс және металлургия салаларында да қолданыла алады.

Кілтті сөздер: газотермиялық бұрку, центрифугалық жер сорғысы, балқыту, металл ұнтақтары, тозу.

Кіріспе

Қазақстанда пайдалы қазбалардың орасан зор кен орындары бар, оларды игеру үшін әртүрлі минералдық шикізатты өндіру және қайта өңдеу бойынша тұтас салалар қалыптастырылған және, әдетте, өндіру және қайта өңдеу жөніндегі машиналардың үлкен паркі бар, ал бұл көмір, түрлі кендер, мұнай және басқа да өндіру жөніндегі машиналар. Бұл машиналар ауыр жағдайларда, ауыр соққы жүктемелерінде және коррозиялық әсерде, агрессивті ортада жұмыс істегенде жұмыс істейді [1; 2].

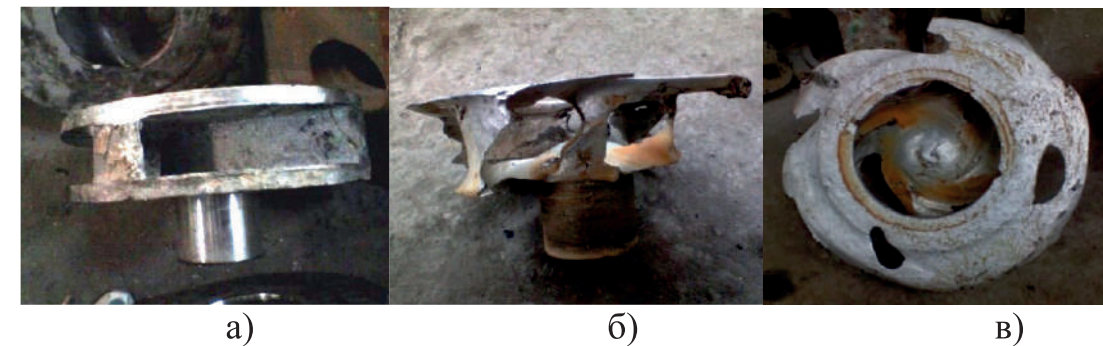
Мұндай жағдайларда машиналардың бөлшектері қарқынды тозады және тез істен шығады, бұл кәсіпорындардың технологиялық процесін бұзады. Бұл кәсіпорындардың инженерлерінің алдында машиналар мен жабдықтардың (комбайндар, Бұрғылау құралдары, көлік жабдықтары және қайта өңдеу (өндірілген пайдалы Шикізатты ұсақтау) жабдықтары) жұмыс ресурсын арттыру міндеті тұр.

Сондықтан Қазақстанда ауыр жүктелген машиналар мен агрегаттардың бөлшектерін жөндеу бойынша тұтас сала қалыптасты. Минералды шикізатты өндіру және өңдеу кәсіпорындарында қарқынды тозуға ұшырайтын Жабдықтар, машиналар мен механизмдердің үлкен паркі бар. Сонымен, тау-кен өнеркәсібінде тау жыныстарын өндіру және өңдеу кезінде минералды шикізатты тау жыныстарын ұнтақтау және олардан пайдалы қазбаларды (мыс, қорғасын, темір, алюминий және т.б.) өндірудің технологиялық циклі бойынша тасымалдау үшін топырақ сорғылары қолданылады [3; 4].

Материалдар мен әдістері

Технологиялық циклде қолданылатын жер сорғысының бөлшектері қатты тозуға ұшырайды, өйткені тасымалданатын су ортасының құрамында 45 пайызға дейін концентрациясы бар қазба бөлшектері бар [5, 54-6.].

1, 2, 3-суретте толық жұмыс циклінен кейін жер сорғысы бөлшектерінің фрагменттері көрсетілген.



Сурет 1-Топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегі 8Гр-8
а – жаңа жұмыс дөңгелегі; б, в-тозған жұмыс дөңгелегі



а)



б)

Сурет 2- 8Гр-8Гр Сорғының Бронедискі: а-пайдаланудан кейін, б-жаңа



Сурет 3 – 8ГР-8 топырақ сорғысының корпусының тозуы

1-кестеде жер сорғысының қызмет ету мерзімі туралы мәліметтер келтірілген.

Кесте 1 – ИЧХ28Н2 қорытпасынан жасалған топырақ сорғылары бөлшектерінің қызмет ету мерзімі, тәулік

Зауыттар	Ұнтақтау кезеңі, өнім және оның тығыздығы	Сорғы түрі	Толығырақ			
			жұмыс дөңгелегі	ұлу немесе оның төсемі	қорғаныс дискісі	домалау мойынтіректері
Ауыр жұмыс жағдайлары						
Жезқазған	I, до 50% твердого	8Гр-8Т	15	45	30	65-70
Жезқазған	II, до 65% твер- дого	8Гр-8Т	25	75	50	80-90
Жезқазған	Концентрат, 65% дейін қатты	5Гр-8СС	90	90	90	120-130

Жезқазған	Құйрықтар, 28% дейін қатты	28Гр-8Т	150	80	30-40	110-120
Лениногорская	Құйрықтар, 25% дейін қатты	20Гр-8	80-85	55-60	55-60	220
Орташа жұмыс шарттары						
Текелі	I, өнеркәсіптік өнім, 28-40% қатты	8Гр-8Т	18-20	18-20	16-18	80-100
Текелі	II, өнеркәсіптік өнім, 20-40% қатты	8Гр-8Т	80-100	80-100	65-80	80-100
Текелі	Құйрықтар, 10-12% қатты	12Гр-8Т	50-65	55-65	25-30	165-180
Жеңіл жұмыс жағдайлары						
Кентау	I, 36-38% қатты	8Гр-8Т	45-50	45-50	45-50	65
Кентау	II, 30 -32%»қатты	8Гр-8Т	100-120	100-120	100-120	95
Кентау	III, 25-27% қатты	8Гр-8Т	170-190	170-190	170-190	125
Кентау	Құйрықтары үйінді	12Гр-8Т	190-210	190-210	190-210	125

1-кестеден көріп отырғанымыздай, агрессивті тозу жағдайында топырақ сорғысының қызмет ету мерзімі өте аз және оның жұмысы тозған беттерге қолданылатын тозуға төзімді металдарды жасаудың жаңа технологияларын енгізуді талап етеді [6; 7]. Демек, минералды шикізатты өңдейтін бір ғана салада топырақ сорғыларының үлкен паркі бар, біздің зерттеу нысаны болып табылады. Сондықтан, беріктігі, коррозияға төзімділігі және коррозиялық қышқылдарға төзімді қасиеттері бар тозатын беті бар бөлшектерді жасау.

Сондай - ақ, кез-келген басқа салада-мұнай, құрылыс, металлургия, онда үлкен жүктемелер мен қарқынды тозуға ұшырайтын механизмдердің үлкен көлемі бар деп айтуға болады.

Тозуға төзімді жабындарды қолданудың газотермиялық әдісі бойынша жүргізілген зерттеулер негізінде бізге жаңа конструкциядағы орталықтан тепкіш топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегінің конструкциясын және оны патенттеу мүмкіндігін әзірлеу мүмкіндігі ұсынылады [8, 49-б.]. Өнертабыс сорғы құрылысына, атап айтқанда центрифугалық жер сорғыларының жұмыс дөңгелектерінің конструкцияларына қатысты. Орталықтан тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегі белгілі (а. с. 905515, МКИ F 04 D 29/24, Бюль. 6, 1982), резеңке матадан жасалған гуммирленген жақтау түрінде жасалған диск пен қалақтарды қамтиды [9, 2-б.].

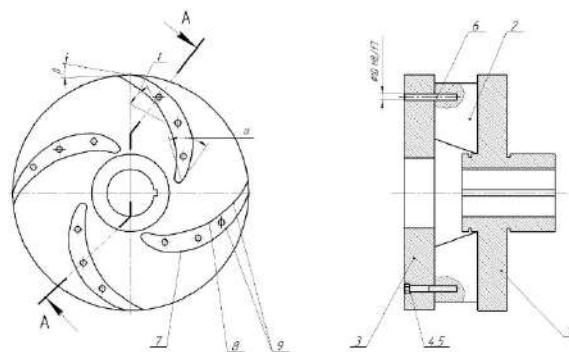
Кемшілігі-қатты бөлшектердің әсер ету әсерінен пайда болған пышақтың бүкіл жұмыс бетінде кернеулі аймақтардың болуына байланысты төмен тозуға төзімділік, бұл қатты бөлшектермен кездейсоқ ықтимал жанасу орындарында резеңке матадан жасалған қаңқаның бұзылуына ықпал етеді. Біз прототип ретінде қабылдаған жұмыс дөңгелегі де белгілі, центрифугалық топырақ сорғысы (А.С. 1435847, МКИ F 04 D 29/24, Бюль. 41, 1988), құрамында дискілер және олардың арасында орналасқан пышақтар бар, эпициклоид арқылы кіруден шығуға дейін

профильденген және артқы жағы логарифмдік спираль бойынша профильденген [10, 41-б.].

Техникалық шешімнің кемшілігі сорғының тозуға төзімділігінің жеткіліксіздігі болып табылады, өйткені кіру және шығу бұрышының өзгеруімен пышақтың жұмыс және артқы жағын тиісті профильдеудің болуы қатты бөлшектердің пышақпен қайта соғуын жоймайды. Әсіресе шығу аймағында, бұл белгілі бір байланыс аймағында пышақтың бұзылуын күшейтеді. Ұсынылған шешімнің техникалық міндеті-пышақтың жұмыс жағындағы қатты бөлшектердің қарқынды әсер ету әсерін азайту арқылы топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегінің тозуға төзімділігін арттыру, қатты бөлшектердің оның бетіне әсер ету әсерін басым түрлендіру арқылы, сондай-ақ жұмыс дөңгелегінің дизайны орындалды. Газотермиялық әдіспен тозуға төзімді қабаттың қалақтарының жұмыс беттеріне одан әрі балқыту мақсатында жиналмалы.

Техникалық нәтижеге орталықтан тепкіш топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегі жиналмалы түрде жасалып, жетек және жетек дискілері және олардың арасында орналасқан, кіреберістен брахистохрон арқылы шығуға дейін профильденген жұмыс пышақтары және артқы жағы логарифмдік спираль бойынша профильденген, бұл ретте қалақтар жетекші дискімен, жұмыс дискісінде бір орындалады газотермиялық (плазмалық) тәсілмен орындалған тозуға төзімді жабындар қолданылатын беттер.

4-суретте жұмыс дөңгелегі - бойлық кесу және оның жоғарыдан көрінісі көрсетілген. Орталықтан тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегінде 1 жетек дискісі, онда орындалған қалақтары бар (арыстан балығы) 2, 6 түйреуіштердің көмегімен Арыстан балтасына қосылған 3 жетек дискісі және құл дискісін бекіту үшін онда 4 бұрандалар, серіппелі шайбалар 5 орындалған.



Сурет 4 – Центрифугалық жер сорғысының жұмыс дөңгелегі: 1-жетекші диск, 2-қалақша (Арыстан), 3-құл диск, 4-бұрандалы бұранда, 5-серіппелі шайба, 6-түйреуіштер, 7-иық пышағының жұмыс жағы, 8-иық пышағының артқы жағы, 9-балқытылған қабат

Жұмыс дөңгелегі мен топырақ сорғысының тозуға төзімділігін арттыру үшін, тұтастай алғанда, қалақтардың жұмыс және артқы беттерінде, балқытылған тозуға төзімді жабындар, құлдық диск алынып тасталған (бөлшектелген) 3.

Газотермиялық өңдеуден кейін жұмыс дөңгелегі 3 жетекті дискімен, 6 түйреуіштер мен серіппелі шайбасы бар 4 бұрандалы бұрандалар арқылы 5, алдын ала бұрғыланған тесіктерде және шпательдерде жиналады.

Газотермиялық тәсілмен алынған иық пышақтарының жұмыс және артқы жағындағы 8 тозуға төзімді жабындар балқытылған қабаттың беріктігін арттыру үшін, CrB2 хром бориді лигатурасының шихтасына қосылған стандартты ПГ-Ж40 қорытпасы негізінде темірмен болаттардың легирлеуші элементтерінің қорытпасын білдіреді. ПГ-Ж40 жаңа балқыту қорытпасының құрамына енгізілетін CrB2 хром бориді лигатурасының оңтайлы құрамы 450-600 НВ шегінде балқытылған металдың қаттылығын алу үшін оны жалпы массаның 10%, %шегінде жабын құрамына енгізу қажет екендігі анықталды. Центрифугалық жер сорғысының жұмыс дөңгелегі келесідей жұмыс істейді. 7 жұмыс жағынан пышақтардың α кіру бұрышы 35-450, осы жағынан β шығу бұрышы 12-170, ал артқы жағынан пышақтарды орнатудың γ бұрышы 8 пышақтың ұзындығы бойынша тұрақты және 20-250-ге тең, ал жұмыс жағынан пышақтардың профилі 7 брахистохрон бойынша, ал артқы жағынан логарифмдік спираль бойынша жасалады. А, β және γ бұрыштары көрсетілген бұрыштарда абразивті ортаны айдау кезінде ең аз тозу бар екенін көрсеткен сынақтар арқылы анықталады.

Гидравликалық қоспаның құрамындағы қатты бөлшектер жұмыс дөңгелегіне түскен кезде олар қалақтардың пішініне байланысты траекториялар бойынша қозғалады. Көрсетілген профильдегі пышақтар үшін қатты зат бастапқы учаскедегі жұмыс жағымен соқтығысады және бетінен секіргеннен кейін, қалақаралық каналда шығысқа қарай жылжиды, жылдамдықты біртіндеп төмендетеді.

Соқтығысу нүктесі дөңгелектің төмен радиусында орналасқандықтан, айналмалы жылдамдықтар аз, соққы күші және пышақтың жойқын әсері шамалы. Әрі қарай, Гидравликалық қоспаның бөлшегі дөңгелекті пышақпен қайталанбай өтеді. Көрсетілген бұрыштарға сәйкес жасалған пышақ кірістегі ағын аралық каналдардың радиалды бағытының жоғарылауымен және шығуда төмендеуімен сипатталады. А бұрышы 350-ден жоғары ұлғайған кезде кіріс бөлігі бөлшектер ағынының жолында болады, бұл бөлшектердің төмен жылдамдық аймағында қалақшамен сөзсіз соқтығысуын тудырады. В бұрышының 170-тен аз төмендеуі қалақшамен қайталанбай, бөлшектердің кіреберістегі қалақшадан секіргеннен кейін қалақаралық канал арқылы еркін өтуіне ықпал етеді. Пышақтың 7 жұмыс жағының брахистохронды пішіні пышақтың кіріс және шығыс бөліктерінің белгіленген кіру және шығу бұрыштарымен бірқалыпты жұптасуын қамтамасыз етеді. Брахистохрон түрінде жасалған 7 жұмыс бетінің пышағы, әйтпесе бұл «жылдам түсу» қисығы деп айтуға болады [11, 17-б.].

Логарифмдік спираль мен брахистохронның тіркесімі нәтижесінде пайда болған пышақ қанат тәрізді, бұл гидродинамикалық көтеру күшінің арқасында тиімділікті арттырады. Жұмыс жағында брахистохрон бойынша және артқы жағында логарифмдік спираль бойынша орындалған күректердің жұмыс бетіне газотермиялық тәсілмен ПГ-Ж40 өздігінен ағатын қорытпасынан жасалған тозуға төзімді жабындар жағылады, құрамына CrB2 хром бориді қатайтатын қоспалар

енгізіледі, бұл топырақтан орталықтан тепкіш сорғылардың жұмыс ресурсын едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Техникалық шешімнің түпнұсқалығы мынада: пышақтың брахистохрон бойынша профильденген жұмыс жағында сорғының тозуға төзімділігін арттыру қамтамасыз етіледі, бұл ағындардың жұмыс және артқы жағымен бірқалыпты бірігуінің арқасында, бұл доңғалақ қалақтарының артындағы бұзылатын жиек құбылыстарын жояды немесе айтарлықтай азайтады, сорғыдағы шығындарды азайтып қана қоймай, сонымен қатар соқтығысу кезінде жұмыс жағының контактілі бұзылуын іс жүзінде жояды бөлшектермен, олар кіреберістегі пышақтан секіргеннен кейін және олар шығуға қарай жылжыған кезде. Сонымен қатар, діріл құбылыстарының қарқындылығын төмендету арқылы сорғы жұмысының сенімділігі артады, өйткені статикалық қысымның пульсациясы төмендейді.

Сонымен қатар, сорғының жұмыс дөңгелегі жиналмалы түрде орындалады, жұмыс дөңгелегі бар жетекті дискіні алып тастағаннан кейін, газотермиялық әдістермен тозуға төзімді жабын қолданылады, күрделі пішінді қалақтардың ашықтығына байланысты газотермиялық жабынды қолдану оңай қол жетімді болады. Құрамында CrB2 хром боридінің қатайтатын қоспаларын жүргізе отырып, өздігінен ағатын ПГ-Ж40 қорытпасын қолдану жоғары қаттылық пен коррозияға төзімділіктің балқытылған қабатын жасауға мүмкіндік береді. Бүрку кезінде плазмалық ағын жабын бөлшектерін қыздыру, балқыту және жеделдету көзі ретінде қызмет етеді. Доғаның жылу энергиясына айналуы арқылы тұтынылатын электр энергиясы плазма түзетін газды жылытуға, бүріккіш материалдың балқуына және ішінара булануына, плазмотронды жылытуға және қоршаған кеңістіктегі шығындарға жұмсалады. Плазма мен бөлшектерден алынған жылудың бір бөлігі оны қыздыру арқылы өнімге түседі. Ұнтақпен қаптау кезінде плазма энергиясын пайдалану тиімділігі көбінесе плазмотронның дизайнымен анықталады. Ұнтақпен тозанданған жағдайда плазма энергиясын пайдалану әлдеқайда қиын. Жабу үшін плазматрондардағы ұнтақтарды қыздыру тиімділігін арттыру жолдарын іздеу жылдар бойы жүргізіліп келеді. Қазіргі уақытта сыммен бүрку процесінің тиімділігімен салыстырғанда жылу тиімділігі жақын немесе тіпті біршама жоғары Плазматрон конструкциялары әзірленді.

Ең үлкен тиімділікке ұнтақ бөлшектерін доғалық разряд бағанына енгізу арқылы қол жеткізуге болады. Алайда, мұндай енгізу анодты разряд аймағында үлкен қозғалғыштыққа байланысты қиын. Қатты бөлшектің доғалық разряд бағанымен өзара әрекеттесуінің физикалық көрінісі қазіргі уақытта жеткілікті айқын емес. Алайда, бақылаулар көрсеткендей, ұнтақты катодтың жанына енгізген жағдайда, бөлшектер саптама осі мен плазмалық ағын бойымен қозғалмайды, бірақ ағынның орталық бөлігі мен саптама каналының қабырғалары арасында орналасады.

Аргон плазмасында газдың массалық шығыны және оның жылу мөлшері ағынның көлденең қимасы бойынша біркелкі бөлінбейді, ал энергияның негізгі тасымалдануы саптама осі бойынша жүрмейді. Осылайша, ұнтақты катодқа жақын беру кезінде оның қозғалысы плазманың ең жоғары энтальпиялық аймағында

жүреді, бұл оның қызуын жақсартады деп болжауға болады. Соңғысы әсіресе төмен қуатты плазмалық ағындар үшін өте маңызды. Ұнтақты бір тесік арқылы бергенде, ол плазмалық ағынның жоғары энтальпиялық аймағының бір бөлігін ғана алады.

Бүрку процесінің тиімділігін одан әрі арттыруға плазмалық ағынның көлденең қимасын ұнтақпен біркелкі толтыру арқылы қол жеткізуге болады. Бірқатар плазмалық процестер үшін тиімді тиімділіктің қалай өзгеретінін көрсететін деректерді салыстырайық (электродтардағы шығынды шегермей доғаның толық қуатына жатқызылған) (2-кесте).

Кесте 2 – Газ жалын процестері үшін тиімді тиімділік

Жылыту түрі	Тиімді тиімділік, %
Плазматрондағы газды жылыту аргона..... суте Гі.....	10-70 30-80
Жаппай денені жылыту плазмалық ағынмен..... плазмалық доға.....	10-50 30-75
Бүрку кезінде сымды жылыту: плазмалық ағынм ен..... плазмалық доға.....	2-5 10
Ұнтақты қыздыру саптаманы кесу кезінде..... доға бағанасында, содан кейін реактивті.....	2-4 20

Ұнтақты доғаға берген кезде қыздыру тиімділігі 4-тен 20% - ға дейін артады. Қарастырылып отырған балқыту әдістерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері 3-кестеде келтірілген, онда қалыңдығы 1-2 мм жабындар үшін көрсеткіштер берілген [12, 34-б.].

Кесте 3 – Балқыту әдістерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Балқыту әдісі	Өдістің өнімділігі		Жабынның қалыңдығы	Өндеуге арналған жәрдемақы	Балқытылған металдағы	Ілгісү күші	Балқытудан кейінгі бөліктің деформациясы	Шаршауға төзімділіктің төмендеуі	Өнімділік коэффициенті, Кп	Техникалық-экономикалық тиімділік коэффициенті, Кэ
	кг/сағ	см ² /мин								
Газ жалыны	0,15-2,0	1-3	0,5-3,5	0,4-0,8	5-30	480	Маңызды	25	0,7-0,6	0,14
СО ² ортасында	1,5-4,5	18-36	0,5-3,5	0,7-1,3	12-45	550	Маңызды	15	1,8-1,7	0,40
Аг ортасында	0,3-3,6	12-26	0,5-2,5	0,4-0,9	6-25	450	Маңызды	25	2,1-1,7	0,17
Плазмалық	1-12	45-72	0,5-5,0	0,4-0,9	0,30	490	Маңызды	12	2,2-1,9	0,56

Қарастырылған әдістердің нақты біреуін қолдану өндірістік жағдайларға, наплавка жасалатын бөлшектердің санына, пішіні мен өлшемдеріне, наплавканың негізгі металлмен араласу мөлшеріне, техникалық-экономикалық көрсеткіштерге, ал қалпына келтіру наплавкасы үшін - тозу дәрежесіне байланысты болады.

Наплавка жасалатын металдың түрін және, сәйкесінше, қосымша материалдың маркасын таңдау наплавкаланатын бөлшектің жұмыс жүктемесінің түріне байланысты. Сондықтан наплавкаланатын металдың түрін таңдау кезінде тозудың басым түріне бағытталады.

Қарастырылған әдістердің салыстырмалы талдауынан плазмалық наплавка процесінің жоғары өнімділігі, механикалық өндеуге арналған аз мөлшерде припуск, наплавкадағы негізгі металл мөлшерінің минималдығы, шаршауға төзімділіктің төмендеуі сияқты артықшылықтары айқын көрінеді.

Плазменно-ұнтақты наплавка процесі әсіресе тиімді, себебі ол дәл көрсетілген балқытылу тереңдігі мен қабат қалыңдығын қамтамасыз етуге, қабаттың қалыңдығы бойынша жоғары біркелкілікті, қажетті құрамды, құрылымды және қасиеттерді бірінші металды наплавкалау қабатында қамтамасыз етуге, автоматтандыру деңгейін жоғарылатуға, қалдық кернеулер мен деформацияларды азайтуға, наплавкаланған жабынындағы негізгі металлмен араласудың болмауына мүмкіндік береді.

ПГ-Ж40 самофлюсингті қорытпасын газотермиялық наплавка технологиясын енгізудің экономикалық тиімділігін, құрамына хром бориді СгВ2 қоса отырып, біз центробежді грунт сорғышының үш негізгі бөлшегі - броньды диск, жұмыс дөңгелегі және корпус үшін қарастырамыз.

Нәтижелер және талқылау

Байыту фабрикаларын өндіруге, бөлшектер ресурсының ұлғаюынан бастап, жалпы жағдайда мынадай құрамдас бөліктерден құралады: жинақталатын машинаның қызмет ету мерзімі (немесе жөндеу аралық кезеңі) үшін жоғары беріктігі бар бөлшектерге қажеттілікті азайту; жөндеу шығындарын қысқарту, яғни бөлшектер мен тораптарды ауыстырумен байланысты бөлшектеу-құрастыру жұмыстарына; азайту (немесе толық жою) жекелеген бөлшектердің істен шығуына

байланысты техниканың тоқтап қалуынан болған залалдар; пайдалану-техникалық сипаттамалардың жақсаруы нәтижесінде оның жылдық өнімділігінің артуы нәтижесінде машиналарды пайдаланудан түскен пайданың өсуі; машиналарға жоғары сенімділік қажеттілігінің төмендеуіне байланысты пайдалануға күрделі салымдардың салыстырмалы үнемделуі.

ПГ-Ж40 самофлюсингті қорытпасын енгізудің экономикалық тиімділігін есептеу үшін, құрамына хром бориді СгВ₂ қоса отырып, центробежді грунт сорғышының броньды дискісі, жұмыс дөңгелегі мен корпусына арналған бастапқы мәліметтер есептеу үшін келтірілген. [13; 14].

4-ші кестеде 8Гр-8Т және 28ГрТ-8 грунт сорғыштарының жұмысында болатын негізгі құндық көрсеткіштер мен олардың бөлшектерінің ресурсы көрсетілген.

Плазмалық балқыту кезінде СгВ₂ хром боридінің қатайтатын қоспаларының құрамына енгізе отырып, ПГ-Ж 40 өздігінен ағатын қорытпасын енгізудің экономикалық тиімділігі олардың жұмыс ресурсын ұлғайту есебінен сорғы корпусының, жұмыс дөңгелегінің, бронедискінің құнынан құралады.

Кесте 4 – Топырақ сорғыларының құны мен пайдалану көрсеткіштері 28Гр-8, 8Гр-8 және 5Гр-8

Атауы	Құны, тг	Қызмет мерзімі, тәулік	Саны	Жылына қосалқы бөлшектер саны
5Гр-8				
Сорғы корпусы (ұлу)	202 515	90	49	196
Жұмыс дөңгелегі	1 064 315	45	49	392
Бронедиск	128 825	60	49	294
8Гр-8				
Сорғы корпусы (ұлу)	303 035	75	114	456
Жұмыс дөңгелегі	1 113 085	25	114	1596
Бронедиск	134 460	50	114	798
28Гр-8				
Сорғы корпусы (ұлу)	3 199 960	80	11	44
Жұмыс дөңгелегі	2 298 735	150	11	22
Бронедиск	1 102 875	40	11	99

Сорғы бөлшектерінің бетін газотермиялық балқытуды қолдану нәтижесінде машиналардың жұмыс істемеуінің төмендеуі, сайып келгенде, жабдықты сатып алуға күрделі шығындарды азайтуға, сондай-ақ шартты тұрақты шығындарды, ең алдымен жабдық бойынша амортизациялық аударымдарды үнемдеуге әсер етеді. Балқытудың газотермиялық әдісін енгізу сорғының жұмыс ресурсын екі есеге арттыруға мүмкіндік береді, яғни қызмет ету мерзімі, әрине, сорғы корпусының, жұмыс дөңгелегі мен бронедистің жұмыс ресурсы артады. Сондай-ақ, қосалқы бөлшектерді сатып алу екі есе азаяды. Біз 8гр-8 сорғысын есептейміз, сондықтан қосалқы бөлшектерді сатып алу шығындары.

Кесте 5 – Балқытудың газотермиялық әдісін енгізу бойынша шығындарды калькуляциялау

Атауы	Сорғы корпусы	Жұмыс дөңгелегі	Бронедиск
Құны, тг	303035	1 113 085	134 460
Саны	114	114	114
Қызмет мерзімі, тәулік	75	25	50
Күрделі жөндеулер саны			
- ескі технология бойынша	4	10	5
- жаңа технология бойынша	2	5	3
Күрделі жөндеу құны, кг			
- ескі технология бойынша	138 000000	1 268 916 900	76 642 200
- жаңа технология бойынша	69 0000000	634 000 000	45 985 320
Бір қондырғыға қажетті ұнтақ мөлшері, кг	10	20	20
Ұнтақ құны, кг	11 400 000	22 800 000	22 800 000
Жұмыс дөңгелегінің құны, тг	34 545 990	126 891 690	15 328 440
Жиынтық күрделі шығындар, тг	77 713 670	181 000 000	69 896 120
Меншікті капитал шығындары, тг	11 000 000	27 150 000	10 400 000
Мерзімі өтелуі, айы	5	6	6
Экономикалық тиімділік, $\pi = (Sc.n - Sy.n)$	69 000 000	634 000 000	30 600 000
Кәсіпорынның пайдасы, тг $E = (Sc.n - Sy.n) \cdot 0,15 \cdot Se.p$	58 000 000	606 850 000	20 120 000

CrB₂ хром боридін қатайтатын қоспалар құрамына енгізе отырып, ПГ-Ж40 өздігінен ағатын қорытпасымен топырақ сорғысының бөлшектерін плазмалық балқытудың газотермиялық тәсілінің күтілетін жылдық экономикалық тиімділігі 733 600 000 тг, кәсіпорынның пайдасы - 684 805 000 тг құрайды.

Қорытынды

1) металл ұнтақтарын газбен жалынмен балқыту процестері мен технологиясы қаралды, машина бөлшектерінің қатайтылған беткі қабатын құрудың газотермиялық әдістерінің перспективалық әдістері белгіленді.

2) тозуға төзімді жабындарды қолданудың газотермиялық әдісін зерттеу негізінде центрифугалық топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегінің жаңа дизайны ұсынылды.

3) газотермиялық балқытуды қолданудың техникалық-экономикалық негіздемесінің нәтижесінде қуаты 10-нан 60 кВт-қа дейінгі электр доғалы плазматрондардың плазмалық ағындарын пайдаланудың тиімділігі анықталды,

олар ілінісу беріктігін 500 МПа-ға дейін және экономикалық тиімділік коэффициентін 0,56-ға дейін қамтамасыз етеді.

4) CrB₂ хром боридін қатайтатын қоспалар құрамына енгізе отырып, ПГ-Ж40 өздігінен ағатын қорытпасымен топырақ сорғысының бөлшектерін плазмалық балқытудың газотермиялық әдісін енгізуден күтілетін жылдық экономикалық тиімділік 733 600 000 тг құрайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Тополянский, П. А., Тополянский, А. П.** Прогрессивные технологии нанесения покрытий - наплавка, напыление, осаждение // Технологии обработки поверхности. № 4 (73), 2011. – С. 79-84.

2 **Farah, E. S., Wan, H. I., Bakhtiar, S.** Design and Analysis of Centrifugal Pump Impeller for Performance Enhancement // Journal of Mechanical Engineering. – Vol SI 5(2), 2018. – P. 36–53.

3 **Singh, R. R., Nataraj, M.** Design and analysis of pump impeller using SWFS // World Journal of Modelling and Simulation, Vol. 10, № 2, 2014. – P. 152–160.

4 **Seitkhanov, A., Povetkin, V., Bektibay, B., Tatybayev, M., Bukayeva, A.** Improvement of the design of hydraulic transport devices for the transport of hydroabrasive media in the enrichment industry // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – № 5/1 (101), 2019. – P. 6–16.

5 **Povetkin, V. V., Kerimzhanova, M. F., Orlova, Y. P., Bukayeva, A. Z.** Improvement of equipment for transport of slurry in mineral processing production // Mining Informational and Analytical Bulletin. – № 6. 2018. – Moscow. – P. 161–169.

6 **Yao, Z., Wang, F., Qu, L., Xiao, R., He, C., Wang, M.** Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump // Journal of Fluids Engineering. 133(10), 101303. 2011.

7 **Соснин, Н. А., Ермаков, С. А., Тополянский, П. А.** Плазменные технологии. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского политехничес. ун-та, 2008. – 406 с.

8 **Поветкин, В. В., Ермаков, Д. К., Сейтханов, А. М., Букаева, А. З.** Полезная модель РК № 6718. Рабочее колесо центробежного грунтового насоса. Оpubл. 12.08.2021. – 3 с.

9 А.С.905515. Рабочее колесо центробежного насоса / Чижов, А. Е., Алымов, Ю. Г., Горин, Р. Ф., Битюков, В. А., Полещук, В. Г.; опубл. 15.05.1982, Бюл. № 6. – 2 с.

10 А.С.1435847. Рабочее колесо центробежного грунтового насоса / Бердинских, Ю. П.; опубл. 07.11.1988, Бюл. № 41. – 2 с.

11 **Амелькин, В. В.** Дифференциальные уравнения в приложениях. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 160 с.

12 **Кессель, Л. А.** Экономическая эффективность новой технологии и методы ее определения. – М. : ГосИНТИ, 1976. – 215 с.

13 **Корн, Г., Корн, Т.** Справочник по математике. – М. : Наука. – 1974. – 40 с.

14 Инструкция по оценке экономической эффективности промышленных роботов. – Москва : НИИМаш Минстанкопрома, 1983. – 52 с.

REFERENCES

- 1 **Topoljanskij, P. A., Topoljanskij, A. P.** Progressivnye tehnologii nanesenija pokrytij - naplavka, napylenie, osazhdenie [Advanced coating technologies - surfacing, spraying, deposition] // Tehnologii obrabotki poverhnosti, № 4 (73), 2011. – P. 79–84.
- 2 **Farah, E. S., Wan, H. I., Bakhtiar, S.** Design and Analysis of Centrifugal Pump Impeller for Performance Enhancement // Journal of Mechanical Engineering. – Vol SI 5(2), 2018. – P. 36–53.
- 3 **Singh, R. R., Nataraj, M.** Design and analysis of pump impeller using SWFS // World Journal of Modelling and Simulation, Vol. 10, № .2. – 2014. – P. 152–160.
- 4 **Seitkhanov, A., Povetkin, V., Bektibay, B., Tatybayev, M., Bukayeva, A.** Improvement of the design of hydraulic transport devices for the transport of hydroabrasive media in the enrichment industry // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – № 5/1 (101), 2019. – P. 6–16.
- 5 **Povetkin, V. V., Kerimzhanova, M. F., Orlova, Y. P., Bukayeva, A. Z.** Improvement of equipment for transport of slurry in mineral processing production // Mining Informational and Analytical Bulletin. – № 6, 2018. Moscow. – P. 161–169.
- 6 **Yao, Z., Wang, F., Qu, L., Xiao, R., He, C., Wang, M.** Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump // Journal of Fluids Engineering. 133(10), 101303. 2011.
- 7 **Sosnin, N. A., Ermakov, S. A., Topoljanskij, P. A.** Plazmennye tehnologii [Plasma technology] - SPb. : Izd-vo Sankt-Peterburgskogo politehn. un-ta, 2008. – 406 p.
- 8 Poleznaja model' RK № 6718. Povetkin, V. V., Ermekov, D. K., Sejthanov, A. M., Bukaeva, A. Z. Rabochee koleso centrobezhnogo gruntovogo nasosa [The impeller of the centrifugal ground pump]. Opubl. 12.08.2021. – 3 p.
- 9 A.S. 905515. Rabochee koleso centrobezhnogo nasosa [The impeller of the centrifugal pump] / Chizhov, A. E., Alymov, J. G., Gorin, R. F., Bitjukov, V. A., Poleshhuk, V. G.; opubl. 15.05.1982, Bjul. № 6. – 2 p.
- 10 A.S. 1435847. Rabochee koleso centrobezhnogo gruntovogo nasosa [The impeller of the centrifugal ground pump] / Berdinskih, J. P.; opubl. 07.11.1988, Bjul. № 41. – 2 p.
- 11 **Amel'kin, V. V.** Differencial'nye uravnenija v prilozhenijah. [Differential equations in applications] – Moscow : Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1987. – 160 p.
- 12 **Kessel, L. A.** Jekonomicheskaja jeffektivnost' novoj tehnologii i metody ee opredelenija. [Economic efficiency of the new technology and methods of its determination] – Moscow : GosINTI, 1976. – 215 p.
- 13 **Korn, G., Korn, T.** Spravochnik po matematike. [Handbook of Mathematics] – Moscow : Nauka. – 1974. – 40 p.

14 Instrukcija po ocenke jekonomicheskoy jeffektivnosti promyshlennyh robotov. [Instructions for evaluating the economic efficiency of industrial robots] – Moscow : NIIMash Minstankoproma, 1983. – 52 p.

12.02.25 ж. баспаға түсті.

26.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

28.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

**В. В. Поветкин¹, М. К. Татыбаев², *Ж. Н. Абілқайыр³,
О. О. Дуйсенбекова⁴, О. Т. Манкешева⁵**

¹Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы.

^{2,3,4,5}Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 12.02.25.

Поступило с исправлениями 26.02.25.

Принято в печать 28.02.2025.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МАШИН И МАТЕРИАЛОВ

Статья посвящена основным направлениям повышения срока службы и износостойкости машин и материалов, используемых в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности Казахстана. В статье рассмотрены процессы и технология газопламенной наплавки металлических порошков, установлены перспективные современные газотермические методы для создания упрочненного поверхностного слоя деталей машин. На базе проведенных исследований газотермического способа нанесения износостойких покрытий, разработана новая конструкция рабочего колеса центробежного грунтового насоса. В результате технико-экономического обоснования применения газотермической наплавки, установлена эффективность использования плазменных струй электродугowych плазматронов, мощностью от 10 до 60 кВт, обеспечивающих прочность сцепления до 500 МПа и коэффициента экономической эффективности 0,56. Оптимизированы углы входа и выхода лопаток, профилированных по брахистохроне и логарифмической спирали, что снижает ударное воздействие твердых частиц. Применение самофлюсующегося сплава ПГ-Ж40 с боридом хрома CrB₂ позволяет значительно увеличить ресурс работы насосов. Приведены данные о сроках службы деталей насосов в различных условиях эксплуатации, а также результаты исследований, подтверждающие эффективность предложенного метода. Полученные разработки могут быть применены не только в горной промышленности, но и в нефтегазовой, строительной и металлургической отраслях, где оборудование подвергается интенсивному износу.

Ключевые слова: газотермическое напыление, центробежный грунтовый насос, наплавка, металлические порошки, износ.

V. V. Povetkin¹, M. K. Tatybaev², *J. N. Abilkaiyr³,
O. O. Duissenbekova⁴, O. T. Mankesheva⁵

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

^{2,3,4,5}Kazakh National Research Technical University named after
K. I. Satpayev, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 12.02.25.

Received in revised form 26.02.23.

Accepted for publication 28.08.25.

THE MAIN DIRECTIONS FOR IMPROVING THE SERVICE LIFE AND WEAR RESISTANCE OF MACHINES AND MATERIALS

The article is devoted to the main directions of increasing the service life and wear resistance of machines and materials used in the mining and processing industry of Kazakhstan. The article discusses the processes and technology of flame deposition of metal powders, and establishes promising modern gas-thermal methods for creating a hardened surface layer of machine parts. Based on the conducted studies of the gas-thermal method of applying wear-resistant coatings, a new design of the impeller of a centrifugal ground pump has been developed. As a result of the feasibility study of the use of gas-thermal surfacing, the efficiency of using plasma jets of electric arc plasmatrons with a power from 10 to 60 kW, providing adhesion strength up to 500 MPa and an economic efficiency coefficient of 0.56, has been established. The angles of entry and exit of the blades profiled in a brachystochrone and a logarithmic spiral have been optimized, which reduces the impact of solid particles. The use of a self-fluxing PG-Zh 40 alloy with chromium boride CrB₂ significantly increases the service life of pumps.

Data on the service life of pump parts in various operating conditions are presented, as well as research results confirming the effectiveness of the proposed method. The resulting developments can be applied not only in the mining industry, but also in the oil and gas, construction and metallurgical industries, where equipment is subjected to intense wear.

Keywords: gas-thermal spraying, centrifugal ground pump, surfacing, metal powders, wear and tear.

FTAMP 55.21.01

<https://doi.org/10.48081/RUMT3420>

*А. У. Табылов¹, А. З. Букаева², Г. Ж. Булекбаева³,
Н. Б. Сүйеуова⁴, К. С. Рзаева⁵

Yessenov University, Қазақстан Республикасы, Ақтау қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4054-4504>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8467-0057>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7554-3902>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6322-6598>

*e-mail: tabylov62@mail.ru

ТЕГІС БЕТКЕ БАЛҚЫТЫЛҒАН ҚАБАТТЫ ДОМАЛАТУ ӘДІСІМЕН СЕРПІМДІ ЕМЕС ДЕФОРМАЦИЯЛАУДЫҢ БІР ӨЛШЕМДІ МӘСЕЛЕСІН ҚОЮ

Мақалада цилиндрлік роликпен сынған кезде бөліктердің бетінің балқытылған қабатын пластикалық деформациялаудың бір өлшемді міндетін қоя талдауы жасалды. Бөліктердің бетін Болат цилиндрлік роликтермен сынауды қолдана отырып, бөліктердің бетін әрлеу және қатайту әдісі бойлық және көлденең бағытта созылудың пластикалық деформацияларын жасау үшін металды тігіс аймағында қалыңдығы бойынша тұндыру арқылы төмен кедір-бұдырлықты, беттік қабаттардағы қалдық қысу кернеулерін және құрылымның ұсақ түйіршіктілігін қалыптастыруды қамтамасыз етеді. Бөліктердің бетін сынды қолдана отырып әрлеу және қатайту кезінде жоғары температурада өңдеу процесінде металдардың деформациясы кернеулерге деформация жылдамдығының айтарлықтай әсерімен анықталатыны тән. Бұл реономикалық денелердің күй теңдеуіне негізделген кернеулер мен деформацияларды есептеу қажеттілігін талап етеді. Зерттеудің мақсаты – қозғалу теориясына негізделген деформация ошағындағы кернеулі деформацияланған күйді есептеуді қамтитын бір өлшемді сызықты емес есептің сандық шешімі негізінде бөліктердің бетін әрлеу және қатайту процесінің технологиялық процесінің кернеу компоненттері мен күш факторларын анықтау. Мақалада жазық параллель қозғалыс жасайтын абсолютті қатты цилиндрлік дененің (роликтің) әсерінен материалды деформациялау процесі зерттелген. Қалдық деформацияларды толық жоюға, егер негізгі металдың қабатында және іргелес бөліктерінде сынау нәтижесінде пайда болған созылу пластикалық деформациялары осы аймақтардағы қысқарудың қалдық пластикалық деформацияларына тең болған жағдайда қол жеткізілетіні анықталды. Бұл жағдайда қалдық бойлық кернеулер нөлге жақын болуы мүмкін екендігі анықталды. Бір өлшемді есепте кернеулі деформацияланған күйді, жанасу бетіндегі қысым мен үйкеліс күштерін, роликке әсер ететін күштер мен сәттерді есептеу үшін салыстырмалы түрде жалпы формулалар алынды.

Кілтті сөздер: пластикалық деформация, кернеу, бір өлшемді тапсырма, балқытылған қабат, қалпына келтіру, жылжымалы теориясының сынауы, цилиндрлік роликтер, жанасу беті.

Кіріспе

Машина жасау өндірісінде роликті илемдеу арқылы бөлшектерді статикалық беттік пластикалық деформациялау әдісі бөлшектің беткі қабатын қатайту, оның тозуға төзімділігін арттыру және жоғары дәлдік біліктілігіне қол жеткізу үшін ең тиімді болып табылады.

Жүргізілген бірқатар зерттеулерге сәйкес, беттік илемдеу процестері металды бойлық және көлденең бағытта созылудың пластикалық деформацияларын және құрылымның ұсақ түйіршіктерін қалыптастыра отырып, беткі қабаттардағы қалдық қысу кернеулерін жасау мақсатында тігіс аймағында қалыңдығы бойынша цилиндрлік роликтермен тұндыру нәтижесінде жүзеге асырылады [1–3].

Қыздырылған материалдың қалыңдығы бойынша тұндыру әсерін объективті талдау, қалдық кернеулер мен деформациялардың өзгеруін бағалау үшін деформациялық күш пен жалпы қуат қосымша есептелетін қабат металының кернеулі деформацияланған күйін зерттеу қажет. Температураның жоғарылауымен металдарды өндеудің технологиялық процестерін есептеу қарапайым жорғалау теорияларының күй теңдеулері негізінде жүргізілуі керек. Осыған байланысты ең көп таралған-қатаю теориясы. Айналымы жетек орамдары арасындағы әдеттегі илемдеу процесінен айырмашылығы, деформациялық ролик жазық параллель қозғалысты орындайды, ал жанасу беттерінде әртүрлі үйкеліс жағдайлары болады.

Эксперименттік дәлелдер жоғары температурада өндеу процесінде металдардың деформациясы деформация жылдамдығының кернеулерге айтарлықтай әсер етуімен сипатталатынын көрсетеді [4-6]. Сондықтан кернеулер мен деформацияларды есептеу реономикалық денелердің күй теңдеуі негізінде жүргізілуі керек.

Материалдар мен әдістер

Металдарды өндеу мәселелерінде қолдану еңбек пен уақытты аз жұмсай отырып, сенімді нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік беретін металдардың жылжу процестерін сипаттау үшін қарапайым жорғалау теорияларын қарастырыңыз. Жорғалау теориясының құрылысы әдетте бір осьті созылудың ең қарапайым жағдайы үшін, содан кейін бір осьті емес кернеу күйінің жалпы жағдайы үшін орындалады [7].

Қатаю теориясындағы негізгі айнымалылар кернеу, сусымалы деформация және сусымалы деформация жылдамдығы болып табылады. Берілген температурада көрсетілген шамалар арасында белгілі бір байланыс бар деп болжанады:

$$\Phi_3(\varepsilon_c, \sigma, \dot{\varepsilon}_c) = 0, \quad (1)$$

Әдетте бұл тәуелділік келесідей қабылданады:

$$\xi_c \varepsilon_c^\beta = f(\sigma). \quad (2)$$

Сол себепті:

$$f(\sigma) = \alpha \sigma^\nu \quad (3)$$

(2) теңдеу осылай жазылады:

$$\xi_c \varepsilon_c^\beta = \alpha \sigma^\nu \quad (4)$$

мұнда: α, β, ν – температураға тәуелді материалдың тұрақтылары.

(4) теңдеуді $t = 0$ -ге біріктіргеннен кейін, $\xi_c = 0$ табамыз

$$\varepsilon_c = [(\beta + 1)\alpha \sigma^\nu t]^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (5)$$

Содан кейін қатаю теориясы бойынша жорғалау қисықтарын сипаттайтын теңдеу келесідей болады:

$$\varepsilon = \varepsilon_l + \varepsilon_c = \frac{\sigma}{E} + [(\beta + 1)\alpha \sigma^\nu t]^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (6)$$

Теңдеуден бұл жағдайда сусымалы қисықтар геометриялық жағынан ұқсас екендігі шығады. 6 теңдеуден $t = 0$, $\sigma = \sigma(0)$ кезіндегі интегралдау арқылы біз мынаны аламыз:

$$t = \frac{1}{\alpha E^{\beta+1}} \int_{\sigma}^{\sigma(0)} [\sigma(0) - \sigma]^\beta \frac{d\sigma}{\sigma^\nu} \quad (7)$$

7 теңдеу релаксация қисықтарының тобын жасырын түрде сипаттайды. ν және β еркін мәндері үшін интеграл (7) сандық түрде анықталады.

Бір осьті емес кернеу күйі үшін (4) тәуелділік келесідей болады:

$$\sigma_e = a \xi_e^m \kappa^n, \quad (8)$$

мұнда: $\kappa = \int \xi_e dt$ - Удквист параметрі, σ_e - эквивалентті кернеу, ξ_e - эквивалентті деформация жылдамдығы.

Ерекше жағдай ретінде шынықтыру теориясы суперпластикалық күйдегі ағынды талдауда кеңінен қолданылатын сызықты емес тұтқыр дененің теңдеуін білдіреді:

$$\xi_e = K \sigma_e^\nu, \quad (9)$$

мұнда: K, ν - белгілі бір температурадағы материал константалары.

Бір осьтік кернеу күйі үшін (9) теңдеу келесідей болады:

$$\xi = K \sigma^v \quad (10)$$

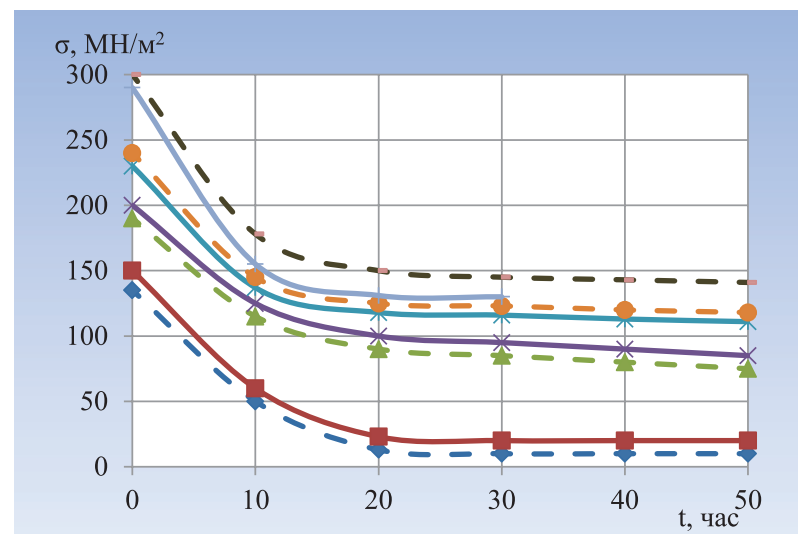
(8) теңдеуден ерекше жағдай ретінде ($m=0$ кезінде) таза пластикалық материалдардың, оның ішінде идеалды қатты пластикалық материалдың деформациясын зерттеу үшін қолданылатын теңдеуді аламыз ($m=0, n=0$ кезінде).

Өртүрлі жылжу теорияларын эксперименттік тексерудің ең оңай жолы - тұрақты деформациядағы эксперименттік релаксация қисығын өртүрлі жылжу теорияларына негізделген теориялық қисықтармен салыстыру.

1-суретте 5000С кезінде 30 ХМ хромолибден болаты үшін кернеулердің релаксация қисықтарын және әр түрлі бастапқы кернеулерді (қатты сызықтар) қатайту теориясы бойынша салынған теориялық (штрих сызықтары) бойынша эксперименттік деректерді салыстыру нәтижелері көрсетілген. Қатаю теориясы эксперименталды түрде жақсы дәлелденген.

Тұрақты созылу күшімен алдын ала жылжудан кейін және серпімділіктен тыс алдын ала созылғаннан кейін тұрақты деформациядағы релаксацияны эксперименттік зерттеу нәтижелерін қарастырылды.

Алғашқы тәжірибелерде үлгілер бастапқыда сыналды сусымалы $\sigma = 200$ МПа кернеуінде 25 сағат, содан кейін бастапқы кернеуде релаксация жағдайында 50 сағат $\sigma(0) = 200$ МПа. Екінші тәжірибелерде сынамалар жүктемелердің тұрақты жылдамдығымен созылып, пластикалық деформация алғашқы тәжірибелердегідей мөлшерге жеткенге дейін созылды. Тиісті шиеленіс алғашқы тәжірибелерге қарағанда көбірек болды.



1-сурет – 500°С кезінде 30 ХМ хромолибденді болатқа және қатаю теориясы бойынша құрылған өртүрлі бастапқы кернеулерге арналған эксперименттік кернеу релаксация қисықтарын салыстыру нәтижелері

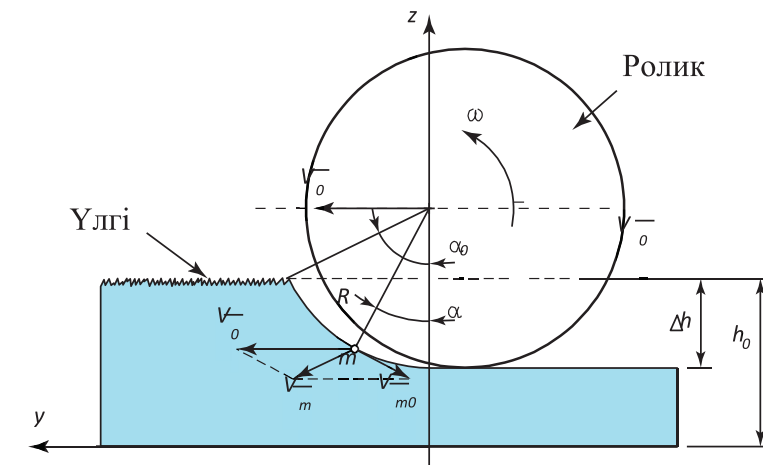
Деформация аймағындағы қабаттың кернеулі-деформациялық күйін сандық есептеу үшін деформация температурасындағы тұрақты материалдардың мөндерін білу қажет. Материалдық константалар (күй теңдеуінің параметрлері) сусымалы қисықтарды өндеу арқылы анықталады. Күй теңдеуі (4) нақты анықталған шыңдалу бөлімі (бірінші бөлім) бар сусымалы қисықтарды сипаттайды, ал күй теңдеуі (10) шынықтыру бөлімі жоқ және нақты анықталған тұрақты күйдегі сусымалы қимасы (екінші бөлім) жоқ сусымалы қисықтарды сипаттайды. Күй теңдеуінің параметрлерін анықтау әдістері [8–10] жұмыстарда келтірілген.

Тәжірибелік және теориялық сусымалы қисықтар арасындағы келісу дәрежесі күй теңдеуінің (материалдық тұрақтылар) параметрлерін анықтаудың дәлдігіне байланысты. Технологиялық процестің кернеулі-деформациялық күйі мен қуат параметрлерін есептеудің сенімділігі материал константаларының дәлдігіне байланысты.

Нәтижелер мен талқылаулар

Сызба жазықтығында жазық-параллель қозғалысты орындайтын абсолютті қатты цилиндрлік дененің (ролик) әсерінен материалдың деформациясын қарастырайық (2 сурет).

R - роликтің радиусы, Δh - қабат қалыңдығының өзгеруі, h_0 - прокат қабатының қалыңдығы, α_0 - максималды жанасу бұрышы, α - нүктенің бұрыштық координатасы m , ω - роликтің айналуының бұрыштық жылдамдығы, $\vec{V}_0$ - ролик центрінің қозғалыс жылдамдығының векторы, $\vec{V}_m$ - m нүктесінің жанасу бетіндегі қозғалыс жылдамдығының векторы, $\vec{V}_{m0}$ - m нүктесінің роликтің центріне қатысты айналу жылдамдығының векторы



2-сурет – Цилиндрлік роликпен домалату схемасы

Деформацияланатын материал қатты бетте орналасқан. Ролик центрінің қозғалыс жылдамдығын V_0 деп, ал бұрыштық айналу жылдамдығын ω деп белгілейік. Олар уақыт бойынша тұрақты шамалар болып саналады. Деформация

аймағындағы роликпен материалдың жанасу бетіндегі кез келген нүктенің қозғалыс жылдамдығының құрамдас бөліктері (2-сурет).

$$v_y = v_0 - \omega R \cos \alpha; v_z = -\omega R \sin \alpha. \quad (11)$$

Материалдың кернеулі-деформациялық күйі тек у координатасы бойынша өзгереді деп алайық. Сонда дененің элементар көлемінің тепе-теңдік шартынан мынадай теңдеулерді аламыз:

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + \frac{\sigma_y + p}{h} \operatorname{tg} \alpha + \frac{q - q_1}{h} = 0 \quad (12)$$

$$\sigma_z = p - q \operatorname{tg} \alpha \quad (13)$$

мұнда: σ_y, σ_z – кернеу компоненттері, p, q – материалдың роликпен жанасу бетіндегі сәйкесінше қысым және үйкеліс күштерінің қарқындылығы, q_1 – материал мен қатты бет арасындағы үйкеліс күштерінің қарқындылығы.

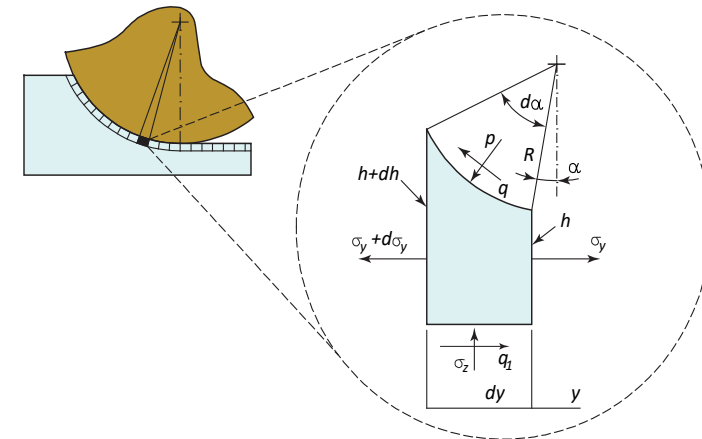
Бір өлшемді формуладағы осы тектес технологиялық есептердегі эквиваленттік кернеу σ_e шамамен мына түрде есептеледі:

$$\sigma_e = \sigma_y - \sigma_z \quad (14)$$

Шешімді жеңілдету үшін материалдың роликпен жанасу бетіндегі үйкеліс Кулон заңына $q = \mu p$ бағынады, ал пропорционалдық коэффициенті μ барлық жанасу бетінде тұрақты болады деп есептейміз. Материалдың қатты бетпен жанасу бетіндегі үйкеліс күштерінің қарқындылығы ең жоғары ығысу кернеуіне пропорционал деп қабылданады:

$$q_1 = \chi \tau_{\max} = \chi(\sigma_y - \sigma_z) / 2 = \chi \sigma_e / 2 \quad (15)$$

мұнда: χ – тұрақты пропорционалдық коэффициенті. $\chi = 1$ болғанда адгезия пайда болады.



3-сурет – Элементтің тепе-теңдік теңдеуін шығару

3-суреттен көрініп тұрғандай, $h = h_0 + R(1 - \cos \alpha)$, $dy = R \cos \alpha d\alpha$. (12) теңдеудегі (13), (14), (15) қатынастарын, сондай-ақ соңғы теңдіктерді ескере отырып, қарапайым түрлендірулерден кейін дифференциалдық теңдеуді аламыз:

$$\frac{d\sigma_y}{d\alpha} + \psi_1(\alpha) \sigma_y = \psi_2(\alpha) \quad (16)$$

мұнда мәндері енгізіледі:

$$\begin{aligned} \psi_1(\alpha) &= \frac{1}{h_0 / R + 1 - \cos \alpha} \left(\sin \alpha + \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} \right) \\ \psi_2(\alpha) &= \frac{1}{h_0 / R + 1 - \cos \alpha} \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} + \frac{\chi}{2} \cos \alpha \right) \sigma_e \end{aligned} \quad (17)$$

Қабаттың кернеулі-деформациялық күйін және технологиялық процестің қуат параметрлерін талдап көрейік.

(16) теңдеуді интегралдау үшін бізде шекаралық шарт бар: $\alpha = 0, \sigma_y = 0$.

Сонда теңдеудің шешімі былай жазылады:

$$\sigma_y = \exp\left(-\int_0^\alpha \psi_1 d\alpha\right) \int_0^\alpha \psi_2 \exp\left(\int_0^\alpha \psi_1 d\alpha\right) d\alpha \quad (18)$$

Кіші жанасу бұрыштары үшін (16) дифференциалдық теңдеудің шешімі келесідей болады:

$$\sigma_y = \frac{R}{h_0} \exp\left(-\frac{\mu R \alpha}{h_0}\right) \left[(1 + \mu^2) \int_0^\alpha \sigma_e \exp\left(\frac{\mu R \alpha}{h_0}\right) \alpha d\alpha + \left(\frac{\chi}{2} + \mu\right) \int_0^\alpha \sigma_e \exp\left(\frac{\mu R \alpha}{h_0}\right) d\alpha \right] \quad (19)$$

Алынған шешімдерден көрініп тұрғандай, кернеулерді есептеу үшін Деформацияланатын материалдың күйін сипаттау қажет. Қатаю теориясы бойынша күй (8) теңдеуін алайық:

$$\sigma_e = a \xi_e^m \kappa^n,$$

мұнда: a, m, n – тұрақты материалдар; ξ_e - эквивалентті деформация жылдамдығы; $\kappa = \int_0^t \xi_e dt$ Удквист параметрі.

(11) қатынастарды ескере отырып, бойлық бағыттағы деформация жылдамдығы келесідей есептеледі:

$$\xi_y = \frac{dv_y}{dy} = \omega R \sin \alpha \frac{d\alpha}{dy} \quad (20)$$

Қарастырылып отырған жағдайда тегіс деформацияланған күй деформацияның эквивалентті жылдамдығы $\xi_e = 2\xi_y / \sqrt{3}$ болып табылады. Егер деформация жылдамдығы мен эквивалентті деформация жылдамдығы үшін $d\alpha/dy = dl/(Rdy) = 1/(R \cos \alpha)$ деп есептесек:

$$\xi_y = \omega \operatorname{tg} \alpha, \xi_e = 2\omega \operatorname{tg} \alpha / \sqrt{3} \quad (21)$$

Содан кейін екінші теңдікті (21) және қатынасты $dt = d\alpha / \omega$. ескере отырып, Удквист параметрі келесідей болады:

$$\kappa = -\frac{2}{\sqrt{3}} \ln |\cos \alpha| \quad (22)$$

Егер біз эквивалентті деформация формулаларын және күй теңдеуіндегі Удквист параметрін (20) қарастыратын болсақ, онда эквивалентті кернеуді есептеу үшін аламыз:

$$\sigma_e = a \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{m+n} \omega^m \operatorname{tg}^m \alpha (-\ln |\cos \alpha|)^n \quad (23)$$

(13) формуладан (14) және (22) ескере отырып, материалдың роликпен жанасу бетіндегі қысымның таралуын анықтаймыз:

$$p = \frac{\sigma_y - \sigma_e}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} \quad (24)$$

Бірінші теңдеуді (21) ескере отырып, бойлық бағыттағы деформация:

$$\varepsilon_y = \int_0^t \xi_y dt + \varepsilon_y^0 = -\ln |\cos \alpha| + \varepsilon_y^0 \quad (25)$$

мұнда: ε_y^0 балқытудан кейінгі қалдық деформация.

Қалдық бойлық деформацияларды толығымен жою үшін $\ln |\cos \alpha| = \varepsilon_y^0$ шартты орындау қажет. Тиісті байланыс бұрышы:

$$\alpha_0 = \arccos[\exp(\varepsilon_y^0)] \quad (26)$$

Екінші жағынан, максималды байланыс бұрышы (1-сурет):

$$\alpha_0 = \arcsin 2\sqrt{\Delta h / (2R)}. \quad (27)$$

мұнда: Δh – балқытылған қабаттың қалыңдығын азайту.

(26) және (27) теңдеулерін салыстыру арқылы табамыз:

$$\Delta h = R[1 - \exp(2\varepsilon_y^0)] / 2 \quad (28)$$

Осылайша, бір өлшемді өндірісте шиеленісті деформацияланған күйді, жанасу бетіндегі қысым мен үйкеліс күштерін, роликке әсер ететін күштер мен моменттерді есептеу үшін салыстырмалы түрде жалпы формулалар алынады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігінің Ғылыми комитеті қаржыландырады (грант нөмірі AP19680395).

Қорытынды

Материалды қарапайым сынауға негізделген сусымалы теория уақыт бойынша өзгертін кернеулер мен деформациялардың жалпы жағдайында материалдың деформация процесін сипаттауға мүмкіндік береді, сонымен қатар берілген кернеудің өзгеру Заңына сәйкес деформацияның өзгеру заңын анықтайды.

Бір өлшемді өндірісте шиеленісті деформацияланған күйді, жанасу бетіндегі қысым мен үйкеліс күштерін, роликке әсер ететін күштер мен моменттерді есептеу үшін салыстырмалы түрде жалпы формулалар алынды.

Алынған нәтижелер мен талдау термомеханикалық өңдеу режимін орнату және бөлшектердің тегіс беттерін қалпына келтіру кезінде технологиялық жабдықты таңдау үшін өте маңызды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Бойко, Н. И., Хачкина, А. Е.** Улучшение структуры наплавленного металла деталей поверхностным пластическим деформированием. // Тр. 62-й вузовской науч.-теорет. конф. проф.-преп. сост. : «Транспорт-2003». – Ростов-н/Д : РГУПС, 2003. – С. 161–162.

2 **Бойко, Н. И., Хачкина, А. Е.** Математическое и компьютерное моделирование технологического процесса поверхностной пластической деформации наплавленного слоя деталей. //Актуальные проблемы развития

железнодорожного транспорта: Сб. науч. тр. молодых учёных, аспирантов и докторантов. /Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Н.Гуды. – Ростов-н/Д : Рост.гос. ун-т путей сообщения, 2003. – С. 21–24.

3 **Тонышева, О. А., Вознесенская, Н. М., Шалькевич, А. Б.** Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структур, технологические, механические и коррозионные свойства высоколегированных коррозионностойких сталей с повышенным содержанием азота // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 3. – С. 31–36.

4 **Кипиани, П. Н., Зивзивадзе, Л. И., Шаламберидзе, М. Ш.** Влияние режимов наплавки на сопротивляемость металла против образования горячих трещин при наплавке гребней и бандажей локомотивных колес./Тр. КГТУ, № 2(12), Кутаиси, С. 162–167.

5 **Касрадзе, Д. Х., Гачечиладзе, Г. Р., Касрадзе, Т. Д.** Виды термомеханической обработки (ТМО) наплавленных поверхностей. // *Международный научный журнал «Проблемы прикладной механики»*. № 4(5), 2001.

6 **Карамышев, А. П., Вичужанин, Д. И., Некрасов, И. И., Нестеренко, А. В., Паршин, В. С., Смирнов, С. В., Федулов, А. А., Швейкин, В. П.** Исследование деформационного упрочнения и поврежденности заготовок из тяжелых сплавов на основе вольфрама. Международная научно-техническая конференция «Нано-технологии функциональных материалов (НФМ 16)», Снкт-Петербург, 21–25 июня 2016, – С. 148–154.

7 **Киквидзе, О. Г., Тулеугалиева, Г. Б., Булекбаева, Г. Ж., Бекенова, А., Билашова, Г.** Расчет граничного слоя при пластическом деформировании поверхностей. // *Georgian Engineering News*, № 4 (Vol. 60). – 2011. – P. 51–55.

8 **Bulekbaeva, G. Zh., Kikvidze, O. G., Kipiani, P. N., Mindadze, S. O.** Plasticheskaya deformatsiya kak sredstvo dlya ustraneniya defektov tipa treschin v svarnyih soedineniyah. // *Kutaisi. Bulletin of Akaki Tsereteli State University* № 1(7). – 2016. – P. 45–60.

9 **Bulekbaeva, G., Brzhanov, R. T.** Rolling of a weld pad on a flat surface. One-dimensional problem // *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. – 962 – 2020. – 022053. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022053>.

10 **Bulekbaeva, G., Kikvidze, O.G., Lakhno, V., Brzhanov, R., Tabylov, A., Smirnov, S.** Computer simulation in the mathcad package of plastic deformation of the deposited layer on the flat surface of the part // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 31st October 2019. – Vol. 97. – № 20. – P. 2467–2484.

REFERENCES

1 **Bojko, N. I., Xachkinayan, A. E.** Uluchshenie struktury` naplavlennogo metalla detalej poverxnostny`m plasticheskim deformirovaniem. // *Tr. 62-j vuzovskoj nauch.-teoret. konf. prof.-prep. sost. : «Transport-2003»*. – Rostov-n/D : RGUPS, 2003. – P. 161–162.

2 **Bojko, N. I., Xachkinayan, A. E.** Matematicheskoe i komp`yuternoe modelirovanie texnologicheskogo processa poverxnostnoj plasticheskoy deformacii naplavlennogo sloya detalej. // *Aktual`ny`e problemy` razvitiya zheleznodorozhnogo transporta: Sb. nauch. tr. molody`x uchyony`x, aspirantov i doktorantov*. /Pod red. d-ra texn. nauk, prof. A.N.Gudy`. – Rostov-n/D: Rost.gos.un-t putej soobshheniya, 2003. – P. 21–24.

3 **Tony`sheva, O. A., Voznesenskaya, N. M., Shal`kevich, A. B.** Issledovanie vliyaniya vy`sokotemperaturnoj termomexanicheskoy obrabotki na struktur, texnologicheskie, mexanicheskie i korroizonnny`e svojstva vy`sokolegированны`x korroizionnostojkix stalej s povы`shenny`m sodержaniem azota // *Aviacionny`e materialy` i texnologii*. – 2012. – № 3. – P. 31–36.

4 **Kipiani, P. N., Zivzivadze, L. I., Shalamberidze, M. Sh.** Vliyanie rezhimov naplavki na soprotivlyaemost` metalla protiv obrazovaniya goryachix treshhin pri naplavke grebnej i bandazhej lokomotivny`x koles./Tr. KGTU, № 2(12), Kutaisi. – P. 162–167.

5 **Kasradze, D. X., Gachechiladze, G. R., Kasradze, T. D.** Vidy` termomexanicheskoy obrabotki (TMO) naplavlenny`x poverxnostej. // *Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal «Problemy` prikladnoj mexaniki»*. – № 4(5). – 2001.

6 **Karamy`shev, A. P., Vichuzhanin, D. I., Nekrasov, I. I., Nesterenko, A. V., Parshin, V. S., Smirnov, S. V., Fedulov, A. A., Shvejkin, V. P.** Issledovanie deformacionnogo uprochneniya i povrezhdennosti zagotovok iz tyazhely`x splavov na osnove vol`frama. Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya «Nano-texnologii funkcional`ny`x materialov (NFM 16)», Snkt-Peterburg, 21-25 iyunya 2016, – P. 148–154.

7 **Kikvidze, O. G., Tuleugalieva, G. B., Bulekbaeva, G. Zh., Bekenova, A., Bilashova, G.** Raschet granichnogo sloya pri plasticheskom deformirovanii poverxnostej. // *Georgian Engineering News*. – № 4 (Vol.60). – 2011. – P. 51–55.

8 **Bulekbaeva, G. Zh., Kikvidze, O. G., Kipiani, P. N., Mindadze, S. O.** Plasticheskaya deformatsiya kak sredstvo dlya ustraneniya defektov tipa treschin v svarnyih soedineniyah. // *Kutaisi. Bulletin of Akaki Tsereteli State University*. – № 1(7). – 2016. – P. 45–60.

9 **Bulekbaeva, G., Brzhanov, R. T.** Rolling of a weld pad on a flat surface. One-dimensional problem // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. – 962. – 2020. – 022053. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022053>.

10 **Bulekbaeva, G., Kikvidze, O. G., Lakhno, V., Brzhanov, R., Tabylov, A., Smirnov, S.** Computer simulation in the mathcad package of plastic deformation of the deposited layer on the flat surface of the part // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 31st October 2019. – Vol. 97. – № 20. – P. 2467–2484.

29.03.24 ж. баспаға түсті.

29.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

11.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. У. Табылов¹, А. З. Букаева², Г. Ж. Булекбаева³,
Н. Б. Сүйеуова⁴, К. С. Рзаева⁵

^{1,2,3,4,5}Yessenov University, Республика Казахстан, г. Актау.

Поступило в редакцию 29.03.24.

Поступило с исправлениями 29.03.24.

Принято в печать 11.12.24.

ПОСТАНОВКА ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ МЕТОДОМ ОБКАТЫВНИЯ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье выполнен анализ постановки одномерной задачи пластического деформирования наплавленного слоя поверхности деталей при обкатке цилиндрическим роликом. Метод отделочно-упрочняющей обработки поверхности деталей с использованием обкатки поверхности деталей стальными цилиндрическими роликами обеспечивает формирование низкой шероховатости, остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях и мелкозернистость структуры путем осаждения металла по толщине в зоне шва для создания пластических деформаций удлинения в продольном и поперечном направлениях. При отделочно-упрочняющей обработке поверхности деталей с использованием обкатки характерно, что деформирование металлов в процессе обработки при высоких температурах определяется значительным влиянием скоростей деформаций на напряжения. Это диктует необходимость расчета напряжений и деформаций на основе уравнения состояния реономных тел. Цель исследования – определение компонентов напряжений и силовых факторов технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки поверхности деталей на основе численного решения одномерной нелинейной задачи, включающей расчет напряженно-деформированного состояния в очаге деформации на основе теории ползучести. В статье исследован процесс деформирования материала под действием абсолютно жесткого цилиндрического тела (ролика), совершающего плоскопараллельное движение. Установлено, что полное устранение остаточных деформаций достигается в том случае, если создаваемые обкаткой пластические деформации удлинения в слое и прилегающих участках основного металла окажутся равными по значению остаточным пластическим деформациям укорочения в этих зонах. Определено, что остаточные продольные напряжения в этом случае могут оказаться близкими нулю. В одномерной постановке задачи получены сравнительно общие формулы для расчета напряженно-деформированного состояния, давления и сил трения на поверхности контакта, усилий и моментов, действующих на ролик.

Ключевые слова: пластическое деформирование, напряжение, одномерная задача, наплавленный слой, восстановление, обкатка теория ползучести, цилиндрические ролики, поверхность контакта.

*A. U. Tabylov¹, A. Z. Bukayeva², G. Zh. Bulekbayeva³,
N. B. Suyeuova⁴, K. S. Rzaeva⁵

Yessenov University, Republic of Kazakhstan, Aktau,

Received 29.03.24.

Received in revised form 29.03.24.

Accepted for publication 11.12.24.

FORMULATION OF THE ONE-DIMENSIONAL PROBLEM OF INELASTIC DEFORMATION OF THE DEPOSITED LAYER BY THE ROLLING METHOD ON A FLAT SURFACE

The article analyzes the formulation of a one-dimensional problem of plastic deformation of the deposited layer of the surface of parts during rolling with a cylindrical roller. The method of finishing and strengthening the surface of parts using rolling in the surface of parts with steel cylindrical rollers ensures the formation of low roughness, residual compressive stresses in the surface layers and fine-grained structure by depositing metal in thickness in the seam area to create plastic elongation deformations in the longitudinal and transverse directions. When finishing and strengthening the surface of parts using running-in, it is characteristic that the deformation of metals during processing at high temperatures is determined by the significant influence of deformation rates on stresses. This dictates the need to calculate stresses and strains based on the equation of state of rheonomic bodies. The purpose of the study is to determine the stress components and force factors of the technological process of finishing and strengthening surface treatment of parts based on the numerical solution of a one-dimensional nonlinear problem involving the calculation of the stress-strain state in the deformation focus based on the theory of creep. The article examines the process of deformation of a material under the action of an absolutely rigid cylindrical body (roller) performing a plane-parallel motion. It is established that the complete elimination of residual deformations is achieved if the plastic elongation deformations created by running-in in the layer and adjacent sections of the base metal turn out to be equal in value to the residual plastic shortening deformations in these zones. It is determined that the residual longitudinal stresses in this case may be close to zero. In the one-dimensional formulation of the problem, relatively general formulas are obtained for calculating the stress-strain state, pressure and friction forces on the contact surface, forces and moments acting on the roller.

Keywords: plastic deformation, stress, one-dimensional problem, deposited layer, recovery, creep theory, cylindrical rollers, contact surface.

***А. Н. Тұрсынбаева¹, М. Е. Исаметова²,
А. М. Дүйсенәли³, Е. С. Ильясов⁴**

^{1,2,3,4}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0249-4991>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9476-237X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2375-2617>

*e-mail: nurtassovna.iqo@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 3D ПЕЧАТИ МАТРИЦЫ ДЛЯ ГИБКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА КОМПОЗИТНЫМИ ГРАНУЛАМИ

В статье рассматривается применение аддитивных технологий в производстве оснастки из полимеркомпозитных материалов, приведены особенности технологического процесса Fused Granular Fabrication (FGF). Представлен процесс создания матрицы для гибки V-образным пазом под углом 90° из композитного материала, на основе полимерной матрицы с добавлением стекловолокна для повышения износостойкости.

В процессе технологического процесса с использованием композитной матрицы были выявлены тот факт, что пружинение заготовок практически минимально. В статье приведены результаты сравнения параметров обработки материала на стальной и композиционной полимерной матрицах. По результатам экспериментов очевидно, что для обработки материала с относительно большим внутренним радиусом предпочтительнее использовать полимерную матрицу, поскольку это позволяет снизить усилие давления на 10–20 % при получении одинакового качества продукции.

Экспериментальные результаты показывают, что использование композиционных полимерных матриц для гибки в мелкосерийном производстве позволяет уменьшить усилие давления, а также снизить стоимость производства по сравнению с традиционными металлическими инструментами. В заключении выделяются преимущества и ограничения применения таких матриц, а также рекомендации для оптимизации процесса гибки и дальнейшего использования в промышленности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, технология FGF, полимерные материалы, композитные материалы, гибка, V-образный паз, матрица.

Введение

Полимерные и полимер-композитные материалы (ПКМ) все больше находят своё применение в машиностроении благодаря их уникальным свойствам, таким как высокая прочность, малая масса, коррозионная стойкость и возможность адаптации под конкретные задачи. Основные области применения ПКМ в изготовлении

деталей машиностроения: легкие и прочные корпуса для оборудования, таких как насосы, компрессоры и другие агрегаты. Производство деталей кузова, шасси, пружин, панелей дверей и других компонентов. Это уменьшает вес автомобиля, что приводит к экономии топлива. Наряду с традиционными методами производства полимерных деталей таких как литье под давлением, экструзия появились новые возможности производства после разработки и внедрения 3D-оборудования и в машиностроительной отрасли. Исследования в области применения и совершенствования технологии производства полимерных изделий для машиностроения является актуальной и многогранной темой, которая включает в себя множество аспектов. Совершенствование технологии производства полимерных изделий для машиностроения — это не просто путь к повышению качества продукции, но и ключ к решению современных вызовов, связанных с экономичностью, экологичностью и технологической конкурентоспособностью. Это направление позволяет удовлетворить растущие требования отрасли, обеспечивая устойчивое развитие машиностроения и его интеграцию в глобальные производственные цепочки. В ранее проведенных исследованиях были рассмотрены параметры технологических процессов изготовления деталей из полимер-наполненных композитов. Основной целью данных исследований являлась замена традиционных металлических деталей на полимерные и полимеркомпозитные аналоги, обладающие улучшенными характеристиками, такими как меньший вес, повышенная коррозионная стойкость и возможность адаптации под сложные конструктивные формы [1, с.112-119;3, с.142-149]. Авторы статьи [4, с.2383-4536] приводят результаты вычислительных и натурных экспериментов технологического процесса литья под давлением композита из карбонатной матрицы наполненной стекловолокном для замены рабочего колеса центробежного многоступенчатого насоса из металла на композитное колесо.

В работе [5, с.1694;7] в контексте обработки металлов давлением была предложена быстрая оснастка для вытяжки, изготавливаемая аддитивным производством. Исследователи привели целенаправленное механическое описание материалов, изготовленных с использованием добавок (АМ). Результаты этих исследований иллюстрирует целесообразность такого применения и показывает диапазон производственных возможностей, качество достижимое при использовании композитных материалов и пользовательских настроек для 3D-печати.

В статье [8, с.1671–1676;10, с.156–160] исследуется применение функциональных элементов, изготовленных с использованием полимера и добавок, в инструментах для глубокой вытяжки. Помимо первой концепции таких инструментов, описаны и проанализированы первые серии экспериментальных испытаний.

В [11, 412-422 с.;12] рассматривают последние разработки в области технологий изготовления оснастки и анализируют потенциальные преимущества, вытекающие из этой разработки, в отношении качества. Новая технологии

изготовления оснастки LOM (Laminated Object Manufacturing) с ламинированием для мелкосерийного производства решает проблему профилирования краев матрицы для гибки.

Не умоляя значимости приведенных исследований и отмечая все достоинства технологии FGF склонаполненными полимерными гранулами, которые будут приведены ниже, нужно отметить, что этому способу производства гибочной оснастки уделено не достаточное внимание исследователей. В этой статье мы отразили результаты создания матрицы для гибки листового металла технологическим процессом FGF печати из полимеркомпозитного гранулированного материала.

Объект исследования

Объектом исследования в данной статье это процесс производства технологий Fused Granular Fabrication (FGF) матрицы для гибки V-образным пазом под углом 90° (рисунок 1) из Листовая штамповка в современном производстве является одним из самых распространенных и высокоскоростных операций в машиностроительном производстве.

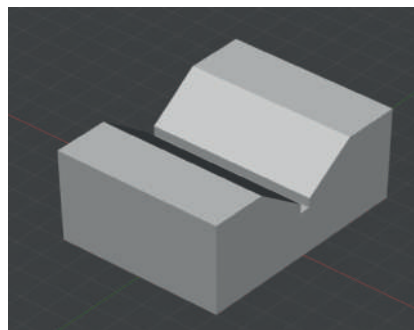


Рисунок 1 – 3D модель матрицы для гибки листового металла

Точность получения тонколистовых деталей стабильных размеров делает данный вид обработки очень востребованным. Одним из существенных недостатков изготовления деталей подобным способом является высокая себестоимость.

Материалы и методы

Оборудования для производства гибочной оснастки.

Образцы матрицы печатались в лаборатории КазНИТУ имени К. И. Сатпаева на принтере 3D принтер PioCreat G5 (рисунок 5) печать по технологии FGF. Метод FGF как новый виток развития в экструзии полимеров Принцип передвижения экструдера в FGF 3D-принтере (рисунок 2) такой же, как и в традиционном FFF (Fused Filament Fabrication) принтере, однако расходным материалом вместо филамента являются композитные гранулы. Для переработки гранул используются дополнительные узлы, такие как бункер и шнековый экструдер. Шнек в экструдере осуществляет перемещение гранул от входного отверстия системы подачи к отверстию сопла. Непосредственно перед выдавливанием через сопло, расплавленный композит подвергается высокому давлению благодаря

двигателю, который вращает шнек. FGF-принтеры идеально подходят для печати функциональных средних и крупных объектов с толстыми стенками и не самой сложной геометрией.



Рисунок 2 – Принтер PioCreat G5

Материал Так как матрицы для гибки испытывают циклические контактные усилия, задачей исследования было подобрать более стойкий к истеранию материал. Гранулы (рисунок 3) - это первичное сырье для производства филамента. FGF-печать поддерживает большое разнообразие материалов, включая различные виды пластика, металла и композитов. Гранулы можно использовать в составе смесей для создания объектов с конкретными свойствами, повышенной гибкостью или прочностью. Для производство матрицы использовались гранулы композитного материала на основе полимерной матрицы и 10% включений рубленного стекла. Фото гранул приведены на рисунке 3.

Исключив один из технологических этапов производства расходного материала, мы получаем более низкую себестоимость изделия. Например, цена на 1 кг гранул TOTAL GF составляет менее 8000 тенге., тогда как 1 кг филамента аналогичного полимера обойдется примерно в 16000 тенге.



Рисунок 3 – Гранулы композита марки TOTAL GF 10 %

Технологический процесс

Листовой металл можно использовать для производства различных сложных трёхмерных плоских деталей, например, с помощью гибки и глубокого вытягивания. Некоторые преимущества такого процесса включают хорошие механические свойства полученных изделий, минимальное количество отходов и высокую производственную мощность. Одним из основных затратных факторов в процессе формирования листового металла является разработка и производство штамповочных инструментов. Обычно инструмент разрабатывается и изготавливается специализированным предприятием, что требует значительных временных затрат и может быть довольно дорогим. В процессе разработки инструмент может потребовать одной или нескольких корректировок, прежде чем достичь окончательной формы.

Процесс гибки можно классифицировать на три вида: ударная гибка, гибка с поддержкой снизу и гибка в воздухе. Устройство для гибки с использованием 3D-печати предназначено исключительно для гибки в воздухе, так как в этом процессе требуется минимальное количество опор.

Инструментальное оборудование для V-образной гибки было изготовлено с использованием технологии FGF, в частности, экструзии. Для гибки заготовок из поверхностного материала под углом 90° была создана матрица с V-образным углублением (рисунок 4), (длина — 80 мм; ширина — 60 мм; высота — 50 мм).

Параметры процесса печати были предварительно исследованы нами, результаты приведены в работах [9;12]. Учитывая результаты предшествующих исследований параметры печати:

Параметры печати матрицы:

1. Технология – Fused Granular Fabrication (FGF);
2. Оборудование – PioCreat G5;
3. Материал – Композитный материал TOTAL GF 10%;
4. Материал для поддерживающих структур – SR-30;
5. Толщина/высота слоя – 0,250 мм;
6. Заполнение внутреннего контура геометрии стенок – 100% (Solid);
7. Выбор наличия или отсутствия поддерживающих структур, только субстрат;
8. Температура нагрева экструдера – по умолчанию для композитного материала TOTAL GF 10%;
9. Допустимое отклонение линейных размеров, заявленное производителем – $\pm 0,089$ мм.



а) б) в)

Рисунок 4 – Матрица с V-образным углублением для гибки: а) 3D модель, созданная в программе КОМПАС; б) образец матрицы из стали; в) образец матрицы, напечатанный на 3D принтере из композиционного материала TOTAL GF 10%.

Матрица изготовлена из композитного материала TOTAL GF 10% с использованием технологии экструзии FGF. Деталь была размещена на рабочей платформе принтера горизонтально, что позволило сформировать V-образный вырез матрицы при наложении слоев. Такой подход предотвращает возникновение стратификации при воздействии силы в направлении, перпендикулярном V-образному вырезу, который состоит из разных слоев.

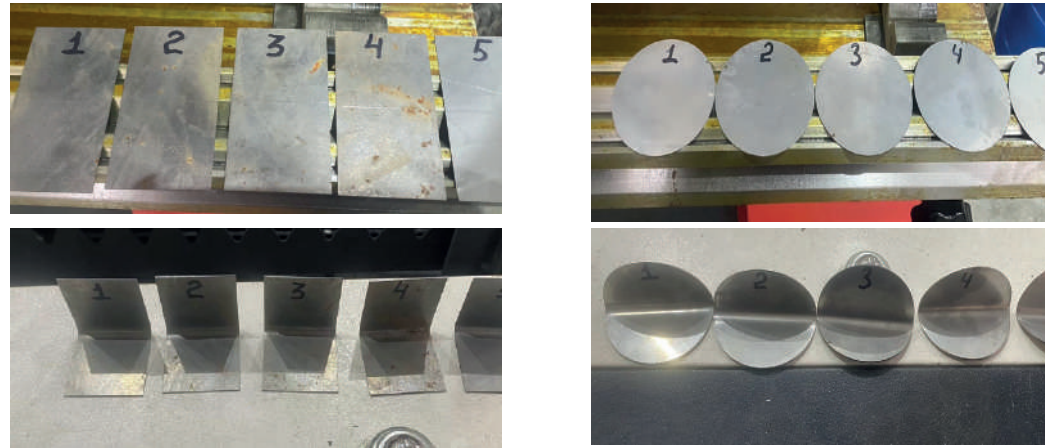
Гибка поверхностных материалов была выполнена на гибочном прессе марки ZWHOPES 63T2500 (с усилием 630 кН) в технопарке КазНУ имени К. И. Сатпаева (рисунок 5).



Рисунок 5 – Гибочный пресс

Результаты и обсуждение

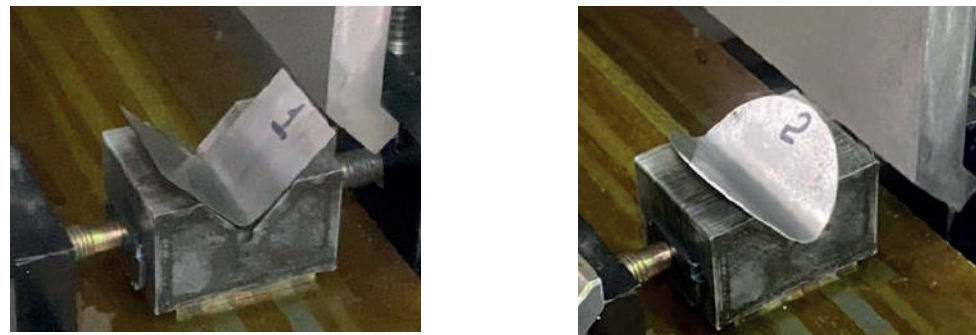
Тестирование образцов из стали 3 включало изгиб прямоугольных и круглых заготовок (рисунок 6-7). Первый образец имеет размеры 100x50 мм и толщину 0,8 мм, второй образец — диаметр 81 мм и толщину 1 мм. Всего было испытано 10 заготовок из стали 3.



а)

б)

Рисунок 6 – Заготовки из стали 3: а) Заготовка размером 100x50 мм, толщиной 0,8 мм до и после изгиба; б) Заготовка диаметром 81 мм, толщиной 1 мм до и после изгиба



а)

б)

Рисунок 7 – Процесс гибки заготовок из стали 3: а) Заготовка размером 100x50 мм, толщиной 0,8 мм; б) Заготовка диаметром 81 мм, толщиной 1 мм.

Матрица с V-образным углублением была изготовлена с учетом пружинного угла и принято, что он равен 860. После испытания двух различных образцов на гибку, заготовки были измерены с использованием оборудования для измерения углов, и результаты показали, что угол во всех заготовках составил 900 (рисунок 8). Этот результат подтверждает правильность проектирования матрицы.



а)

б)

Рисунок 8 – Измерение угла заготовок с использованием оборудования для измерения угла после гибки: а) Заготовка размером 100x50 мм, толщиной 0,8 мм; б) Заготовка диаметром 81 мм, толщиной 1 мм

На этой матрице была выполнена гибка нескольких партий деталей: первая партия не требовала точной геометрии и имела пружинение от 2 до 5 градусов в зависимости от толщины листа. Вторая партия была изготовлена с применением силы 100 кН для коррекции деталей.

При выполнении технологического процесса с использованием композитной матрицы были выявлено, что пружинение практически не наблюдается. В ходе экспериментов были сравнены параметры обработки материала на стальной и композиционной полимерной матрицах. Результаты экспериментов показали, что для обработки материала с относительно большим внутренним радиусом предпочтительнее использовать полимерную матрицу, поскольку это позволяет снизить усилие давления на 10-20% при получении одинакового качества продукции. Это снижение связано с разницей в жесткости полимерного и стального инструмента. Стальная матрица оказывает более жесткое сопротивление, что требует большего давления. Полимерная матрица имея меньшую жесткость чем сталь, частично деформируется, распределяя нагрузку более равномерно и снижает пик давления.

После проведения ряда экспериментов по гибке образцов с толщиной от 0,8 до 1 мм и коррекции внутреннего радиуса и гибочных полок, следы давления на боковых полках V-образного углубления инструмента не были обнаружены. Также не было зафиксировано первоначального износа всей области контакта образца с матрицей. Однако, несмотря на это, после нескольких гибок могут постепенно произойти изменения в размерах матрицы, что может повлиять на упругий угол изделия после последующей гибки.

Выводы

1 Возможность гибки материала до толщины 1 мм с использованием композиционной полимерной матрицы.

2 Благодаря более низкой жесткости материала матрицы, гибка может быть выполнена с меньшими усилиями по сравнению с металлической оснасткой.

3 Для гибки без коррекции детали форму инструмента можно значительно упростить, что позволит снизить стоимость материала и, соответственно, цену получаемого оборудования.

4 Из-за постепенного износа инструмента его следует использовать преимущественно в малосерийном производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Smith, J.** Advanced Applications of Composite Materials in Aerospace // Journal of Materials Science. – 2023. – 58(3). – 112–119 p.
- 2 **Jones, L., & Johnson, P.** Composite Materials in Automotive Manufacturing // Automotive Engineering. – 2022. – 45(6). – 78–83 p.
- 3 **Lee, D., et al.** Applications of Carbon Fiber Reinforced Polymers in Modern Industries // International Journal of Advanced Materials. – 2021. – 33(5). – 142–149 p.
- 4 **Isametova, M., et al.** Computational and Experimental Study of the Composite Material for the Centrifugal Pump Impellers Manufacturing // Journal of Applied and Computational Mechanics. – January 2022. – 8(4). – 2383–4536 p.
- 5 **Frohn-Sörensen, P. et al.** Design for 3D Printed Tools: Mechanical Material Properties for Direct Polymer Additive Tooling // Polymers. – April 2022. – 14(9). – 1694 p.
- 6 **Jasinski, C. et al.** A new approach to experimental testing of sheet metal formability for automotive industry // Archives of Metallurgy and Metals. – 2019. – Vol. 64. p. – 1231–1238 p.
- 7 **Schell, T.** Basic investigations of a new Rapid Tooling technique for sheet metal forming (in German) // PhD thesis. University of Erlangen. – 2005.
- 8 **Leal, R. Barreiros, F. M., Alves, L., Romeiro, F., Vasco, J. C., Santos, M., Marto, C.** Additive Manufacturing Tooling for the Automotive Industry // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2017. – 92. – 1671–1676 p. [CrossRef].
- 9 **Schuh, G., Bergweiler, G., Bickendorf, P., Fiedler, F., Colag, C.** Sheet Metal Forming Using Additively Manufactured Polymer Tools. // Procedia CIRP. – 2020. – 93. – 20–25 p. [CrossRef].
- 10 **Schuh, G., Bergweiler, G., Fiedler, F., Bickendorf, P., Schumacher, P.** Small Series Production and Geometric Analysis of Sheet Metal Car Body Parts Using Forming Tools Made of Fused Filament Fabricated PLA // In Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore. – 14–17 December 2020. – P. 156–160.
- 11 **Durgun, I.** Sheet Metal Forming using FDM Rapid Prototype Tool // Rapid Prototyping Journal. – 2015. – P. 412–422.
- 12 **Bergweiler, G. Fiedler, F. Kampker, A. Lichtenthäler, K.** Additively manufactured forming tools in prototype construction (in German) // Umformtechnik Blech Rohre Profile. – 2019.

Поступило в редакцию 22.01.25.

Поступило с исправлениями 29.01.25.

Принято в печать 12.02.2025.

***А. Н. Тұрсынбаева¹, М. Е. Исаметова²,**

А. М. Дүйсенғали³, Е. С. Ильясов⁴

^{1,2,3,4}Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

20.01.25 ж. баспаға түсті.

29.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

12.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАҢЫЛТЫР МЕТАЛДАРДЫ ИҮ ҚҰРАЛДАРЫН 3D БАСЫП ШЫҒАРУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада полимер-композициялық материалдардан жасалған оснастканы өндіруде аддитивті технологияларды қолдану қарастырылған, сондай-ақ Fused Granular Fabrication (FGF) технологиялық процесінің ерекшеліктері келтірілген. Композиттік материалдан жасалған, шыны талшықтарын қосу арқылы тозуға төзімділікті арттыру мақсатында полимерлік матрица негізінде 90° бұрышта V-тәрізді пазаға арналған қалыпты жасау процесі ұсынылған.

Технологиялық процесс барысында композиттік матрица қолдану арқылы дайындамалардың серпімділігі дерлік минималды екені анықталды. Мақалада материалды өңдеудің параметрлерін болат және композициялық полимерлі матрицаларда салыстыру нәтижелері берілген. Эксперименттер нәтижесінде, салыстырмалы түрде үлкен ішкі радиусы бар материалдарды өңдеу үшін полимерлік матрица қолданудың тиімдірек екені айқындалды, себебі бұл өнімнің сапасын өзгеріссіз сақтай отырып, қысым күшін 10-20%-ға азайтуға мүмкіндік береді.

Эксперименттік нәтижелер композициялық полимерлік матрицаларды ұсақ сериялы өндірісте қолдану қысым күшін азайтуға және дәстүрлі металл құралдарымен салыстырғанда өндіріс құнын төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Қорытындыда мұндай матрицаларды қолданудың артықшылықтары мен шектеулері, сондай-ақ гибкалау процесін оңтайландыру және өнеркәсіпте әрі қарай қолдану үшін ұсыныстар жасалады.

Кілтті сөздер: аддитивті технологиялар, FGF технологиясы, полимерлік материалдар, композициялық материалдар, гибкелеу, V-тәрізді паза, матрица.

***А. N. Tursynbayeva¹, M. E. Isametova²,**

A. M. Duisengali³, Y. S. Ilyassov⁴

^{1,2,3,4}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 20.01.25.

Received in revised form 29.01.25.

Accepted for publication 12.02.25.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF 3D PRINTING OF TOOLING FOR SHEET METAL BENDING

The article discusses the application of additive technologies in the production of tooling made from polymer composite materials, and presents the features of the Fused Granular Fabrication (FGF) technological process. It introduces the process of creating a matrix for bending a 90° V-shaped groove from a composite material based on a polymer matrix with the addition of fiberglass to improve wear resistance.

During the technological process using the composite matrix, it was found that the springback of the workpieces is practically minimal. The article presents the results of comparing material processing parameters on steel and composite polymer matrices. Based on the experimental results, it is evident that for processing material with a relatively large inner radius, it is preferable to use a polymer matrix, as it allows reducing the pressure force by 10–20 % while maintaining the same product quality.

Experimental results show that the use of composite polymer matrices for bending in small-scale production reduces the pressure force and lowers production costs compared to traditional metal tools. In conclusion, the advantages and limitations of using such matrices are highlighted, along with recommendations for optimizing the bending process and further industrial use.

Keywords: additive technologies, FGF technology, polymer materials, composite materials, bending, V-shaped groove, matrix.

МЕТАЛЛУРГИЯ

МРНТИ 53.03.09

<https://doi.org/10.48081/HVTA9346>

***А. А. Абілберікова¹, Д. А. Есенғалиев², Е. Қ. Қуатбай³,
Б. С. Келаманов⁴, К. Бензесик⁵**

^{1,3}Қарағандинский индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау

^{2,4}Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе

⁵Стамбульский технический университет, Турция, г. Стамбул

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0792-0822>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8400-3537>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7646-9153>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0996-5151>

*e-mail: abilberikova90@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛАТЕРИТНОЙ НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БАТАМША» ГАЗООБРАЗНЫМИ ВОССТАНОВИТЕЛЯМИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «HSC CHEMISTRY 10»

В данной статье проведено моделирование процесса низкотемпературного твердофазного восстановления никелевой латеритной руды месторождения «Батамша» с использованием программного комплекса «HSC Chemistry 10». Рентгенофазовым анализом был определен фазовый состав никелевой руды: 1,43% NiO, 5,2% Fe₂O₃, 9,4% Fe₃O₄, 6% FeO·OH, 5,4% Fe₂SiO₄, 0,27% FeS, 4,2% MgSiO₃, 12,4% Mg₃Si₂O₅(OH)₄, 35,1% CaAl₂Si₂O₈, 17,8% SiO₂ и 2,8% CaCO₃. Полученные данные были использованы для расчёта молярного состава никелевой руды, необходимого для определения количества молей компонентов, участвующих в реакции восстановления оксидных соединений в руде, с применением программного комплекса «HSC Chemistry 10». Термодинамика процесса восстановления изучена с применением модуля Equilibrium Composition, который осуществляет расчёт методом минимизации свободной энергии Гиббса, что позволяет определить равновесные составы взаимодействующих фаз. Изучались процессы восстановления никелевой латеритной руды монооксидом углерода и его смесью с водородом в соотношениях (1:1), (1:2) и (1:3). Исследование с использованием монооксида углерода в качестве восстановителя показало, что восстановление никеля начинается при 440 °С, полное восстановление достигается при расходе восстановителя 1,1 моль при температуре 900 °С. Исследование показали, что добавление водорода к СО значительно снижает температуру начала восстановления и полного

восстановления никеля (с 440/900 °С до 340/700 °С), а также требуемый расход восстановителя. Восстановление железа во всех исследованиях начиналось при 440 °С, что указывает на селективное восстановление никеля при применении смесей СО с водородом. Восстановительную смесь СО+Н₂ в соотношении 1:2 можно считать оптимальным с точки зрения баланса между эффективностью восстановления и экономическими параметрами процесса. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения водородсодержащих восстановительных смесей для повышения эффективности процесса извлечения никеля из латеритных руд, однако оптимальный состав смеси зависит от специфических характеристик руды и технологических условий.

Ключевые слова: латеритная никелевая руда, низкотемпературное селективное восстановление, водород, монооксид углерода, моделирование восстановления.

Введение

Латеритные (окисленные руды) составляют подавляющее большинство мировых запасов никеля (около 70 %), в настоящее время производство первичного никеля в основном опирается на сульфидные руды (почти 60% производства). Это несоответствие связано с трудностями, возникающими при обогащении и извлечении никеля из оксидных руд.

В сульфидных рудах никель представлен в виде отдельного минерала – пентландита [(FeNi)₉S₈], который легко поддается выделению и флотации. Полученный концентрат, содержащий 6–15 % никеля отправлять на дальнейшую переработку, что экономически выгодно. Напротив, в окисленных рудах никель обычно находится в составе сложных минералов, например, в твердых растворах с гидроксидами железа или в силикатных минералах магнезия. Это затрудняет обогащение руды и требует более сложных и дорогостоящих технологий. Однако, рост спроса на никель в сочетании с истощением легкодоступных залежей сульфидной руды стимулирует разработку новых технологий и методов для эффективного извлечения никеля из оксидных руд [1].

Латеритная никелевая руда – это, по сути, не один вид, а комплекс руд, образованных в результате выветривания ультраосновных и основных пород.

1. Сапролитовая руда формируется на ранних стадиях латеритного процесса. Она представляет собой полуразложившуюся коренную породу, в которой сохраняется первичная структура. Представлена серпентинитом (Mg₃Si₂O₅(OH)₄), оливином (Mg₂SiO₄), и другими силикатами. В ней присутствует никель в виде гарниерита (Ni₃Si₂O₅(OH)₄) и других силикатных минералов.

2. Лимонитовая руда формируется на более поздних стадиях латеритного процесса. Она представляет собой сильно разложившуюся коренную породу, в которой первичная структура практически полностью разрушена. Лимонит (FeOOH) является доминирующим минералом. Никель преимущественно содержится в виде гидрооксидов и силикатов.

3. Гипергенные руды образуются в результате дальнейшего выветривания и переотложения продуктов разрушения коренных пород. Никель в них содержится в виде небольших концентраций в железных оксидах и гидрооксидах.

4. Серпентинитовые руды образуются при выветривании серпентинитов, богатых магнезией. Содержат никель в виде гарниерита.

5. Дунитовые руды образуются при выветривании дунитов, богатых оливином. Содержат никель в виде лимонита.

6. Гипербазитовые руды образуются при выветривании гипербазитов, богатых хромитом. Содержат никель в виде ферроникеля [2].

Поскольку латериты не поддаются традиционным методам обогащения, таким как пенная флотация, извлечение металлического никеля обычно достигается гидрометаллургическими и/или пирометаллургическими методами, применяемыми ко всей руде.

Восстановление латеритной никелевой руды – это вызов, который привлекает внимание многих ученых по всему миру. Их исследования – настоящий интеллектуальный поиск, который уже привел к созданию целой библиотеки научных работ. Страницы этих трудов хранят знания о структуре латеритных руд, особенностях их состава, оптимальных условиях для извлечения никеля, а также о новых технологиях, способных повысить эффективность этого процесса [3; 4; 5].

В работах [6; 7] «Термодинамический анализ селективного восстановления никельсодержащей лимонитовой латеритной руды водородом» изучено восстановление лимонитовой латеритной никелевой руды водородом и монооксидом углерода. Установили, что железо восстанавливается одновременно с никелем для получения ферроникелевого сплава при любых условиях. С увеличением отношения восстановителя к руде восстановление происходило при более низких температурах, а извлечение никеля из ферроникеля увеличивалось при данной температуре. Также в работе сравнивается восстановление руды водородом и монооксидом углерода. Общие тенденции восстановления водорода были аналогичны тенденциям восстановления монооксида углерода. Однако в случае водорода восстановление происходило при более низких температурах, и как максимальное извлечение, так и температура, необходимая для максимального извлечения, были ниже для водорода, чем для монооксида углерода. Диапазон температур, при которых можно было достичь высокого извлечения никеля, был намного шире для водорода, чем для оксида углерода. В монооксиде углерода выделение железа происходило вслед за выделением никеля, в то время как в водороде количество железа постоянно увеличивалось с повышением температуры.

В работе [8] «Термодинамическое моделирование восстановления железа и никеля из оксидных расплавов» методами термодинамического моделирования проведен анализ изменения состава расплава окисленной никелевой руды по ходу восстановления монооксидом углерода. Выявили, что дробное введение СО в рабочее тело позволяет оценить основные параметры процесса, вплоть до достижения степени восстановления никеля 98 %. Соотношение CFeO / CNiO в оксидном расплаве влияет на степень восстановления металлов и состав

формируемого ферроникеля. При постоянном соотношении $\text{CFeO} / \text{CNiO}$, но увеличении количества этих оксидов в РТ, значения CNi в ферросплаве не меняются для выбранного VCO. Увеличение соотношения $\text{CFeO} / \text{CNiO}$ при постоянном содержании оксида никеля в исходном расплаве приводит к снижению CNi в формируемом ферросплаве.

Вышеуказанных работах изучаются оксидные никелевые руды различных месторождений (1 – лимонитовая латеритная никелевая руда (95,37% $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, 0,26% MgO , 2,66% SiO_2 , 1,57% NiO и 0,14% CoO), 2 – окисленные руды Урала (1,14% Ni , 0,012% Co , 10,72% Fe , 8,73% Mg , 1,36% Al , 0,209% Mn), соответственно разного химического и минералогического состава.

Полученные результаты термодинамических исследований, несмотря на свою актуальность, не могут быть напрямую экстраполированы на характеристики отечественных никелевых руд. Так как, химический и минералогический состав латеритных никелевых руд разных месторождений является ключевым фактором, влияющим на выбор технологии восстановления, ее эффективность, выход никеля и затраты на переработку. Поэтому, для каждой руды требуется индивидуальный подход, учитывающий ее специфические особенности.

Цель работы – теоретическое обоснование возможности восстановления латеритной никелевой руды месторождения «Батамша» с использованием монооксида углерода и его смеси с водородом в различных соотношениях.

Материалы и методы

Объектом исследований является – латеритная никелевая руда месторождения «Батамша».

Фазовый состав латеритной никелевой руды был определен методом рентгенофазового анализа на установке Rigaku Ultima IV.

Для определения многокомпонентного равновесного состава в рамках технологических процессов был применен модуль Equilibrium Composition программы HSC Chemistry 10. Модуль предназначен для вычисления равновесных составов контактирующих фаз, принимающих участие в технологических процессах. Программа рассчитывает количество продуктов, находящихся в равновесии в изотермических и изобарических условиях. Расчет осуществлялся методом минимизации свободной энергии Гиббса, позволяющим вычислить равновесные составы взаимодействующих фаз [9; 10].

Согласно результату РФА (таблица 2), было предположено, что никелевая латеритовая руда включает в свой состав следующие элементы: Fe, Ni, Si, Mg, Al, Ca, C, H, S и O. Когда эти десять элементов были введены в программу расчета равновесного состава HSC Chemistry 10, был создан список из 824 возможных соединений. В процессе восстановления никеля газообразными восстановителями большинство из них нестабильны или содержат в малых количествах. Поэтому в расчете были использованы основные фазовые соединения, которые представлены в таблице 1. Эти вещества были сгруппированы в четыре фазы: газы, оксиды, сульфиды и ферроникелевый сплав (Fe–Ni).

Таблица 1 – Фазы и соединения, использованные в расчетах равновесия для восстановления никелевой латеритной руды

Газы	Оксиды			Сульфиды	Сплав
$\text{H}_{2(\text{г})}$	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgSiO_3	FeS	Fe
$\text{CO}_{(\text{г})}$	Al_2SiO_5	Fe_3O_4	Mg_2SiO_4		Ni
$\text{CO}_{2(\text{г})}$	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	$\text{FeO} \cdot \text{OH}$	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$		
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$	CaCO_3	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	NiFe_2O_4		
$\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}$	$\text{CaFe}(\text{SiO}_3)_2$	FeSiO_3	NiO		
	CaMgSiO_4	Fe_2SiO_4	$\text{NiO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$		
	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	MgAl_2O_4	$\text{NiO} \cdot \text{OH}$		
	CaSiO_3	$\text{MgAl}_2\text{SiO}_6$	Ni_2SiO_4		
	FeAl_2O_4	MgO	SiO_2		
	FeO	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$			

Исследовались процессы восстановления никелевой латеритной руды монооксидом углерода, смесью монооксида углерода и водорода в соотношении 1:1, 1:2 и 1:3 в интервале температур 0–1000 °C, при давлении $P=0,1$ МПа. Количество восстановителей были подобраны таким образом, что основные оксиды в никелевой руде были восстановлены до металлической фазы. В нашем случае расход восстановителей варьировался от 0,1 моль до 2,0 моль.

Результаты и обсуждение

Латеритная никелевая руда месторождения «Батамша» по результату рентгенофазового анализа (рисунок 1, таблица 2) представлена кварцом SiO_2 ; серпентином $3\text{Mg}_2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; оксидами железа: гематит (Fe_2O_3), магнетит (Fe_3O_4) и гетитом $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, также присутствуют силикатные фазы: $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_4$, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, CaSiO_3 , MgSiO_2 и карбонат кальция CaCO_3 , сульфид железа FeS . Никель представлен в фазе NiO .

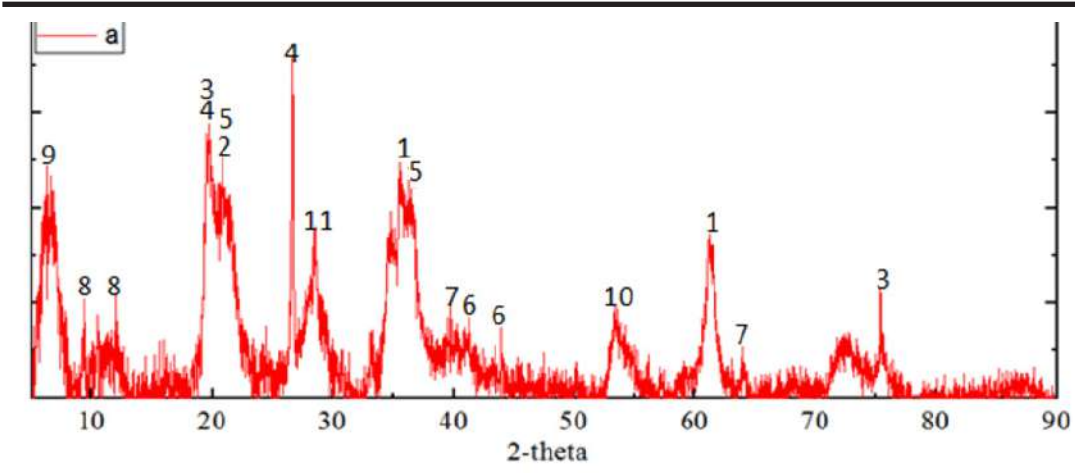


Рисунок 1 – Рентген количественный анализ окисленной никелевой руды месторождения «Батамша»

Таблица 2 – Состав латеритной никелевой руды месторождения «Батамша» по рентген количественному анализу

Минерал	Fe_2O_3	Fe_3O_4	$\text{FeO}\cdot\text{OH}$	SiO_2	NiO	FeS	Fe_2SiO_4	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	MgSiO_3	CaCO_3
№ на рисунке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
% по массе	5,2	9,4	6	17,8	1,43	0,27	5,4	35,1	12,4	4,2	2,8

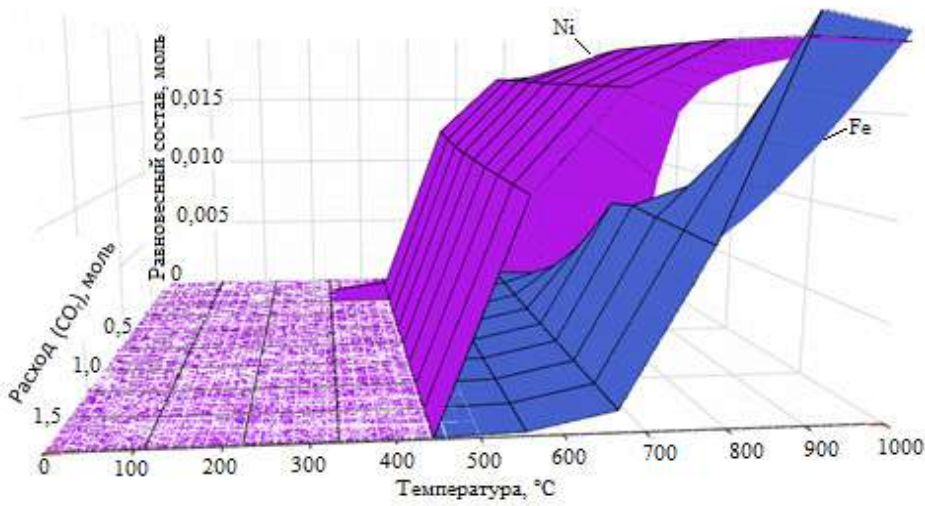
На основании полученных данных о количественном содержании различных минералов, содержащих никель, был рассчитан молярный состав руды. Этот молярный состав, в свою очередь, позволил определить количество молей компонентов, участвующих в реакции восстановления (таблица 3).

Таблица 3 – Количество молей компонентов, участвующих в реакции восстановления

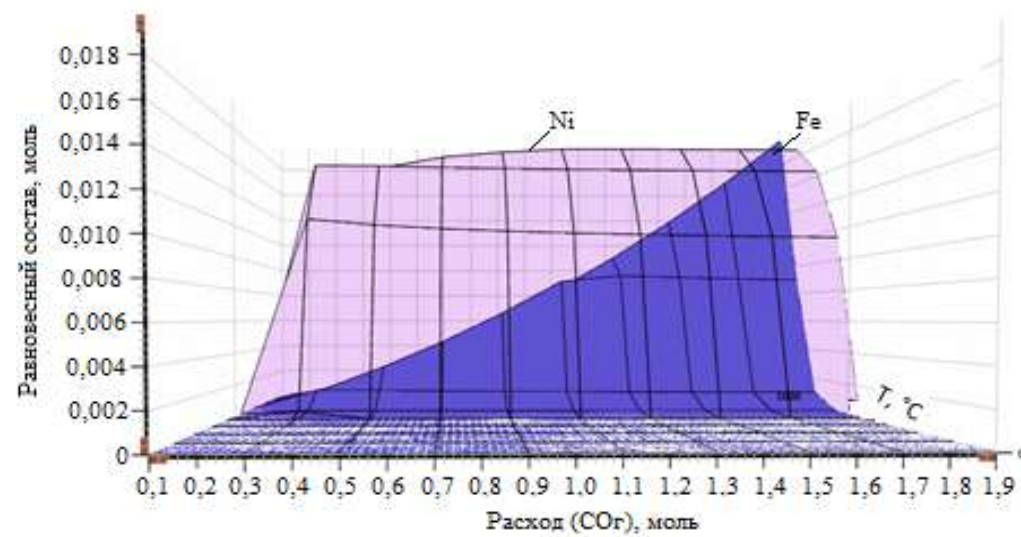
Исходные соединения	Молярная масса соединений г/моль	Содержания по РКА, %	Количество, моль
Fe_2O_3	159,68709	5,2	0,032564
Fe_3O_4	231,53112	9,4	0,040599
$\text{FeO}\cdot\text{OH}$	88,8509	6	0,067529
SiO_2	60,08406	17,8	0,296252
FeS	87,904	0,27	0,003071

Исходные соединения	Молярная масса соединений г/моль	Содержания по РКА, %	Количество, моль
NiO	74,69243	1,43	0,019145
Fe_2SiO_4	203,77212	5,4	0,0265
$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	278,205317	35,1	0,126166
$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	277,10963	12,4	0,044748
MgSiO_3	100,38809	4,2	0,041838
CaCO_3	100,08469	2,8	0,027976
сумма	1662,309447	100	

1) Исследование с использованием монооксида углерода в качестве восстановителя показало, что восстановление никеля начинается при температуре 440 °С, при расходе восстановительного газа $\text{COг} = 0,3$ моль. А полное восстановление никеля достигается при расходе восстановителя 1,1 моль при температуре 900 °С, (рисунок 2). Процесс восстановления железа также начинается при 440 °С.



А)



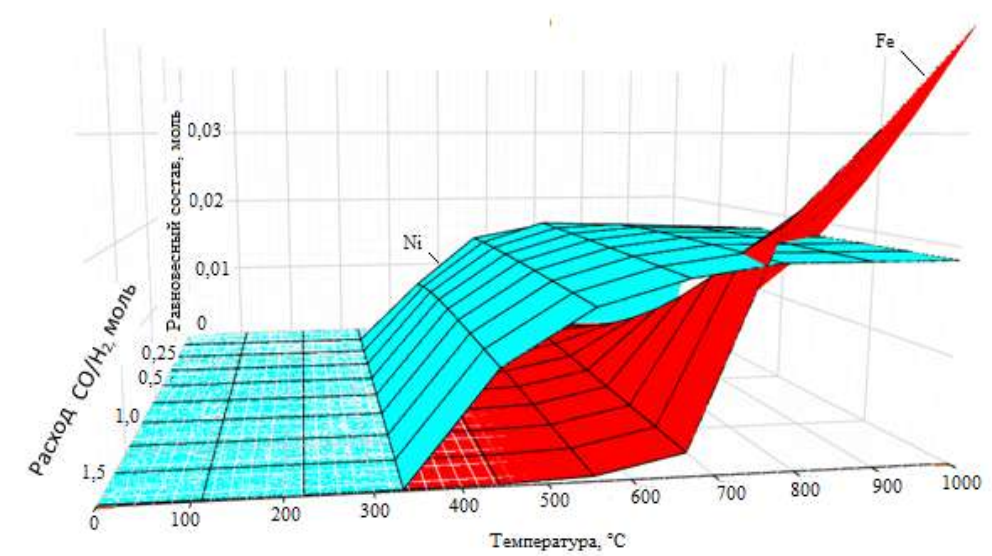
Б)

Рисунок 2 – Восстановление никелевой латеритной руды монооксидом углерода в интервале температур 0–1000 °C

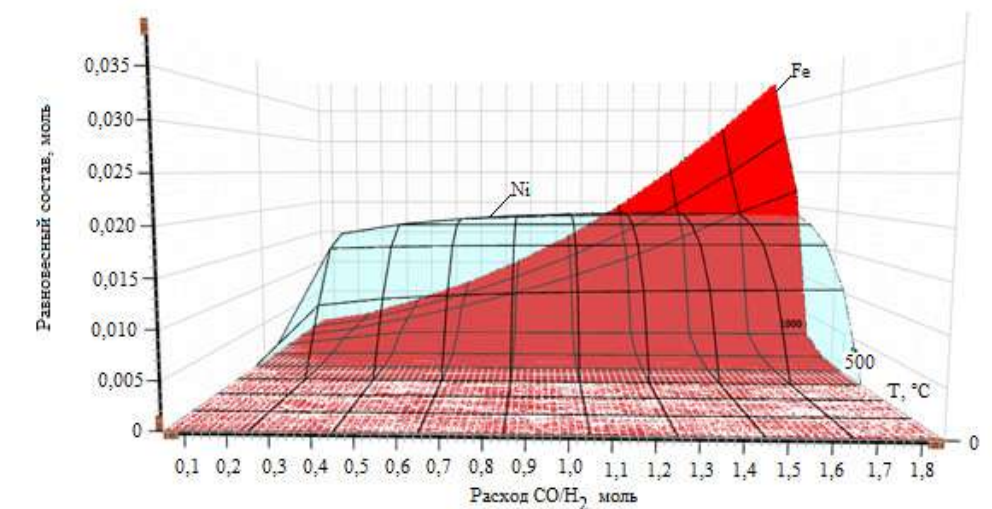
А) Зависимость равновесного состава от температуры

Б) Зависимость равновесного состава от расхода монооксида углерода

2) Использование смеси монооксида углерода и водорода (1:1) в качестве восстановителя позволило снизить температуру начала восстановления никеля до 340 °C при расходе $\text{CO}/\text{H}_2 = 0,44$ моль, а полное восстановление достигалось при 750 °C и расходе $\text{CO}/\text{H}_2 = 1,05$ моль (рисунок 3). Восстановление железа в этом случае начиналось при 440 °C.



А)



Б)

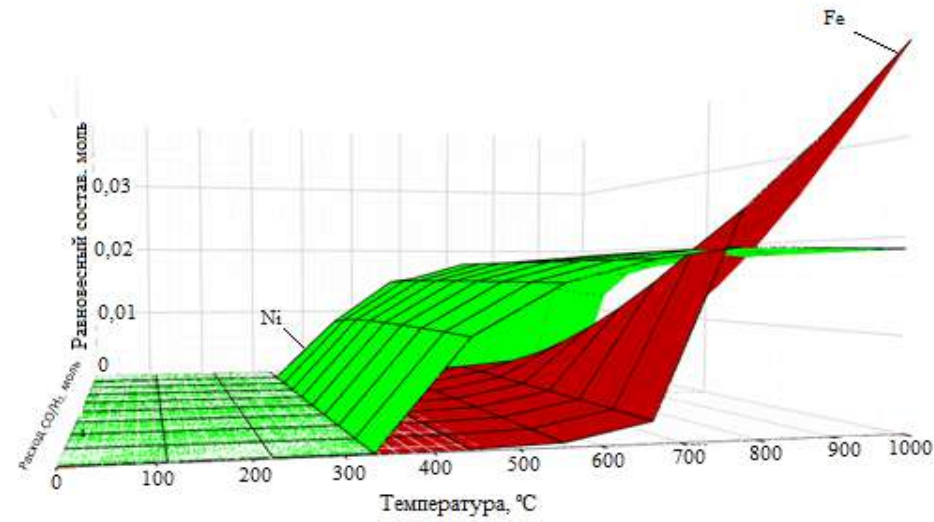
Рисунок 3 – Восстановление никелевой латеритной руды смесью монооксидом углерода и водорода в соотношении 1:1 в интервале температур 0-1000 °C

А) Зависимость равновесного состава от температуры

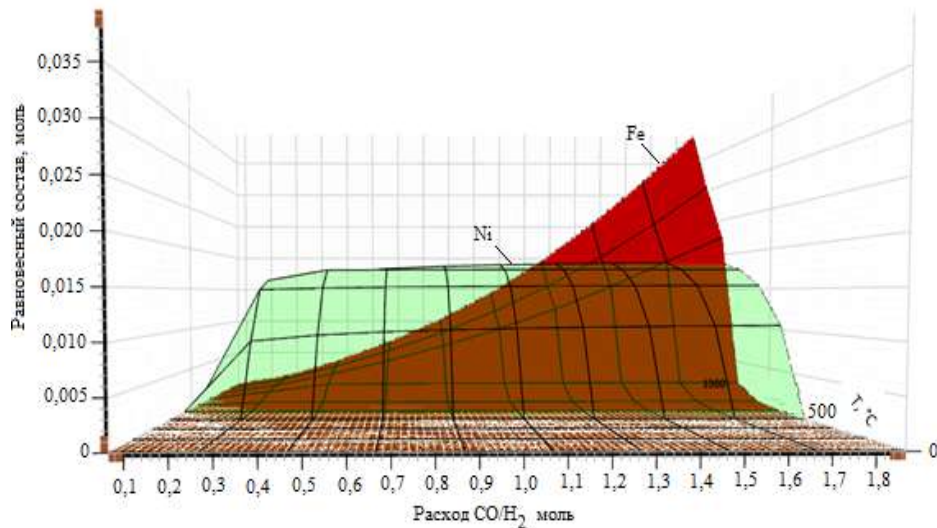
Б) Зависимость равновесного состава от расходов смеси монооксида углерода и водорода (1:1)

3) В исследовании с восстановительной смесью монооксида углерода и водорода в соотношениях (1:2) (рисунок 4) и (1:3) (рисунок 5) восстановление никеля началось при 340 °C и завершилось при 750 °C с расходом восстановителей 1,08 моль. Стоит отметить, что значительное восстановление никеля наблюдалось

уже при расходе 0,46 моль смеси. Восстановление железа, как и в предыдущих исследованиях, началось при 440 °С.



А)



Б)

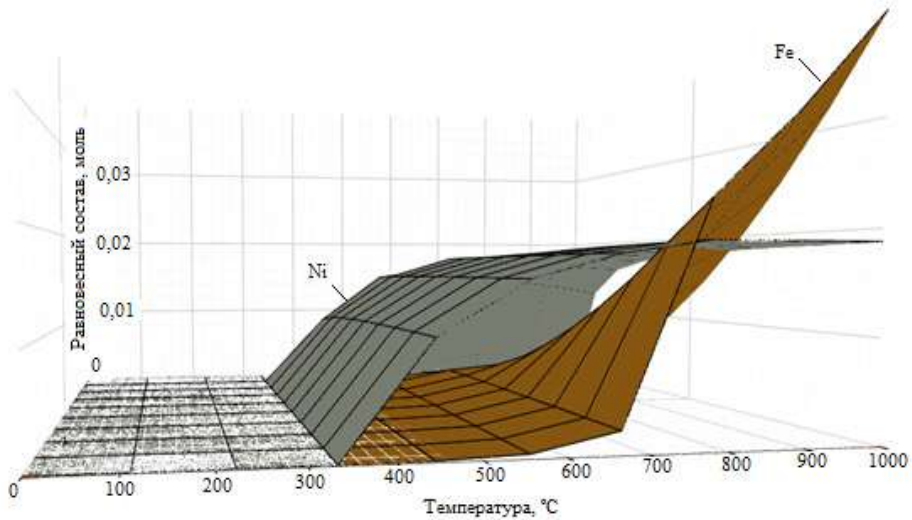
Рисунок 4 – Восстановление никелевой латеритной руды смесью монооксидом углерода и водорода в соотношении 1:2 в интервале температур 0-1000 °С

А) Зависимость равновесного состава от температуры

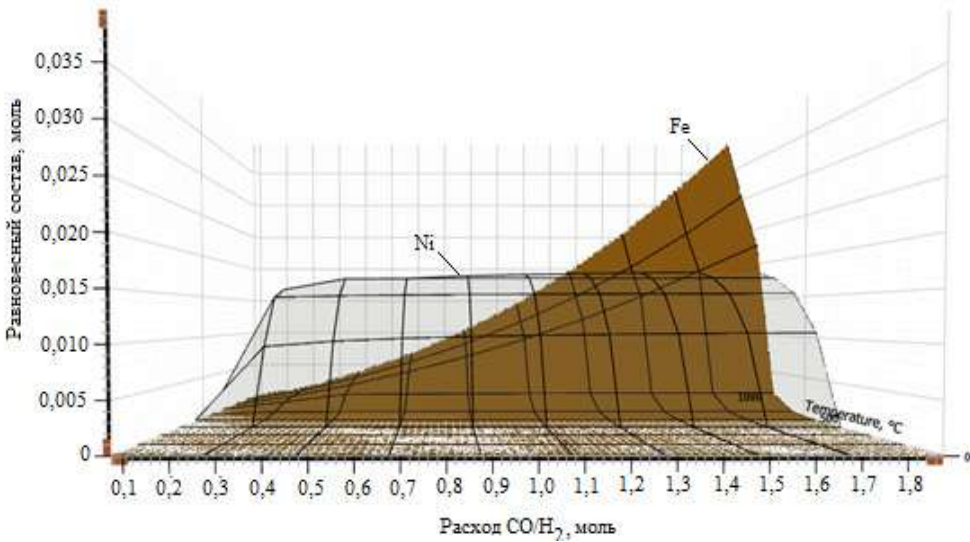
Б) Зависимость равновесного состава от расходов смеси монооксида углерода и водорода (1:2)

Оба исследования демонстрируют схожие особенности процесса восстановления никеля и железа, что указывает на равную эффективность

использования восстановительных смесей $\text{CO} + \text{H}_2$ в соотношениях 1:2 и 1:3. Восстановительная смесь $\text{CO} + \text{H}_2$ в соотношении 1:2 является приемлемым выбором, так как обеспечивает эффективность процесса при минимальном расходе восстановителей и умеренной температуре полного восстановления.



А)



Б)

Рисунок 5 – Восстановление никелевой латеритной руды смесью монооксидом углерода и водорода в соотношении 1:3 в интервале температур 0–1000 °С

А) Зависимость равновесного состава от температуры

Б) Зависимость равновесного состава от расходов смеси монооксида углерода и водорода (1:3)

Таким образом, рост концентрации водорода в соотношении с монооксидом углерода 1:3 не дало существенных изменений с точки зрения термодинамических характеристик. Восстановительную смесь $\text{CO} + \text{H}_2$ в соотношении 1:2 можно считать оптимальным с точки зрения баланса между эффективностью восстановления и экономическими параметрами процесса.

Выводы

В результате проведенного исследования теоретически подтверждена возможность восстановления латеритной никелевой руды месторождения «Батамша» с использованием монооксида углерода и его смеси с водородом в различных соотношениях. Исследование процесса восстановления никеля из латеритной руды с использованием монооксида углерода (CO) и водородсодержащих восстановительных смесей ($\text{CO} + \text{H}_2$) показало, что добавление водорода существенно снижает как температуру начала (с 440 до 340 °C), так и температуру полного восстановления никеля (с 900 до 750 °C). Повышенная реакционная способность водорода способствует значительному увеличению степени конверсии руды в металлический никель при относительно низких температурах. Восстановление железа во всех экспериментах начиналось при 440 °C, что указывает на селективное восстановление никеля при применении смесей CO с водородом. В связи с этим, водород может избирательно восстанавливать никель, минимизируя потери металла в процессе восстановления. Восстановительную смесь $\text{CO} + \text{H}_2$ в соотношении 1:2 можно считать оптимальным с точки зрения баланса между эффективностью восстановления и экономическими параметрами процесса.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках финансирования научных проектов на 2024–2026 годы Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант. ИРН AP23489015 Исследование процесса восстановления оксидов никеля водородным газом из отечественных никелевых руд).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бугельский, Ю. Ю., Витовская, И. В., Никитина, А. П. Экзогенные рудообразующие системы коры выветривания. – М. : Наука, 1990. 244 с.
- 2 Булах, А. Г., Кривовичев, В. Г., Золотарев, А. А. Общая минералогия. – М. : Академия, 2008. 416 с.
- 3 Пахомов, Р. А., Старых, Р. В. Предварительное восстановление окисленных никелевых руд // Металлы. – 2014. – № 6. – С. 3–11.
- 4 Wang, X., Sun, T., Chen, C., Hu, T. Current studies of treating processes for nickel laterite ores // 2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology – 2017. – P. 139–152.
- 5 Chen, S., Guo, S., Jiang, L., Xu, Y., Ding, W. Thermodynamic of selective reduction of laterite ore by reducing gases // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). – 2015. – Vol. 25. – № 9. – P. 3133–3138. – [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63943-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63943-7).

of China (English Edition). – 2015. – Vol. 25. – № 9. – P. 3133–3138. – [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63943-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63943-7).

6 Elliott, R., Pickles, C.A., Forster, J. Thermodynamic of the reduction roasting of nickeliferous laterite ore // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2016. – Vol. 4. – P. 320–346.

7 Elliott, R., Pickles, C. A. Thermodynamic Analysis of the Selective Reduction of a Nickeliferous Limonitic Laterite Ore by Hydrogen / High Temp. Mater. Proc. – 2017; 36(8): P. 835–846. – <https://doi.org/10.1515/htmp-2015-0208>.

8 Вусихис, А. С., Леонтьев, Л. И., Селиванов, Е. Н., Сергеева, С. В., Тюшняков, С. Н. Термодинамическое моделирование восстановления железа и никеля из оксидных расплавов. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2021. – Том 64, № 3. – <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-205-210>.

9 Агеев, Н. Г., Набойченко, С. С. Металлургические расчеты с использованием пакета прикладных программ HSC Chemistry: учеб. пособие – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 124 с.

10 Ключников, А. М., Мальцев, Г. И. Термодинамика и кинетика пирометаллургии никелевых и медных руд: монография. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 128 с. – ISBN 978-5-9729-1492-0.

REFERENCES

- 1 Bugelsky, Yu. Yu., Vitovskaya, I. V., Nikitina, A. P. Ekzogennye rudoobrazuyushchie sistemy kory vyvetrivaniya [Exogenous ore-forming systems of the weathering crust] [Text]. – M. : Nauka, 1990. – 244 p.
- 2 Bulakh, A. G., Krivovichev, V. G., Zolotarev, A. A. Obshchaya mineralogiya [General mineralogy] [Text]. – M. : Academy, 2008. 416 p.
- 3 Pakhomov, R.A., Starykh, R.V. Predvaritel'noe vosstanovlenie okislennykh nikelevykh rud [Preliminary reduction of oxidized nickel ores] [Text] // Metals. – 2014. № 6. – P. 3–11.
- 4 Wang, X., Sun, T., Chen, C., Hu, T. Current studies of treating processes for nickel laterite ores // 2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology – 2017. P. 139–152.
- 5 Chen, S., Guo, S., Jiang, L., Xu, Y., Ding, W. Thermodynamic of selective reduction of laterite ore by reducing gases // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). – 2015. – Vol. 25. – № 9. – P. 3133–3138. – [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63943-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63943-7).
- 6 Elliott, R., Pickles, C.A., Forster, J. Thermodynamic of the reduction roasting of nickeliferous laterite ore // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2016. – Vol. 4. – P. 320–346.
- 7 Elliott, R., Pickles, C. A. Thermodynamic Analysis of the Selective Reduction of a Nickeliferous Limonitic Laterite Ore by Hydrogen / High Temp. Mater. Proc. – 2017. –36(8): P. 835–846. – <https://doi.org/10.1515/htmp-2015-0208>.

8 **Vusikhis, A. S., Leontiev, L. I., Selivanov, E. N., Sergeeva, S. V., Tyushnyakov, S. N.** Termodinamicheskoe modelirovanie vosstanovleniya zheleza i nikelia iz oksidnykh rasplavov [Thermodynamic modeling of iron and nickel reduction from oxide melts] [Text] News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy. – 2021. Volume 64. – № 3. – <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-205-210>.

9 **Ageev, N. G., Naboichenko, S. S.** Metallurgicheskie raschety s ispol'zovaniem paketa prikladnykh programm HSC Chemistry [Metallurgical calculations using the HSC Chemistry application software package] [Text]: textbook – S.Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2016. – 124 p.

10 **Klyushnikov, A.M., Maltsev, G. I.** Termodinamika i kinetika pirometallurgii nikel'evykh i mednykh rud [Thermodynamics and kinetics of pyrometallurgy of nickel and copper ores] [Text]: monograph. – M.: Infra-Engineering, 2023. – 128 p. – ISBN 978-5-9729-1492-0.

Поступило в редакцию 02.12.24.

Поступило с исправлениями 10.01.25.

Принято в печать 19.02.2025.

***А. А. Абілберікова¹, Д. А. Есенғалиев², Е. Қ. Қуатбай³,**

Б. С. Келаманов⁴, К. Бензесик⁵

^{1,3}Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

^{2,4}Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

⁵Стамбұл техникалық университеті, Түркия, Стамбұл қ.

02.12.24 ж. баспаға түсті.

10.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

19.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

«БАТАМША» КЕН ОРНЫНЫҢ ЛАТЕРИТТІ НИКЕЛЬ КЕНІНІҢ ГАЗ ТӘРІЗДЕС ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШТАРМЕН ТОТЫҚСЫЗДАНУЫН «HSC CHEMISTRY 10» БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНІНДЕ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл мақалада «Батамша» кен орнының никельді латеритті кенін төмен температурада қатты фазалық тотықсыздандыру үдерісін модельдеу жүргізілген. Никель кенінің фазалық құрамы рентгенфазалық талдау арқылы анықталды: 1,43% NiO; 5,2% Fe₂O₃; 9,4% Fe₃O₄; 6% FeO·OH; 5,4% Fe₂SiO₄; 0,27% FeS; 4,2% MgSiO₃; 12,4% Mg₃Si₂O₅(OH)₄; 35,1% CaAl₂Si₂O₈; 17,8% SiO₂; 2,8% CaCO₃. Алынған деректер «HSC Chemistry 10» бағдарламалық кешенін пайдалана отырып, кендегі тотықты қосылыстарды тотықсыздандыру реакциясына қатысатын компоненттердің мольдік мөлшерін анықтау үшін қажетті никель кенінің молярлық құрамын есептеу үшін қолданылды. Тотықсыздану үдерісінің термодинамикасы HSC Chemistry 10 бағдарламасындағы Equilibrium Composition модулінде зерттелді. Бұл модульде есептеулер өзара әрекеттесуші фазалардың тепе-

теңдік құрамын анықтауға мүмкіндік беретін Гиббс еркін энергиясының минимизациялау әдісімен жүргізіледі. Никельді латеритті кенді көміртегі монооксидімен және оның сутегімен (1:1), (1:2) және (1:3) қатынастағы қоспаларымен тотықсыздандыру үдерістері зерттелді. Көміртегі монооксидін тотықсыздандыргыш ретінде пайдалану зерттеуі никельдің тотықсыздануы 440 °C температурада басталып, толық тотықсыздануы 900 °C температурада 1,1 моль тотықсыздандыргыш шығынымен жүзеге асатынын көрсетті. Сутегіні СО-ға қосу никель тотықсыздануының басталу және толық тотықсыздану температурасын едәуір төмендететіні анықталды (440/900 °C-тан 340/750 °C-қа дейін), сонымен қатар қажетті тотықсыздандыргыштың шығыны азайды. Барлық зерттеулерде темірдің тотықсыздануы 400 °C температурада басталған, бұл СО мен сутегі қоспаларын қолданғанда никельдің селективті тотықсызданатынын көрсетеді. 1:2 қатынасындағы СО+Н₂ тотықсыздандыргыш қоспасын тотықсыздандыру тиімділігі мен үдерістің экономикалық параметрлері арасындағы тепе-теңдік тұрғысынан оңтайлы деп санауға болады. Алынған нәтижелер латеритті кендерден никельді тиімді түрде алу үдерісін жақсарту үшін сутегі бар тотықсыздандыргыш қоспаларын қолданудың перспективасын нақтылайды. Дегенмен, қоспаның оңтайлы құрамы кеннің ерекше сипаттамалары мен технологиялық жағдайларға байланысты болады.

Кілтті сөздер: латеритті никель кені, төмен-температурада селективті тотықсыздандыру, сутегі, көміртегі тотығы, тотықсыздануды модельдеу

***А. А. Abilberikova¹, D. A. Yessengaliyev², Ye. K. Kuatbay³,**

B. S. Kelamanov⁴, K. Benzesik⁵

^{1,3}Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau

^{2,4}Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe

⁵Istanbul Technical University, Turkey, Istanbul

Received 02.12.24.

Received in revised form 10.01.25.

Accepted for publication 19.02.25.

MODELING THE REDUCTION OF LATERITIC NICKEL ORE FROM THE «BATAMSHA» DEPOSIT USING GASEOUS REDUCERS IN THE «HSC CHEMISTRY 10» SOFTWARE PACKAGE

The article presents a simulation of the low-temperature solid-phase reduction process of nickel laterite ore from the «Batamsha» deposit using the «HSC Chemistry 10» software package. X-ray phase analysis determined the phase composition of the nickel ore: 1.43% NiO, 5.2% Fe₂O₃, 9.4% Fe₃O₄, 6% FeO·OH, 5.4% Fe₂SiO₄, 0.27% FeS, 4.2% MgSiO₃, 12.4% Mg₃Si₂O₅(OH)₄, 35.1% CaAl₂Si₂O₈, 17.8% SiO₂, and 2.8% CaCO₃. The obtained data were used to calculate the molar composition of the nickel ore, necessary for determining the number of moles of components involved in the reduction reactions of oxide compounds in the ore, utilizing the “HSC Chemistry 10” software package. The thermodynamics of the reduction process was

studied using the Equilibrium Composition module, which calculates the equilibrium compositions of interacting phases based on the Gibbs free energy minimization method. The reduction of nickel laterite ore was investigated using carbon monoxide and its mixtures with hydrogen in ratios of (1:1), (1:2), and (1:3). The study using carbon monoxide as a reducing agent showed that nickel reduction begins at 440 °C, with complete reduction achieved at a reductant consumption of 1.1 moles at a temperature of 900 °C. The research demonstrated that adding hydrogen to CO significantly lowers the reduction onset and complete reduction temperatures of nickel (from 440/900 °C to 340/700 °C) as well as the required reductant consumption. In all experiments, iron reduction began at 440 °C, indicating selective nickel reduction when using CO-hydrogen mixtures. The CO+H₂ reducing mixture in a 1:2 ratio can be considered optimal in terms of balancing reduction efficiency and economic process parameters. The obtained results indicate the potential of using hydrogen-containing reducing mixtures to improve the efficiency of nickel extraction from laterite ores. However, the optimal mixture composition depends on the specific characteristics of the ore and technological conditions.

Keywords: lateritic nickel ore, low-temperature selective reduction, hydrogen, carbon monoxide, modeling of reduction.

МРНТИ 58.33.09

<https://doi.org/10.48081/FHYS5327>***А. С. Арбуз¹, А. Б. Найзабеков², Ф. Е. Попов³, Н. А. Лутченко⁴**^{1,3,4}Назарбаев Университет, Республика Казахстан, г. Астана²Рудненский Индустриальный Институт, Республика Казахстан, г. Рудный¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2081-0612>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8517-3482>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1204-9982>⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0283-4642>*e-mail: arbuz.alexandr@gmail.com

АНАЛИЗ УСТРАНЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

В настоящем изучено возможность устранения литейных дефектов методом равноканального углового прессования (РКУП) применительно к циркониевому сплаву Э110, используемому в качестве конструкционного материала в ядерной энергетике. Для имитации крупного литейного дефекта было создано сквозное отверстие диаметром 5 мм на боковой поверхности заготовки. В ходе исследования использовалось два метода компьютерное моделирование процесса РКУП в программе Deform 3D и физический эксперимент с реальными образцами. В результате проведения компьютерного моделирования методом конечных элементов были получены симуляции процесса для трех случаев прессования с разными углами стыка каналов: 45°, 90°, 135°. Изучены закономерности течения металла в матрице и процесс закрытия дефекта. Для схемы с самым большим углом стыка канала (135°) проведен реальный эксперимент. В результате удалось добиться почти полного закрытия дефекта, оставив лишь остаточную трещину размером 25 мкм после двух проходов через матрицу РКУП. Наличие остаточной трещины указывает на необходимость оптимизации технологических параметров для повышения эффективности процесса. Увеличение числа проходов или использование матриц с меньшими углами пересечения каналов может способствовать полному закрытию дефектов. В целом проведенное исследование подтвердило эффективность метода РКУП для устранения литейных дефектов в циркониевом сплаве Э110.

Ключевые слова: циркониевый сплав, равноканальное угловое прессование, закрытие дефектов, математическое моделирование, ядерная энергетика.

Введение

Современная ядерная энергетика предъявляет высокие требования к качеству деталей ядерных реакторов, особенно топливных сборок из циркониевых сплавов [1]. Заглушки ТВЭЛов являются одними из наиболее ответственных элементов, требующих использования исключительно бездефектных частей

слитка [2]. Однако существующие технологии обработки циркониевых слитков не позволяют эффективно устранять внутренние литейные дефекты, такие как поры и микротрещины [3]. Эти дефекты могут существенно снизить механические свойства материала и привести к аварийным ситуациям в ядерных реакторах [4].

Традиционные методы пластической деформации, такие как прокатка [5] и ковка [6], имеют ограниченные возможности по закрытию внутренних дефектов. При прокатке наибольшая степень деформации концентрируется в поверхностных слоях, тогда как центральная зона испытывает значительно меньшие напряжения, что снижает эффективность устранения дефектов в сердцевине слитка [7]. Ковка позволяет достичь более высокой степени деформации, но может привести к неравномерному воздействию на материал и вызвать новые дефекты, такие как трещины, при недостаточном контроле процесса [8]. Кроме того, высокие температуры при горячей прокатке и ковке способствуют росту зерен и снижению плотности дислокационной структуры, что негативно сказывается на прочностных характеристиках готового изделия [9].

Для решения этих проблем перспективно применение методов интенсивной пластической деформации (ИПД) [10], таких как равноканальное угловое прессование (РКУП) [11]. ИПД позволяет существенно измельчить зеренную структуру материала, повышая прочность, твердость и износостойкость без значительного снижения пластичности [12]. Высокие сдвиговые деформации при РКУП способствуют не только измельчению зерен, но и эффективному закрытию литейных пор и микротрещин [13]. Однако способность РКУП устранять внутренние дефекты до сих пор остается недостаточно изученной областью, особенно в контексте циркониевых сплавов [14].

В настоящей работе мы исследуем возможность закрытия литейных дефектов при применении РКУП на циркониевых сплавах. С использованием метода конечных элементов анализируется течение металла в матрице во время РКУП, что позволит определить оптимальные параметры процесса для эффективного устранения дефектов.

Материалы и методы

Основной целью исследования было изучение условий закрытия дефекта диаметром 5 мм в циркониевом сплаве методом равноканального углового прессования (РКУП). Для этого применили два подхода: компьютерное моделирование процесса РКУП в программе Deform 3D и физический эксперимент с реальными образцами.

Для исследования использовались заготовки из циркониевого сплава марки Э110. Заготовки имели размеры $30 \times 20 \times 50$ мм. На боковой поверхности каждой заготовки создавали сквозное отверстие диаметром 5 мм, имитирующее крупный литейный дефект, расположенный перпендикулярно продольной оси. Такое расположение усложняло условия закрытия дефекта при деформации и позволяло оценить эффективность метода РКУП для устранения подобных дефектов.

Моделирование процесса РКУП проводилось в программе Deform 3D для заготовок с описанным дефектом. Использовали матрицы с углами стыка каналов 45° , 90° и 135° , имеющие каналы сечением 30×24 мм (рисунок 1).

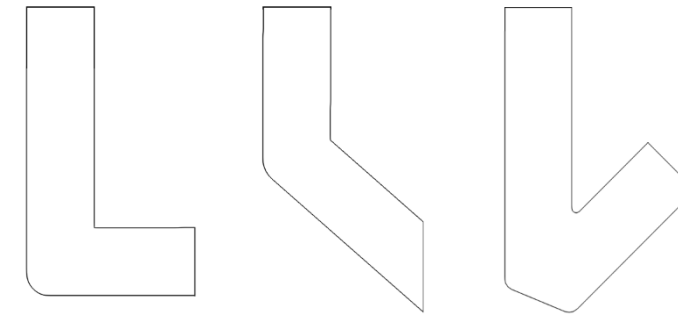


Рисунок 1 – Конфигурация стыка каналов в матрицах:
а – 90° ; б – 135° ; в – 45° .

Начальная температура заготовок составляла 530°C , температура матрицы – 200°C для улучшения формовости.

Для экспериментальной проверки выбрали матрицу с углом стыка каналов 135° , как наиболее сложную с точки зрения закрытия дефекта. Матрица изготовлена из инструментальной стали, канал имел размеры 30×24 мм. Поверхности каналов отполированы и смазаны высокотемпературной графитовой смазкой для снижения трения и предотвращения заеданий.

Заготовки нагревали в электрической печи до 530°C в течение одного часа для равномерного прогрева. Матрицу предварительно нагревали до $\sim 200^\circ\text{C}$ бензиновой горелкой, контролируя температуру тепловизионной камерой. Это уменьшало температурный градиент между заготовкой и инструментом, снижая термические напряжения и вероятность образования трещин.

Для продвижения заготовок через матрицу использовали толкатели-заглушки из алюминиевого сплава размером $30 \times 24 \times 50$ мм. Прессование осуществляли на гидравлическом прессе с максимальным усилием 1500 кН; скорость деформации поддерживали в пределах 5–10 мм/с для обеспечения квазистатических условий и предотвращения быстрого охлаждения заготовки. Процесс эксперимента показан на рисунке 2.

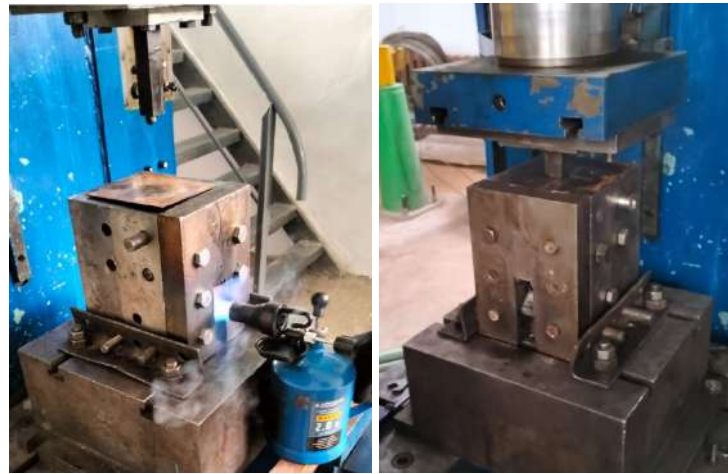


Рисунок 2 – Процесс эксперимента прессования

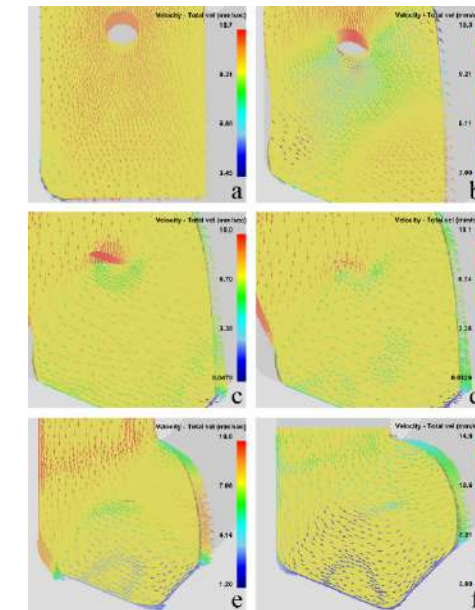
Эксперимент включал два последовательных прохода заготовки через матрицу. После первого прохода заготовку поворачивали на 180° вокруг продольной оси для более равномерного распределения накопленной деформации по объему. Затем заготовку вновь прессовали через матрицу, используя новый алюминиевый толкатель. Температуру матрицы и заготовки контролировали тепловизором для обеспечения стабильных условий деформации; осуществлялся визуальный контроль процесса для обнаружения возможных отклонений или дефектов. После двух проходов заготовки охлаждали на воздухе до комнатной температуры.

Математическое моделирование

Для анализа процесса закрытия сквозного дефекта наиболее рационально рассматривать картину скоростей течения металла в центральной зоне заготовки.

1) Модель с углом стыка каналов матрицы 45° . В модели с углом стыка каналов матрицы 45° изменение течения металла начинается при заполнении скругленного стыка (рисунок 3а), где возникает зона локального торможения и происходит резкое снижение скорости. Остальной объем заготовки испытывает незначительное боковое смещение в сторону свободной полости канала. После полного заполнения зоны скругления начинается распрессовка заготовки, и течение металла происходит в направлении, параллельном наклонной грани канала (рисунок 3б). В результате различий в скоростях течения внутри заготовки сквозное отверстие начинает сплющиваться, приобретая форму эллипса высотой около 4 мм.

При достижении заготовкой третьей грани канала (рисунок 3с) возникает новая зона локального торможения, что существенно замедляет течение металла в зоне пересечения каналов. Продолжающееся движение пуансона усиливает сжатие дефекта в центральной зоне, уменьшая его высоту сначала до 1,5 мм, а затем до 0,5 мм по мере заполнения металлом второй наклонной грани (рисунок 3д). На заключительном этапе деформирования—заполнении выходного канала—векторы течения металла начинают подниматься вверх (рисунок 3е), и дефект окончательно закрывается.

Рисунок 3 – Стадии закрытия сквозного дефекта в модели с углом стыка каналов матрицы 45°

2) Модель с углом стыка каналов матрицы 90° . В модели с углом стыка каналов матрицы 90° изменение течения металла также начинается при заполнении скругленного стыка (Рисунок 4а), где формируется зона локального торможения. После заполнения зоны скругления передний торец заготовки упирается в перпендикулярную стенку канала, за счет чего в объеме заготовки формируется большая зона векторного смещения скоростей, которая находится на диагональной линии стыка каналов под 45° . В результате сквозное отверстие начинает сплющиваться по высоте, приобретая форму эллипса высотой около 3 мм. После преодоления этой зоны металл меняет направление течения на 90° от начального (Рисунок 4б). Проходя линию раздела скоростей, отверстие получает совместное влияние как деформации сжатия от пуансона, так и деформации сдвига. В этот момент происходит интенсивное закрытие дефекта (Рисунок 4с-д). При выходе из транзитной зоны и получения направления течения параллельного выходному каналу, дефект окончательно закрывается (Рисунок 4е-ф).

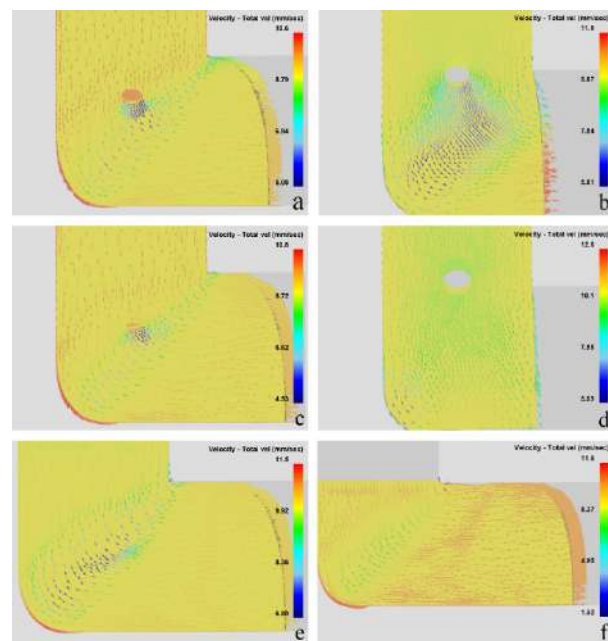


Рисунок 4 – Стадии закрытия сквозного дефекта в модели с углом стыка каналов матрицы 90°

3) Модель с углом стыка каналов матрицы 135° . В модели с углом стыка каналов матрицы 135° , как и в предыдущих моделях, изменение течения металла также начинается при заполнении скругленного стыка (Рисунок 5a), где формируется зона локального торможения. При этом практически сразу передний торец заготовки получает векторное смещение, параллельное выходному каналу из-за достаточно большого значения угла стыка каналов (Рисунок 5b). В момент выхода из зоны скругления и начала движения металла по наклонной стенке канала сквозное отверстие, как и в ранее рассмотренных моделях с меньшими углами стыка, начинает сплющиваться. Однако, из-за существенного снижения уровня противодавления степень сплющивания в данном случае незначительная. Наибольшая степень закрытия возникает при прохождении транзитной зоны, которая характеризуется диагональной линией, соединяющей противоположные углы в зоне стыка каналов (Рисунок 5c-d). После прохождения данной зоны дефект почти полностью закрывается, сплющиваясь до высоты 0,5-0,6 мм. В дальнейшем при движении в наклонном канале закрытие дефекта не происходит. Поэтому для полного закрытия был осуществлен второй цикл деформирования, после которого дефект окончательно закрылся (Рисунок 5e-f).

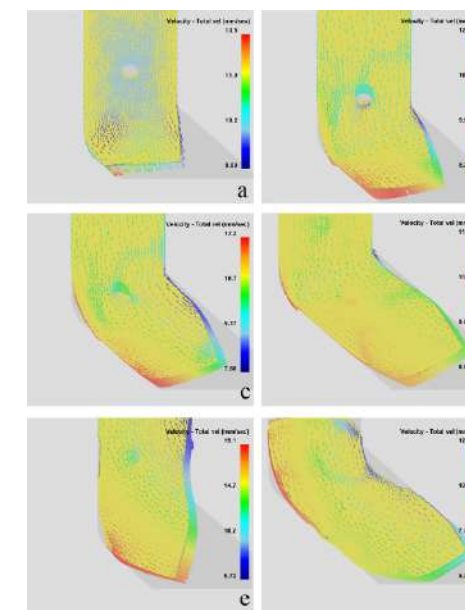


Рисунок 5 – Стадии закрытия сквозного дефекта в модели с углом стыка каналов матрицы 135°

Верификация модели физическим экспериментом

На основе результатов компьютерного моделирования было решено провести эксперимент для оценки эффективности метода РКУП в закрытии литейных дефектов. Моделирование показало, что уменьшение угла пересечения каналов матрицы с 135° до 90° и 45° увеличивает степень деформации, способствуя более эффективному закрытию дефектов. Поэтому для эксперимента выбрали матрицу с углом 135° , чтобы проверить метод в наименее благоприятных условиях.

Эксперимент проводился в два прохода, как показало моделирование. После прессования и последующего микроструктурного анализа с использованием сканирующей электронной микроскопии было установлено, что дефект успешно закрыт после двух проходов через матрицу с углом 135° . Внешний вид заготовки и эволюция закрытия дефекта представлены на рисунке 6.

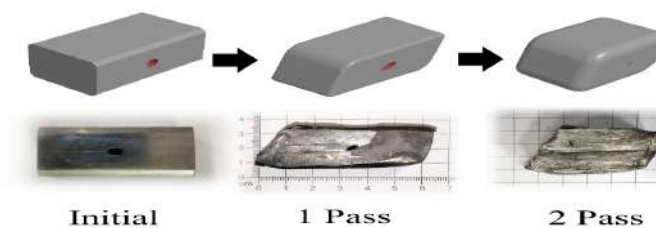


Рисунок 6 – Эволюция внешнего вида образцов в процессе прессования

Таким образом, применение матриц с меньшими углами пересечения каналов (90° и 45°), обеспечивающими более высокую степень деформации, должно привести к еще более эффективному закрытию дефектов. Это открывает новые

возможности для промышленного применения метода РКУП в улучшении структурных характеристик сплава Э110 и устранении литейных дефектов.

Результаты и обсуждение

После первого прохода через матрицу дефект подвергся лишь частичной деформации. Его форма изменилась: он сжался по вертикали и растянулся вдоль направления деформации, но края дефекта не соединились полностью. Сохранение значительной остаточной пустоты и несваренных участков объясняется недостаточной степенью накопленной деформации и напряжений в материале на этом этапе процесса.

На изображении, полученном с помощью сканирующей электронной микроскопии после второго прохода через матрицу, видно, что первоначальный крупный дефект был почти полностью устранён (рисунок 7). Однако на его месте осталась остаточная трещина шириной от 10 до 25 мкм. Эта трещина протягивается вдоль всей длины зоны бывшего дефекта, что указывает на неполное завершение процесса заваривания. Второй проход через матрицу привёл к активному сближению краёв дефекта благодаря более интенсивной пластической деформации. Под действием накопленных напряжений и повышенных температур произошло частичное сваривание краёв дефекта, что существенно уменьшило его размеры. Однако наличие остаточной трещины шириной 10–25 мкм свидетельствует о локализованных напряжениях и трудностях полного закрытия дефектов подобного размера исключительно за счёт пластической деформации. Вероятно, оставшаяся трещина является следствием микроскопического несовпадения краёв дефекта или локальных неоднородностей в свойствах металла.

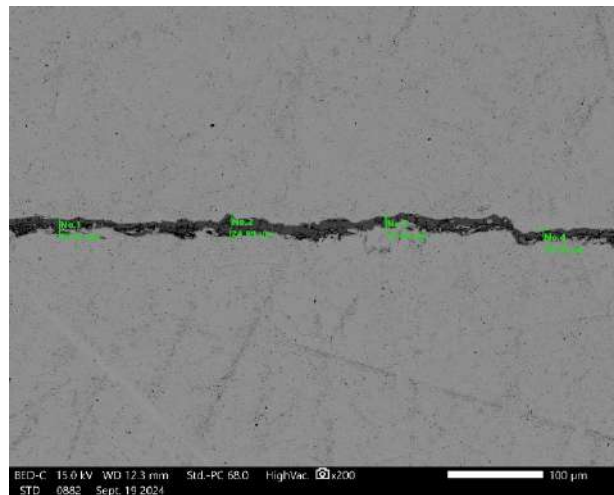


Рисунок 7 – Остаточная трещина после двух проходов прессования

Присутствие этой остаточной трещины указывает на то, что для полного устранения подобных дефектов в циркониевых сплавах может потребоваться дополнительная термическая обработка для релаксации остаточных напряжений. Альтернативно, можно изменить параметры деформации, например увеличить

число проходов или использовать матрицу с меньшим углом пересечения каналов для повышения интенсивности деформации. Несмотря на это, даже при текущих параметрах процесса размер трещины был значительно уменьшен по сравнению с исходным диаметром дефекта, что демонстрирует высокую эффективность метода РКУП для решения подобных задач. На основании полученных данных рекомендуется проводить не менее трёх проходов для полного заваривания крупных дефектов.

В целом, проведённый анализ показывает, что два прохода через матрицу с углом 135° значительно уменьшают размеры первоначальных дефектов в циркониевых сплавах, хотя полного их устранения не достигается. Наличие остаточной трещины указывает на необходимость оптимизации технологических параметров для повышения эффективности процесса. Увеличение числа проходов или использование матриц с меньшими углами пересечения каналов (что повышает эквивалентную степень деформации) может способствовать полному закрытию дефектов.

Кроме того, дополнительная термическая обработка после деформации может помочь в релаксации остаточных напряжений и завершении процессов сваривания на микроструктурном уровне. Такие меры позволят улучшить структурную целостность циркониевых сплавов и расширить возможности их применения в критических областях, где требуются высокие эксплуатационные характеристики.

Таким образом, метод РКУП демонстрирует высокий потенциал для эффективного устранения литейных дефектов в циркониевых сплавах. Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть направлены на оптимизацию параметров процесса и изучение влияния дополнительных технологических операций на качество получаемого материала.

Информация о финансировании (при наличии)

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан - грант № AP14871811 «Исследования и разработка новой технологии производства высококачественных заглушек твэлов из некондиционных частей слитков для ядерной энергетики».

Выводы

Проведенное исследование подтвердило эффективность метода РКУП для устранения литейных дефектов в циркониевом сплаве Э110. Используя компьютерное моделирование и физический эксперимент, удалось практически полностью закрыть дефект диаметром 5 мм после двух проходов через матрицу с углом стыка каналов 135° , оставив лишь минимальную остаточную трещину шириной 10–25 мкм. Это демонстрирует высокий потенциал метода РКУП в улучшении структурной целостности материала даже при минимальных параметрах деформации.

Для полного устранения дефектов рекомендуется увеличить число проходов или использовать матрицы с меньшим углом стыка каналов, что повысит интенсивность деформации и способствует полному свариванию краев дефекта. Улучшение микроструктуры и механических свойств сплава Э110 расширяет

его применение в ядерной энергетике и других критически важных областях. Дальнейшие исследования необходимы для оптимизации параметров процесса РКУП и повышения его эффективности, включая изучение влияния числа проходов, угла стыка каналов, скорости деформации и температуры процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Mansur, L.K., Rowcliffe, A.F., Nanstad, R.K., Zinkle, S.J., Corwin, W.R., Stoller, R.E.** Materials needs for fusion, Generation IV fission reactors and spallation neutron sources – similarities and differences [Текст] // Journal of Nuclear Materials. – 2004. – Т. 329–333. – С. 166–172.
- 2 **Zinkle, S. J., Was, G. S.** Materials challenges in nuclear energy [Текст] // Acta Materialia. – 2013. – Т. 61. – С. 735–758.
- 3 **Lemaignan, C., Motta, A. T.** Zirconium Alloys in Nuclear Applications [Текст] // В кн.: Cahn, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J. (ред.) Materials Science and Technology. – Wiley, 2006.
- 4 **Tenckhoff, E.** Review of Deformation Mechanisms, Texture, and Mechanical Anisotropy in Zirconium and Zirconium Base Alloys [Текст] // J. ASTM Int. – 2005. – Т. 2. – С. 12945.
- 5 **Jardy, A., Leclerc, F., Revil-Baudard, M., Guerin, P., Combeau, H., Rebeyrolle, V.** Segregation in Vacuum Arc Remelted Zirconium Alloy Ingots [Текст] // Journal of ASTM International. – 2010. – Т. 7. – С. 1–17.
- 6 **Saxena, K.K., Pancholi, V.** Zr–Nb Alloys and Its Hot Deformation Analysis Approaches [Текст] // Met. Mater. Int. – 2021. – Т. 27. – С. 2106–2133.
- 7 **Dyja, H., Kawalek, A., Ozhmegov, K., Sawicki, S.** The Thermomechanical Conditions Of Open Die Forging Of Zirconium Alloy Ingots Determined By Rheological Tests [Текст] – 2020. – Т. 59. – С. 39–42.
- 8 **Hosford, W. F., Caddell, R. M.** Metal Forming: Mechanics and Metallurgy [Текст]. – 3-е изд. – 2007.
- 9 **Chen, F., Zhao, X., Chen, H., Ren, J.** Void closure behavior during plastic deformation using the representative volume element model [Текст] // Appl. Phys. A. – 2020. – Т. 126. – С. 685.
- 10 **Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K., Alexandrov, I. V.** Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation [Текст] // Progress in Materials Science. – 2000. – Т. 45. – С. 103–189.
- 11 **Segal, V. M.** Materials processing by simple shear [Текст] // Materials Science and Engineering: A. – 1995. – Т. 197. – С. 157–164.
- 12 **Valiev, R. Z., Krasilnikov, N. A., Tsenev, N. K.** Plastic deformation of alloys with submicron-grained structure [Текст] // Materials Science and Engineering: A. – 1991. – Т. 137. – С. 35–40.
- 13 **Faraji, G., Torabzadeh, H.** An Overview on the Continuous Severe Plastic Deformation Methods [Текст] // Mater. Trans. – 2019. – Т. 60. – С. 1316–1330.

14 **Edalati, K., Bachmaier, A., Beloshenko, V.A., и др.** Nanomaterials by severe plastic deformation: review of historical developments and recent advances [Текст] // Materials Research Letters. – 2022. – Т. 10. – С. 163–256.

Поступило в редакцию 17.10.24.

Поступило с исправлениями 17.10.24.

Принято в печать 13.12.24.

***А. С. Арбуз¹, А. Б. Найзабеков², Ф. Е. Попов³, Н. А. Лутченко⁴**

^{1,3,4}Назарбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Рудный Индустриялық Институты, Қазақстан Республикасы, Рудный қ.

17.10.24 ж. баспаға түсті.

17.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

13.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТЕҢ АРНАЛЫ БҰРЫШТЫҚ ПРЕСТЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЦИРКОНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ ҚҰЮ АҚАУЛАРЫН ЖОЮДЫ ТАЛДАУ

Осы ретте атом энергетикасында құрылымдық материал ретінде пайдаланылатын э110 цирконий қорытпасына қатысты тең арналы бұрыштық престеу (РКУП) әдісімен құю ақауларын жою мүмкіндігі зерделенді. Үлкен құю ақауын имитациялау үшін дайындаманың бүйір бетінде диаметрі 5 мм тесік жасалды. Зерттеу барысында екі әдіс қолданылды Deform 3D бағдарламасында РКУП процесін компьютерлік модельдеу және нақты үлгілермен физикалық эксперимент. Соңғы элементтер әдісімен компьютерлік модельдеуді жүргізу нәтижесінде арналардың түйісуінің әртүрлі бұрыштары бар үш престеу жағдайы үшін процесті модельдеу алынды: 45°, 90°, 135°. Матрицадағы металл ағынының заңдылықтары және ақаудың жабылу процесі зерттелді. Арнаның ең үлкен түйісу бұрышы (135°) схемасы үшін нақты эксперимент жүргізілді. Нәтижесінде ақаудың толық жабылуына қол жеткізілді, тек РКУП матрицасы арқылы екі өткеннен кейін 25 мкм қалдық жарықшақ қалды. Қалдық жарықшақтың болуы процестің тиімділігін арттыру үшін технологиялық параметрлерді оңтайландыру қажеттілігін көрсетеді. Өту санын көбейту немесе арналардың қиылысу бұрыштары аз матрицаларды пайдалану ақаулардың толық жабылуына ықпал етуі мүмкін. Жалпы, жүргізілген зерттеу э110 цирконий қорытпасындағы құю ақауларын жою үшін РКУП әдісінің тиімділігін растады.

Кілтті сөздер: цирконий қорытпасы, тең арналы бұрыштық басу, ақауларды жабу, математикалық модельдеу, ядролық энергия.

*A. S. Arbuz¹, A. B. Naizabekov², F. E. Popov³, N. A. Lutchenko⁴^{1,3,4}Nazarbayev University, Republic of Kazakhstan, Astana²Rudny Industrial Institute, Republic of Kazakhstan, Rudny

Received 17.10.24.

Received in revised form 17.10.24.

Accepted for publication 13.12.24.

ANALYSIS OF ELIMINATION OF CASTING DEFECTS IN ZIRCONIUM ALLOYS USING EQUAL-CHANNEL ANGULAR PRESSING.

In the present study, the possibility of eliminating casting defects by the method of equal-channel angular compression (ECAP) in relation to zirconium alloy E110, used as a structural material in nuclear power engineering. To simulate a large casting defect, a through hole with a diameter of 5 mm was created on the side surface of the workpiece. Two methods were used in the course of the study: computer simulation of the ECAP process in the Deform 3D program and a physical experiment with real samples. As a result of computer simulation using the finite element method, process simulations were obtained for three pressing cases with different channel junction angles: 45°, 90°, 135°. The patterns of metal flow in the matrix and the process of defect closure are studied. A real experiment was carried out for the circuit with the largest channel junction angle (135°). As a result, it was possible to achieve almost complete closure of the defect, leaving only a residual crack of 25 microns in size after two passes through the ECAP matrix. The presence of a residual crack indicates the need to optimize the technological parameters to increase the efficiency of the process. An increase in the number of passes or the use of matrices with smaller channel intersection angles can contribute to the complete closure of defects. In general, the study confirmed the effectiveness of the RCUP method for eliminating casting defects in zirconium alloy E110.

Keywords: zirconium alloy, equal-channel angular pressing, defect closure, mathematical modeling, nuclear power.

МРНТИ 53.01.05

<https://doi.org/10.48081/WLJE5161>**С. К. Аринова¹, *А. Е. Алтынова²**

КарТУ им. Абылқаса Сағинова, Республика Казахстан, г. Караганда

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1977-8157>²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9276-4531>*e-mail: aasemaa@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Статья посвящена исследованию использования техногенных отходов, таких как шлаки электросталеплавильного производства и шламовые материалы, для создания огнеупорных изделий, которые соответствуют требованиям ГОСТ 390-96. Основой исследования является применение водной керамической вяжущей суспензии, которая содержит микрокремнеземистую пыль, активированную в щелочной среде. Важным аспектом работы является добавление саморассыпающегося шлака, что способствует повышению термостойкости материалов.

Одной из особенностей предложенной технологии является отсутствие этапа обжига, что снижает энергоёмкость производства. Вместо обжига изделия подвергаются двухступенчатой сушке. В процессе исследования использованы отходы вскрышных пород для улучшения пластичности шихты, что помогает снизить затраты и повысить эколого-экономическую эффективность процесса. Применение таких отходов также способствует решению проблемы утилизации техногенных материалов.

В работе рассмотрено влияние шлака и гранулометрического состава на ключевые свойства огнеупорных материалов, такие как прочность, термостойкость и пористость. Установлено, что добавление шлака действительно улучшает термостойкость, однако при его содержании более 20% прочность материала начинает снижаться, что требует тщательной оптимизации состава шихты.

Для формирования огнеупорных изделий используются оптимизированные методы формования, которые обеспечивают достижение требуемых характеристик. В результате исследования были определены составы шихт, которые обеспечивают максимальную термостойкость и прочность изделий, что делает их пригодными для применения в металлургических печах и других высокотемпературных агрегатах.

Результаты исследования способствуют созданию более эффективных и экологически безопасных технологий производства огнеупорных материалов, использующих техногенные отходы как сырьё, что способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и оптимизации промышленных процессов.

Ключевые слова: Шлак, металлургия, химический состав, минералогические свойства, рециклинг, технологии переработки, огнеупорные кирпичи.

Введение

Огнеупорные материалы, обладающие высокой термостойкостью, находят широкое применение в различных отраслях, таких как металлургия, производство стекла, керамики, а также в энергетике и химической промышленности. Эти материалы должны удовлетворять строгим требованиям: высокой устойчивости к экстремальным температурным условиям, механической прочности и долговечности. Традиционно огнеупорные изделия изготавливаются из природных минеральных сырьевых компонентов, что связано с высокими затратами на добычу и переработку этих материалов.

В последние десятилетия наблюдается тенденция к поиску более эффективных и экономичных решений в области огнеупорных материалов. Одним из таких решений является переработка отходов металлургического производства, что позволяет создать новые виды огнеупорных материалов с использованием вторичных ресурсов. Этот подход не только снижает производственные расходы, но и способствует решению проблемы утилизации промышленных отходов, минимизируя их негативное воздействие на экологию. В частности, исследования, проведенные зарубежными учеными, такими как R. Gupta (2020) и S. Zhang (2021), показали, что переработка металлургических шлаков может значительно улучшить свойства огнеупорных материалов, таких как термостойкость и механическая прочность [1,2].

Шлаки, образующиеся в процессе металлургического производства, являются важными побочными продуктами, которые, несмотря на свою сложность, могут быть переработаны и использованы в различных отраслях, включая производство огнеупорных материалов. Шлаки содержат примеси, которые не удалось удалить в процессе выплавки металлов, и играют ключевую роль в металлургическом процессе, влияя на эффективность плавки, а также на температуру плавления и вязкость расплавленных металлов. Использование шлаков в производстве огнеупорных материалов открывает новые возможности для повышения их экономичности и устойчивости. Однако следует учитывать, что неправильная утилизация шлаков может вызвать загрязнение окружающей среды, включая почву и водные ресурсы токсичными веществами.

Сегодня существует устойчивый тренд в разработке огнеупорных материалов, изготавливаемых с использованием отходов металлургического производства, таких как электросталеплавильные шлаки, вторичные шлаки и переработанные шамотные кирпичи. Это позволяет не только сократить затраты на традиционные минеральные сырьевые компоненты, но и эффективно решать проблему переработки промышленных отходов, что делает процесс производства более экологически устойчивым. Работы K. Yu и J. Chen (2019) демонстрируют успешные примеры применения электросталеплавильных шлаков в качестве компонента для производства огнеупорных материалов, с улучшением их эксплуатационных характеристик [3].

Тем не менее, несмотря на очевидные экологические и экономические преимущества, материалы, полученные на основе таких отходов, должны пройти

тщательную оценку их физико-химических свойств, чтобы гарантировать их конкурентоспособность с традиционными огнеупорными изделиями по качеству и долговечности. M. Li (2022) в своих исследованиях показал, что такие материалы могут демонстрировать превосходные характеристики по прочности и долговечности при определенных условиях [4].

Целью данного исследования является разработка огнеупорных материалов на основе отходов шамотных кирпичей и электросталеплавильных шлаков, а также комплексная оценка их физико-химических свойств. Ожидается, что такие материалы смогут составить достойную конкуренцию традиционным огнеупорным изделиям, предоставляя более экономичный и экологически безопасный вариант для различных промышленных процессов.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе лаборатории Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова. Лаборатории были оснащены всеми необходимыми оборудованием для получения результатов исследования. Для проведения эксперимента были использованы следующие материалы и методы.

Исходные материалы

На основе данных из научных исследований Карагандинский завод ферросплавов и Карагандинский завод по переработке вторичных материалов наиболее подходят для производства огнеупорного кирпича. Эти шлаки содержат высокий уровень кальцийсиликатов и магнезиасиликатов, что подтверждается исследованиями как ключевые факторы, обеспечивающие отличные огнеупорные свойства. Их состав также оптимально сбалансирован по содержанию магнезии и кремния, что дополнительно улучшает термостойкость. Источниками исходных материалов являлись вышеперечисленные заводы.

Лом шамотных кирпичей. Это отходы, образующиеся при демонтаже старых огнеупорных конструкций, характеризующиеся высокими теплоизоляционными и термостойкими свойствами.

Шлак электросталеплавильного производства. Продукт металлургического процесса, состоящий из оксидов кальция, магния, кремния и алюминия. Этот шлак часто используется в качестве добавки для улучшения механических свойств материалов.

2. Приготовление шихты

Для создания огнеупорных материалов компоненты измельчались и смешивались в определенных пропорциях в брикете (Рисунок 1):

- 60–80 % от массы – лом шамотных кирпичей,
- 10 % – шлак электросталеплавильного производства,
- 10 % – огнеупорная глина,
- 10–20 % – микрокремнеземистая пыль.



Рисунок 1 – Брикеты

Микрокремнеземистая пыль, использованная в исследовании, содержит кремнезем (SiO_2), который обладает высокой химической инертностью. Для повышения его активности и улучшения связывающих свойств, пыль была активирована в щелочной среде. Процесс активации был следующим:

Активатор: для активации использовался 1%-ный раствор гидроксида натрия (NaOH), который был выбран за его высокую способность разрушать силикатные связи в микрокремнеземистых материалах.

Процесс активации: 100 г микрокремнеземистой пыли были смешаны с 300 мл раствора NaOH и нагреты до температуры 60°C . Обработка продолжалась 4 часа, после чего раствор был отфильтрован, а пыль высушена при температуре 105°C .

В результате активации улучшилась реакционная способность пыли, что позволило ей лучше взаимодействовать с другими компонентами шихты, обеспечив прочностные и термостойкие конечные материалы. Этот процесс активации аналогичен исследованиям, проведенным R. Gupta (2020), где также использовался гидроксид натрия для активации кремнеземистых материалов, что позволило значительно улучшить их механические и термические свойства. Саморассыпающийся шлак был использован в качестве добавки для улучшения термостойкости материалов. Процесс его получения был следующим:

Процесс охлаждения: для получения саморассыпающегося шлака расплавленный электросталеплавильный шлак подвергался быстрому охлаждению водяным обливом. Это приводило к образованию пористой структуры с мелкими частицами, которые легко диспергировались в шихте. Технические параметры: расплавленный шлак охлаждался в течение 5 минут при температуре 1000°C , что обеспечивало образование пористой структуры с порами диаметром до 1 мм. Полученный шлак оказался высокоактивным, что позволило улучшить термостойкость готовых изделий.

Этот метод аналогичен методам, описанным в работах S. Zhang (2021), где подобным образом использовались охлажденные шлаки для улучшения термостойкости и других механических свойств огнеупорных материалов. В таблице ниже приведено сравнение метода активации микрокремнеземистой пыли и использования саморассыпающегося шлака с аналогичными исследованиями:

Таблица 1 – Сравнение методов

Исследование	Метод активации пыли	Использование шлака	Результаты	Отличия от нашего подхода
R. Gupta (2020)	Гидроксид натрия, температура 60°C , 4 часа	Шлак, охлаждение водяным обливом	Улучшение прочности и термостойкости	Применение микрокремнеземистой пыли в щелочной среде и отсутствие обжига
S. Zhang (2021)	Гидроксид натрия, температура 70°C , 3 часа	Шлак, охлаждение воздушным методом	Повышение термостойкости и прочности	Мы использовали водяное охлаждение шлака для получения более мелких частиц

В отличие от существующих методов, наш процесс активации микрокремнеземистой пыли включает использование низкой концентрации щелочи и более мягкие температурные режимы, что снижает энергозатраты и минимизирует негативное воздействие на окружающую среду. Также, использование водяного охлаждения для получения саморассыпающегося шлака позволяет получить более мелкие и равномерно распределенные частицы, что повышает термостойкость материала [1,2].

Микрокремнеземистая пыль использовалась для улучшения прочности и адгезии компонентов. Все компоненты тщательно измельчались в вибрационной мельнице до крупности не более 0,5 мм и затем смешивались в лабораторной мешалке, вибрационной мельнице (Рисунок 2) для получения однородной массы [5].



Рисунок 2 – Вибрационная мельница

3. Формование

После смешивания шихты, полученная масса прессовалась на вибростол для формирования стандартных образцов. Прессование проводилось на лабораторном пресс-столе при давлении 50 МПа, что обеспечивало необходимую плотность и механические свойства образцов. Проверка прочности на сжатие проводилась в соответствии с ГОСТ 22951-83 «Материалы огнеупорные. Метод определения прочности при сжатии», что является стандартом для испытаний огнеупорных материалов [6]. Затем подготовленные смеси заливаются в кубические формы размером 10x10x10 см. Для уплотнения смесей формы ставятся на вибрационный

стол на 1 минуту. После уплотнения на вибрационном столе образцы нумеруются и помещаются на затвердевание в условиях хранения (рисунок 3 а,б).

Образцы хранятся в специально подготовленном месте в опилочном ящике при комнатной температуре (18-22 °С в среднем) в течение 14 и 28 дней для достижения необходимой прочности и стабильности. Время сушки шихты контролировалось, чтобы исключить излишнюю влажность в процессе затвердевания [7].

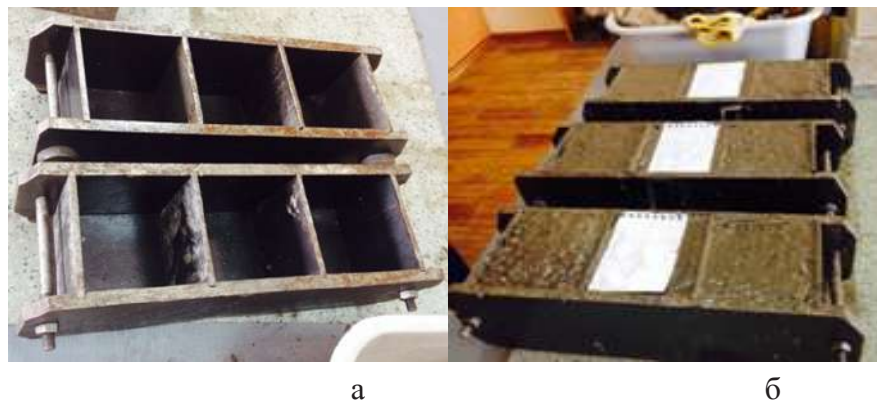


Рисунок 3 – Процесс формования

4. Испытания и оборудование

Для проверки полученных образцов использовались следующие методы:

– Прочность на сжатие была измерена с помощью гидравлического прессы (рисунок 4 а,б), что позволило определить способность материала выдерживать нагрузку при эксплуатации.



Рисунок 4 – Испытания на гидравлическом прессе

– Термостойкость исследовалась путем термического испытания в муфельной печи при температурах до 1250 °С, что позволило оценить, насколько материал сохраняет свои свойства при длительном нагреве.

– Пористость образцов измерялась методом водоотдачи по ГОСТ 390-96 [8]

Результаты и обсуждение

В ходе проведения экспериментов были получены следующие результаты для огнеупорных материалов, изготовленных на основе смеси лома шамотных кирпичей и электросталеплавильных шлаков.

Прочность на сжатие образцов была измерена с помощью гидравлического прессы при увеличении нагрузки. Результаты показали, что прочность на сжатие полученных образцов варьировалась от 15 до 20 МПа в зависимости от состава шихты и условий формирования. Это является хорошим результатом, так как для большинства применений в высокотемпературных процессах этого достаточно. Температурная устойчивость материалов была оценена в муфельной печи, где образцы подвергались воздействию температуры до 1250 °С. Все материалы выдержали испытание, не подвергшись разрушению или значительному деформированию. Это подтверждает их пригодность для использования в условиях, где требуется высокая термостойкость, например, в металлургии [9].

Пористость исследованных образцов была определена методом водоотдачи. Все образцы имели пористость в пределах от 15 % до 18 %, что является хорошим показателем для материалов такого типа. Эти данные свидетельствуют о достаточно низкой пористости, что способствует улучшению теплоизоляционных свойств и повышает долговечность материала.

Для анализа структуры материала был использован сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA, обеспечивающий высокое разрешение и детальный анализ микроструктуры. Метод анализа: Сканирующая электронная микроскопия с детекцией вторичных электронов и рентгеновских спектров (EDX) Микроскопия показала (Рисунок 5), что структура материалов однородная, без крупных дефектов или пустот.

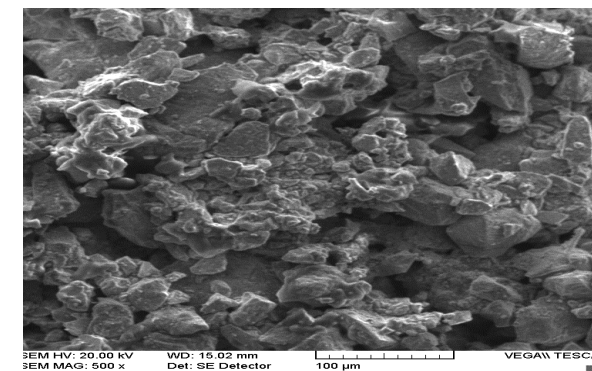


Рисунок 5 – Электронная микроскопия

Средний размер пор был определен как среднее значение измеренных диаметров пор на нескольких изображениях. Для повышения точности были измерены поры на разных участках образца, и их средний размер был вычислен на основе полученных данных. В результате был получен средний размер пор, равный около 0,2 мм, что свидетельствует о высоком качестве полученных образцов. Ожидаемые физико-химические характеристики показаны на следующей таблице.

Таблица 2 – Основные физико-химические характеристики полученных огнеупорных материалов

Характеристика	Материал на основе шамотного кирпича и шлака	Стандартные огнеупорные материалы
Прочность на сжатие, МПа	15–20	10–15
Температура плавления, °С	1250–1300	1300–1350
Термостойкость (количество циклов)	10–12	8–10
Пористость, %	15–18	20–22
Огнеупорность, %	98–99	99+

Прочность на сжатие: Прочность на сжатие образцов материалов, полученных на основе лома шамотных кирпичей и электросталеплавильных шлаков, составила 15–20 МПа, что является хорошим результатом, позволяющим использовать их в условиях высокой температуры и механических нагрузок. Стандартные огнеупорные материалы, в свою очередь, имели прочность 10–15 МПа.

Температурная устойчивость: Ожидаемая термостойкость материалов составила до 1250 °С, что является подходящим для большинства металлургических и энергетических процессов. Стандартные огнеупорные материалы начинают разрушаться при температуре около 1300 °С, что подтверждает высокие термические свойства разработанных материалов [10].

Термостойкость: В ходе испытаний материалы выдержали 10–12 циклов нагрева и охлаждения без значительных повреждений, что превосходит показатели традиционных огнеупорных материалов (8–10 циклов).

Пористость: Пористость материалов на основе отходов шамотных кирпичей и шлаков составила 15–18 %, что значительно ниже, чем у традиционных огнеупорных материалов, чья пористость составляет 20–22 %. Низкая пористость способствует лучшей теплоизоляции и повышенной долговечности материалов [11].

Информацию о финансировании

Исследование выполнено при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP23487471)

Выводы

Исследование показало, что разработанные огнеупорные материалы, полученные на основе отходов шамотных кирпичей и электросталеплавильных шлаков, обладают высокими физико-химическими свойствами, такими как прочность на сжатие, термостойкость и низкая пористость. Эти материалы могут эффективно использоваться в различных промышленных процессах, таких как металлургия и энергетика [12].

Кроме того, использование отходов металлургического производства для создания огнеупорных материалов способствует не только снижению затрат, но и решению проблемы переработки промышленных отходов, что имеет важное значение с экологической точки зрения. Перспективы дальнейших исследований включают оптимизацию состава шихты и расширение области применения этих материалов [13].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гупта, Р. Переработка металлургических шлаков для производства огнеупорных материалов / Р. Гупта. – Журнал материаловедения и технологий, 2020. – Т. 36, № 7. — С. 1201–1212. – <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.04.010>.

2 Чжан, С. Использование сталеплавильных шлаков в производстве огнеупорных материалов / С. Чжан. – Материалы и технологии, 2021. – Т. 1000. – С. 59–68. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.59>.

3 Ю, К., Чен, Д. Применение шлаков от электроплавильных печей в производстве огнеупорных материалов / К. Ю, Д. Чен. – Журнал опасных материалов, 2019. – Т. 369. – С. 526–535. – <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.045>.

4 Ли, М. Характеристика огнеупорных материалов на основе переработанных шлаков и стальных отходов / М. Ли. – Материалы и проектирование, 2022. – Т. 198. – С. 109235. – <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109235>.

5 Лебедев, А. С. Технология огнеупорных материалов / А. С. Лебедев, В. П. Станкевич. – М. : Строиздат, 2015. – 280 с.

6 ГОСТ 22951-83. Материалы огнеупорные. Метод определения прочности при сжатии – М. : Издательство стандартов, 1997. – 40 с.

7 Смирнов, П. А. Влияние добавок на термические и механические свойства шамотных материалов / П. А. Смирнов. – М.: Химия, 2014. – 210 с.

8. ГОСТ 10178-85. Материалы огнеупорные. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 1986. – 65 с.

9 Баранов, М. Н. Применение вторичных материалов в производстве строительных изделий / М. Н. Баранов. – Новосибирск : Наука, 2019. – 185 с.

10 Мартынов, В. В. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в металлургии / В. В. Мартынов, О. А. Кирсанова. – СПб. : Металлургия, 2018. – 310 с.

11 Баталов, В. Е. Роль отходов производства в современных технологиях строительных материалов / В. Е. Баталов. – Казань : Казанский государственный университет, 2020. – 180 с.

12 Черняк, А. С. Современные технологии переработки металлургических отходов / А. С. Черняк. – М. : Научный мир, 2016. – 140 с.

13 Гусев, А. Б. Применение вторичных материалов в производстве огнеупорных изделий. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТУ, 2018.

REFERENCES

1 Gupta, R. Recycling of metallurgical slags for production of refractory materials / R. Gupta // Journal of Materials Science & Technology. – 2020. – Vol. 36, № 7. – P. 1201–1212. – <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.04.010>.

2 Zhang, S. Utilization of steel slags in refractory manufacturing / S. Zhang // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1000. – P. 59–68. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.59>.

3 Yu, K., Chen, J. Applications of electric arc furnace slag in refractory materials / K. Yu, J. Chen // Journal of Hazardous Materials. – 2019. – Vol. 369. – P. 526–535. – <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.045>.

4 Li, M. Characterization of refractory materials based on recycled shale and steel slags / M. Li // Materials and Design. – 2022. – Vol. 198. – P. 109235. – <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109235>.

5 Lebedev, A. S., Stankevich, V. P. Tekhnologiya ognepornykh materialov [Technology of refractory materials] / A. S. Lebedev, V. P. Stankevich // M.: Stroizdat, 2015. – 280 p.

6 GOST 22951-83. Materialy ognepornye. Metod opredeleniya prochnosti pri szhatii [Refractory materials. Method for determining compressive strength]. – M. : Izd-vo standartov, 1997. – 40 p.

7 Smirnov, P. A. Vliyanie dobavok na termicheskie i mekhanicheskie svoystva shamotnykh materialov [Effect of additives on the thermal and mechanical properties of chamotte materials] / P.A. Smirnov // M. : Khimiya, 2014. – 210 p.

8 GOST 10178-85. Materialy ognepornye. Metody ispytaniy [Fire-resistant materials. Test methods] // M. : Standartinform, 1986. — 65 p.

9 Baranov, M. N. Primeneniye vtorichnykh materialov v proizvodstve stroitel'nykh izdeliy [Application of secondary materials in the production of building products] / M. N. Baranov // Novosibirsk : Nauka, 2019. – 185 p.

10 Martynov, V. V., Kirsanova, O. A. Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii v metallurgii [Resource- and energy-saving technologies in metallurgy] / V. V. Martynov, O. A. Kirsanova // SPb. : Metallurgiya, 2018. – 310 p.

11 Batalov, V. E. Rol' otkhodov proizvodstva v sovremennykh tekhnologiyakh stroitel'nykh materialov [The role of production waste in modern construction material technologies] / V. E. Batalov // Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy universitet, 2020. — 180 p.

12 Chernyak, A. S. Sovremennye tekhnologii pererabotki metallurgicheskikh otkhodov [Modern technologies for processing metallurgical waste] / A. S. Chernyak // M.: Nauchnyy mir, 2016. – 140 p.

13 Gusev, A. B. Primeneniye vtorichnykh materialov v proizvodstve ognepornykh izdeliy [Application of secondary materials in the production of refractory products] / A. B. Gusev. – Saint Petersburg: Izd-vo SPbGTU, 2018. – 124 p.

Поступило в редакцию 24.04.24.

Поступило с исправлениями 18.11.24.

Принято в печать 15.01.25.

С. К. Аринова¹, *А. Е. Алтынова²

Ә. Сағынов атындағы КарТУ, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

24.04.24 ж. баспаға түсті.

18.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

15.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАР НЕГІЗІНДЕГІ ОТҚА ТӨЗІМДІ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақала МемСТ390-96 талаптарына сәйкес келетін отқа төзімді бұйымдар жасау үшін электрлі балқыту шлактары мен шлам материалдары сияқты техногендік қалдықтарды пайдалануды зерттеуге арналған. Зерттеудің негізі сілтілі ортада белсендірілген микро кремнийлі шаңды қамтитын Сулы керамикалық тұтқыр суспензияны қолдану болып табылады. Жұмыстың маңызды аспектісі-материалдардың ыстыққа төзімділігін арттыруға көмектесетін өздігінен төгілетін шлақты қосу.

Ұсынылған технологияның бір ерекшелігі-өндірістің энергия сыйымдылығын төмендететін күйдіру кезеңінің болмауы. Күйдірудің орнына өнімдер екі сатылы кептіруден өтеді. Зерттеу барысында шихтаның икемділігін жақсарту үшін аршылған жыныстардың қалдықтары пайдаланылды, бұл шығындарды азайтуға және процестің экологиялық және экономикалық тиімділігін арттыруға көмектеседі. Мұндай қалдықтарды қолдану техногендік материалдарды кәдеге жарату мәселесін шешуге де ықпал етеді.

Жұмыста қаттылық, ыстыққа төзімділік және кеуектілік сияқты отқа төзімді материалдардың негізгі қасиеттеріне қож мен гранулометриялық құрамның әсері қарастырылады. Қожды қосу ыстыққа төзімділікті жақсартатыны анықталды, бірақ оның құрамында 20% - дан астам болса, материалдың беріктігі төмендей бастайды, бұл шихтаның құрамын мұқият оңтайландыруды қажет етеді.

Отқа төзімді өнімдерді қалыптастыру үшін қажетті сипаттамаларға қол жеткізуді қамтамасыз ететін оңтайландырылған қалыптау әдістері қолданылады. Зерттеу нәтижесінде бұйымдардың максималды ыстыққа төзімділігі мен беріктігін қамтамасыз ететін шихталардың құрамы анықталды, бұл оларды металлургиялық пештерде және басқа да жоғары температуралы қондырғыларда қолдануға жарамды етеді.

Зерттеу нәтижелері қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға және өнеркәсіптік процестерді оңтайландыруға ықпал ететін шикізат ретінде техногендік қалдықтарды пайдаланатын отқа төзімді материалдарды өндірудің тиімдірек және экологиялық қауіпсіз технологияларын жасауға ықпал етеді.

Кілтті сөздер: Шлак, металлургия, химиялық құрамы, минералогиялық қасиеттері, қайта өңдеу, өңдеу технологиясы, отқа төзімді кірпіш.

*S. K. Arinova¹, *A. E. Altynova²*

Abylkas Saginov KTU, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 24.04.24.

Received in revised form 18.11.24.

Accepted for publication 15.01.25.

STUDY OF PROPERTIES OF REFRACTORY MATERIALS BASED ON WASTE FROM METALLURGICAL PRODUCTION

The article is dedicated to the study of using technogenic waste, such as electric steelmaking slags and sludge materials, for the production of refractory products that meet the requirements of GOST 390-96. The foundation of the research is the application of a water-based ceramic binder suspension (WBCS) containing micro-silica dust activated in an alkaline medium. An important aspect of the work is the addition of self-dispersing slag, which helps to improve the thermal resistance of the materials.

One of the features of the proposed technology is the absence of the firing stage, which reduces the energy consumption of production. Instead of firing, the products undergo a two-stage drying process. Waste from overburden rocks was used to improve the plasticity of the batch, which helps reduce costs and increase the environmental and economic efficiency of the process. The use of such waste also helps address the problem of technogenic waste disposal.

The paper considers the effect of slag and granulometric composition on the key properties of refractory materials, such as strength, thermal resistance, and porosity. It was established that the addition of slag indeed improves thermal resistance, but when its content exceeds 20%, the strength of the material decreases, which requires careful optimization of the batch composition.

Optimized molding methods are used to form the refractory products, ensuring the achievement of the required characteristics. As a result of the research, the batch compositions were identified that ensure maximum thermal resistance and strength of the products, making them suitable for use in metallurgical furnaces and other high-temperature equipment.

The research results contribute to the creation of more efficient and environmentally safe technologies for the production of refractory materials using technogenic waste as raw materials, which helps reduce the negative environmental impact and optimize industrial processes.

Keywords: Slag, metallurgy, chemical composition, mineralogical properties, recycling, processing technologies, refractory bricks.

SRSTI 53.31.21

<https://doi.org/10.48081/IDDG9941>***S. Kabylikanov¹, Ye. Makhambetov², S. Abdulina³, A. Zhakan⁴, O. Yucel⁵**^{1,3}D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

^{1,2,4}Zh.Abishev Chemical and Metallurgical Institute,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

⁵Istanbul Technical University, Turkey, Istanbul¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1272-2065>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-8652>⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3879-0410>*e-mail: kaby1_96@mail.ru**RESEARCH OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF CHARGE MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF CHROMIUM-MANGANESE LIGATURE**

The article presents a metallurgical assessment of the initial charge materials for producing chromium-manganese (Cr-Mn) ligature using new complex reductants. The work included a detailed analysis of the composition of ores and reductants, such as ferrosilicoaluminum (FeSiAl), ferrosilicochromium dust (FeSiCr), and aluminosilicomanganese (AlSiMn). Through the application of the X-ray phase analysis (XRD) method, the structure and phase composition of the ore components were determined, allowing for their suitability for the production of Cr-Mn ligature to be evaluated. The results showed that the studied ores possess the necessary characteristics for producing high-quality ligature, which opens up opportunities to reduce dependence on imported raw materials. The article also discussed optimal processing conditions for the ores, the selection of reductants, and the effects of their combinations on the properties of the final alloy. The obtained data contribute to the development of new technological solutions for processing local ores, potentially increasing the efficiency and environmental safety of metallurgical processes. This study proposes ways to improve the quality of alloys used in domestic industry, enhancing the competitiveness of Kazakhstan's metallurgy on the international stage.

Keywords: chromite ore, manganese ore, ferrosilicochromium dust, ferrosilicoaluminum, aluminosilicomanganese, phase analysis.

Introduction

In recent years, there has been a growing interest in the development of highly efficient multicomponent and complex ferroalloys, which include not only familiar elements, but also new, optimally selected components. Such alloys have improved physico-chemical characteristics, which allows them to act more effectively on melts in metallurgy. This is achieved at a lower cost, which makes them more profitable

compared to traditional analogues. Due to their unique properties, new alloys can reduce material consumption or increase the final effect when using the same resources [1].

The key objectives of the development of such alloys are: the use of low-grade and off-balance ores, which makes it possible to process resources that have not been used effectively before; increasing the volume of production of ferroalloys without the need to build new facilities, which helps to reduce costs; reducing the consumption of alloys at the consumption stage, which is beneficial for enterprises using these materials; as well as improving quality steel and cast iron, which allows to produce products of higher quality that meet modern requirements.

These achievements are an important step towards improving metallurgical technology, improving the quality of final products and improving overall production efficiency.

Chromium manganese ligature is an important material in metallurgy for alloying and improving the properties of steel. The melting point of the ferro-chromium-manganese-silicon alloy containing is approximately 1200-1300 °C, which makes it suitable for use in metallurgical processes requiring resistance to high temperatures. The density of this alloy is about 6.8 g/cm³, which is also an important factor when using it. It is important to note that in terms of melting rate in liquid steel, this alloy surpasses materials such as ferromanganese, ferrochrome and ferrosilicochrome, which allows it to be used more effectively in the metallurgical industry to produce high-quality alloys [1]. The main components used to create this ligature include Cr and Mn, which enhance the chemical and mechanical resistance of the alloys. With the growing demand for high-quality alloy steels, there is an increasing need to develop effective technologies for processing ores rich in these elements. This study is aimed at evaluating the possibilities of using Kazakhstani Cr and Mn ores to produce Cr-Mn ligature [2].

Kazakhstan has significant reserves of minerals, including Cr and Mn ores, which are mined in various regions of the country. However, due to the limitations of modern technologies for processing these ores to high-quality ligature alloys, their potential remains insufficiently realized [2, 5, 8]. Local ores contain valuable components for the production of Cr-Mn ligature, however, for their effective use, adapted processing and recovery methods are needed that can ensure stable and required characteristics of the final product.

Cr ores in Kazakhstan are of significant interest to the global metallurgy industry due to large deposits such as Kempirsay, located in the Aktobe region. Numerous deposits stand out within this massif, including the Voskhod deposit, which is one of the largest subform chromite mines in the world. Voskhod is characterized by lenticular ore bodies surrounded by serpentized dunites, with mineralization ranging from massive to disseminated chromite. The composition of chromite ores here includes up to 62 % Cr₂O₃, and the content of silica and other elements varies depending on the type of mineralization [4, 9].

Mines like Kempirsay and Voskhod are characterized by a complex structure and a variety of types of ore bodies. These features require specific processing technologies and

significant efforts to explore and assess the quality of ore, which makes them relevant for the development of the metallurgical industry in Kazakhstan [6].

Thus, the Cr ores of the Kempirsay massif are not only of great interest to Kazakhstan, but also have a high potential for the development of the metallurgical industry at the global level, providing raw materials for the production of ligatures that are in demand in mechanical engineering and other industries requiring high-quality materials.

Kazakhstan occupies an important place in the global metallurgical industry due to its significant reserves of Mn ores, which place the country in fourth place in the world in terms of proven reserves and eighth in terms of production. Kazakhstan's Mn accounts for about 8 % of the world's reserves. The growing demand for Mn products contributes to the development of the country's mining industry.

The reserves of Mn ores in Kazakhstan are represented by two main types: Fe-Mn oxide and carbonate-oxide ores. These ores are characterized by low P and S content, which is an important advantage for the metallurgical industry. They also contain practically no harmful impurities such as arsenic and antimony. The peculiarity of Mn ores in Kazakhstan is the high content of oxide minerals, which makes them especially attractive for processing and use in various metallurgical processes. These characteristics favorably distinguish Kazakh ores from ores from other countries, such as Ukraine and Georgia, which makes them a valuable resource for the production of ferroalloys and steel alloying [7].

An important aspect in the development of Cr-Mn ligature is the correct selection of reducing agents that can minimize the loss of alloying elements and improve the alloy structure. In this work, FeSiAl, FeSiCr dust and AlSiMn were used as reducing agents.

During the production of FeSiCr, a large amount of dust is formed as a by-product. It is the use of dust that is an urgent problem. In our case, it is recommended to use FeSiCr dust as a reducing agent. This is due to the fact that this dust contains a sufficient number of necessary elements that optimize the recovery process. It would also be environmentally sound to include this dust in the production process rather than treat it as waste. In addition, this method improves production efficiency, makes full use of raw materials and helps to reduce costs.

FeSiAl, produced from domestic ores, is characterized by a high content of Si and Al, which makes it competitive on the international market as a reducing agent. FeSiAl due to its composition, which contains Al and Si. These elements have strong reducing properties and can effectively recover metals from their oxide forms. Al, in particular, is a powerful reducing agent that interacts with metal oxides such as Cr, Mn and Fe, pulling oxygen out of them and converting them into pure metals. Si is also involved in reducing reactions, but its role is less active compared to Al. The use of FeSiAl allows you to reduce the consumption of more expensive reducing agents such as carbon and increase the efficiency of processes.

AlSiMn is a ferroalloy with a high content of Mn, Al and Si, which makes it an effective reducing agent and alloying component in metallurgy [8,10]. AlSiMn is also used in the process of obtaining a Cr-Mn ligature, where it performs the function of a reducing agent. In addition, the use of AlSiMn allows for more efficient processing

and disposal of by-products, which helps to reduce raw material costs and increase the overall environmental friendliness of metallurgical processes.

Efficient AlSiMn processing allows not only to reduce waste, but also to obtain valuable raw materials for further use in production processes. It reduces the S and oxygen content in the alloy, increasing the purity of the metal. In addition, AlSiMn performs the function of a reducing agent in the production of ligature, increasing the yield of the finished product and reducing raw material costs [10].

Thus, the purpose of this study is to evaluate the effectiveness of Kazakhstani Cr, Mn ores and new complex silicon-aluminum reducing agents (FeSiAl, AlSiMn, FeSiCr) to create high-quality Cr-Mn ligature. By analyzing the chemical composition and phase characteristics of the ore and reducing agents, as well as the effect of each of them on the final properties of the alloy, it is possible to optimize the melting process and use local natural resources more efficiently.

Materials and methods

In order to develop the technology of Cr-Mn ligature, as noted above, we use domestic Cr and Mn ores as the main charge materials, FeSiCr dust, FeSiAl, as well as AlSiMn alloys as a reducing material. This section provides brief information about the physical properties and chemical composition of the selected charge materials. This information is aimed at optimizing the technology for obtaining the ligature under study and ensuring the necessary quality indicators.

Chrome ore has a density of about 4.5-4.8 g/cm³, which gives it high stability in metallurgical processes. The hardness of chromite is 5.5-6.0 on the Mohs scale, which provides a low predisposition to crumbling and grinding. The chemical composition (Table 1) of the chromium ore used, extracted at the Kempirsayskaya deposit, is shown below.

Table 1 – Chemical composition of chrome ore, %

Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	P ₂ O ₅	S	C.L.	Fe ₂ O ₃
40,49	8,99	11,10	28,29	0,65	0,0059	0,013	3,38	12,03

As can be seen in Table 1, the composition of Cr ore includes 40.49 % chromium oxide (Cr₂O₃), which is the main component responsible for the extraction of Cr. The ore also contains 8.99 % Al₂O₃ and 11.10 % SiO₂, which gives the ore technological properties that can improve metal smelting and extraction processes. MgO which is 28.29 %, and CaO - 0.65 %, provide the desired melt fusibility. The low content of P₂O₅ - 0.0059 % and S - 0.013 % makes the ore suitable for the production of high-quality alloys. Fe₂O₃ present in an amount of 12.03%, has an effect on the metallurgical process, especially on the characteristics of the final product.

The density of Mn ore ranges from 3.5 to 4.0 g/cm³. The hardness of manganese ore on the Mohs scale ranges from 5 to 6.5, which indicates its strength and resistance to mechanical influences. These characteristics are important for the processes of crushing and grinding ore, as well as for the subsequent stages of its processing.

Table 2 shows the chemical composition of the investigated Mn ore from the Keregetas deposit.

Table 2 – Chemical composition of manganese ore, %

Mn _{common}	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	S
26,62	21,78	16,74	2,57	0,15	2,34	0,43	0,17

From table 2, it can be noted that the Keregetas deposit is a ferromanganese ore, which is confirmed by a high content of Mn (26.62%) and a significant amount of Fe₂O₃ (21.78 %). This combination of elements makes the ore suitable for use in the production of Mn and ferromanganese alloys, as well as for other metallurgical purposes. The presence of SiO₂ (16.74 %) and Al₂O₃ (2.57 %) affects the viscosity and fusibility of the melt, improving production characteristics. The low content of Mg, Ca, P and S, as well as their balanced ratio, make the ore a high-quality raw material for producing pure and high-quality Mn alloys.

All these characteristics, both Kempirsay Cr ore and Keregetas Mn ore, make them suitable for use in the production of Cr-Mn ligature. This is due to their high content of Mn and Cr, as well as low levels of harmful impurities such as P and S. Such parameters contribute to improving the quality of the final alloys, which is of significant importance for metallurgical processes. Ores with an optimal chemical composition and a minimum content of foreign impurities are ideal for creating high-quality Mn and Cr-Mn alloys, which are in demand in metallurgy for alloying steel and other alloys.

FeSiCr helps to improve the viscosity of the alloy, which is important for its processing and molding. The chemical composition of FeSiCr dust is shown in Table 3.

Table 3 – Chemical composition of FeSiCr dust, %

Cr	Fe	Si	Al	C	S	P
24,10	14,18	32,22	1,51	2,48	0,049	0,018

From Table 3, it can be noted the high content of reducing elements, mainly Si (32.22 %). Si is an important component that plays the role of a reducing agent in metallurgical processes such as the production of ferroalloys. It effectively restores metals from their oxide compounds, which improves production characteristics and reduces the need for additional reducing agents.

The hardness of FeSiAl is usually between 5 and 6 on the Mohs scale, which makes it sufficiently hard and suitable for use in metallurgical processes. The chemical composition of the FSA used in the work is presented in Table 4.

Table 4 – Chemical composition of FeSiAl, %

Si	Al	Fe	P	S
48.62	10.82	34.00	0.024	0.01

Table 4 shows that the content of the main reducing agents, such as Si (48.62 %) and Al (10.82 %), in the FeSiAl alloy is significantly higher than in the FeSiCr dust. This makes FeSiAl a more effective reducing agent in metallurgical processes, since the high content of Si and Al contributes to a more active reduction of oxides during the melting process. At the same time, the low content of P (0.024 %) and S (0.01 %) in FeSiAl indicates its high quality, which has a positive effect on the final alloys, minimizing the presence of harmful impurities.

The hardness of AlSiMn is approximately 6–7 on the Mohs scale, which makes it sufficiently durable for use in metallurgical processes. These physical characteristics, including high density and hardness, make AlSiMn an effective reducing agent, which contributes to improving the quality of the alloys obtained. The chemical composition of AlSiMn is shown in Table 5.

Table 5 – Chemical composition of AlSiMn, %

Si	Al	Mn	Fe	C	P
36.13	1.24	41.96	16.48	0.434	0.18

According to Table 5, it is possible to distinguish a high Si content (36.13%) in the composition of AlSiMn, which makes it an effective reducing agent in metallurgical processes. Si plays a key role in the reduction of metal oxides such as Mn and Fe, which helps to improve the quality of the final alloys.

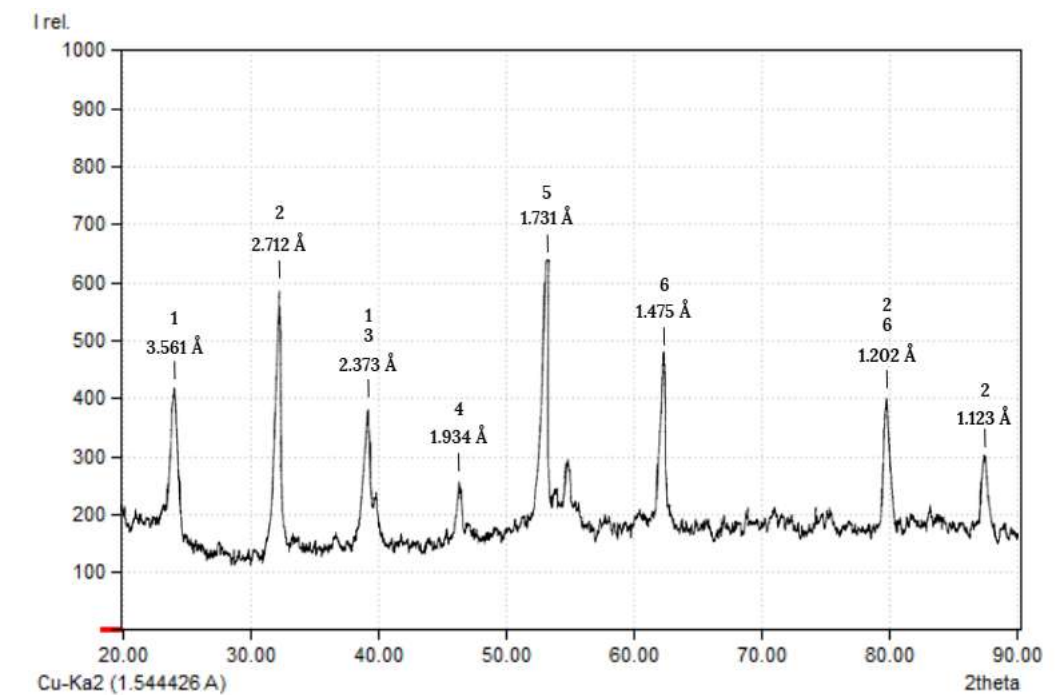
In addition, the high content of Mn (41.96%) and Fe (16.48%) makes AlSiMn suitable for use in the production of ferroalloys, since these elements help to improve the strength characteristics and resistance of alloys to high temperatures.

Equipment for X-ray phase analysis. DRON-2 was used to carry out the XRD of charge material samples. The range of measured angles ranged from 0 to 80°, which makes it possible to analyze a wide range of minerals and their structural characteristics. The high resolution, reaching 0.01°, makes it possible to accurately determine the position of the diffraction lines, which is critically important for the analysis of complex samples. The equipment operates with an X-ray wavelength of 1.54 Å (Cu).

Results and discussion

As noted above, in order to identify the structural and phase characteristics of the materials under study, XRD was performed, which can help in assessing their suitability for the production of Cr-Mn ligature. The research was aimed at clarifying the crystal structure and composition of phases in charge materials, as well as at identifying metallic and intermetallic compounds that can significantly affect the alloying process.

Figure 1 shows an x-ray diffraction of chromium ore.



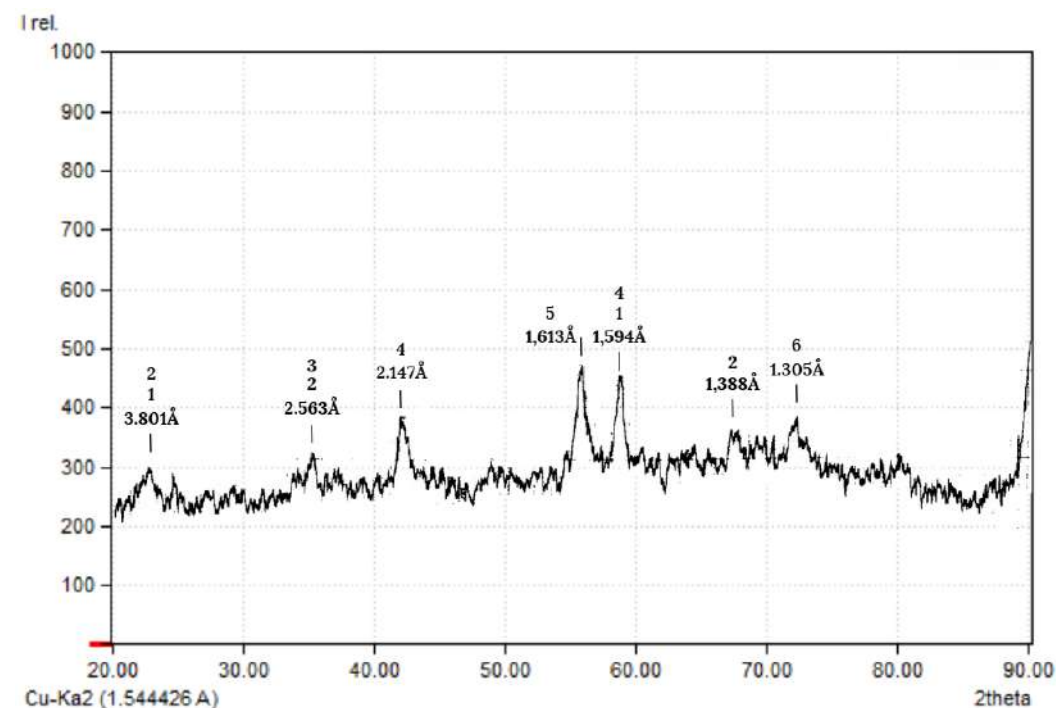
1 – FeCr_2O_4 (3.561 Å; 2.373 Å), 2 – Fe_2O_3 (2.712 Å; 1.202 Å; 1.123 Å), 3 – MgCr_2O_4 (2.373 Å), 4 – SiO_2 (1.934 Å), 5 – FeAl_2O_4 (1.731 Å), 6 – Cr_2O_3 (1.475 Å; 1.202 Å).

Figure 1 – X-ray diffraction of chrome ore

Figure 1 shows that the main compounds in Cr ore are FeCr_2O_4 , Fe_2O_3 , MgCr_2O_4 , SiO_2 , FeAl_2O_4 and Cr_2O_3 . Chromite confirms the presence of Cr, Fe_2O_3 indicates Fe, and MgCr_2O_4 indicates the presence of Mg. SiO_2 confirms the presence of quartz, FeAl_2O_4 shows Al, and Cr_2O_3 additionally characterizes the Cr component. These compounds reflect the crystalline composition and confirm the typical quality of the ore used in metallurgy.

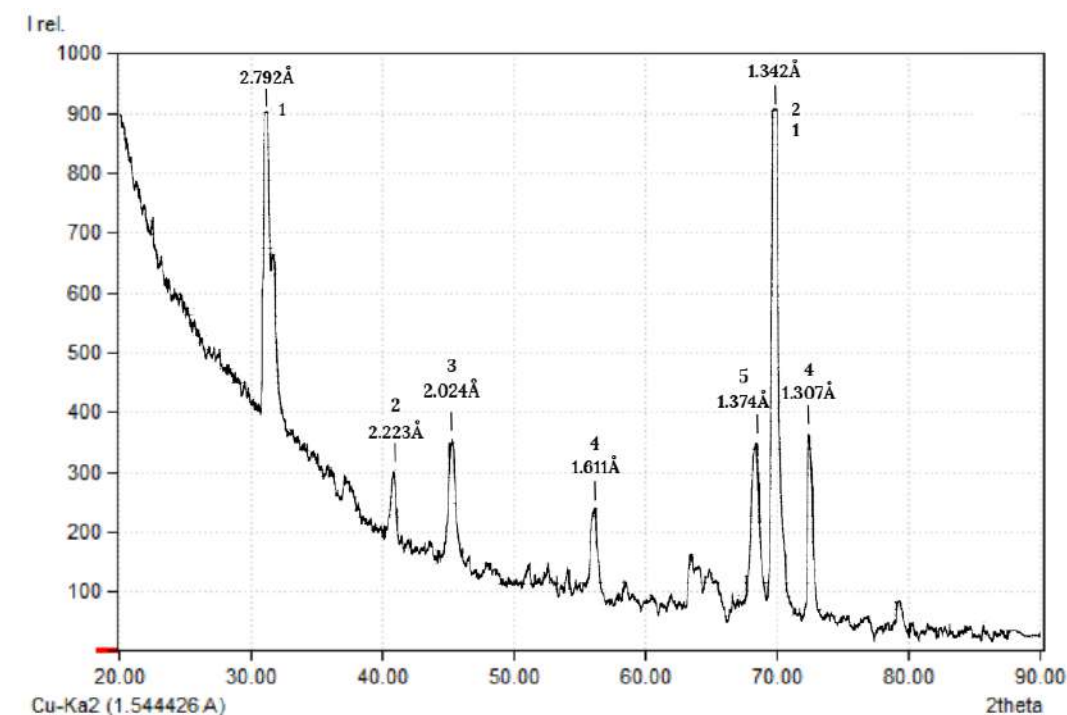
Figure 2 shows the results of the Mn ore XRD (Keregetas), where characteristic peaks can be observed indicating the presence of basic compounds contained in Mn ore.

The main mineral is MnO, which is found in several peak values. Mn_3O_4 has also been identified, which confirms the high level of Mn in the ore. In addition, MnFe_2O_4 was found, indicating the presence of Fe in the ore. Fe_2O_3 has also been recorded, indicating an interaction between Mn and Fe minerals. Al_2O_3 and SiO_2 are present in the sample, indicating its complex chemical composition.



1 – MnO (3,801Å; 1,594Å), 2 – Mn₃O₄ (2,563Å; 1,388Å), 3 – MnFe₂O₄ (2,563Å), 4 – Fe₂O₃ (2,147Å), 5 – SiO₂ (1,613Å), 6 – Al₂O₃ (1,305Å).

Figure 2 – X-ray diffraction of manganese ore (Kerege tas)



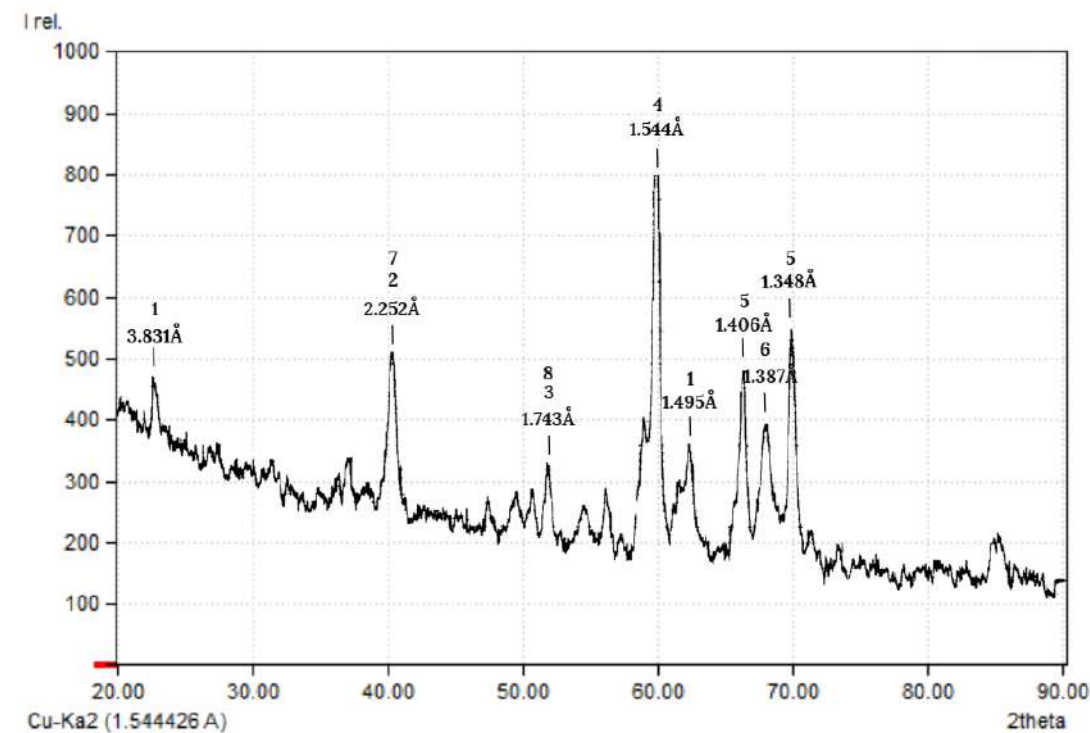
1 – FeSi (2,792Å), 2 – FeCr (2,223Å; 1,342Å), 3 – CrSi (2,024Å), 4 – Fe (1,611Å; 1,307Å), 5 – Si (1,374Å).

Figure 3 – X-ray diffraction of FeSiCr dust

Figure 3 shows the result of x-ray phase analysis of FeSiCr dust, which demonstrates the presence of several key crystalline phases.

Among them, the FeSi silicide compound stands out, which plays an important role in improving the mechanical properties of steels. The intermetallic compound FeCr has also been identified, which confirms the importance of chromium in alloying. Additionally, the analysis shows the presence of a CrSi compound, indicating the interaction of chromium and silicon, which may affect the characteristics of the ligature. The presence of metallic Fe and elemental Si has also been recorded, which indicates the composition of dust and its potential in metallurgical processes. These results are of great importance for optimizing the production technologies of Cr-Mn ligature, since understanding the phase composition allows improving the quality and performance of the final product.

Figure 4 shows the results of X-ray diffraction phase analysis of FeSiAl, which shows that the main phases are FeSi, FeAl₃, Fe₂Si, AlFeSi and Fe₃Si.

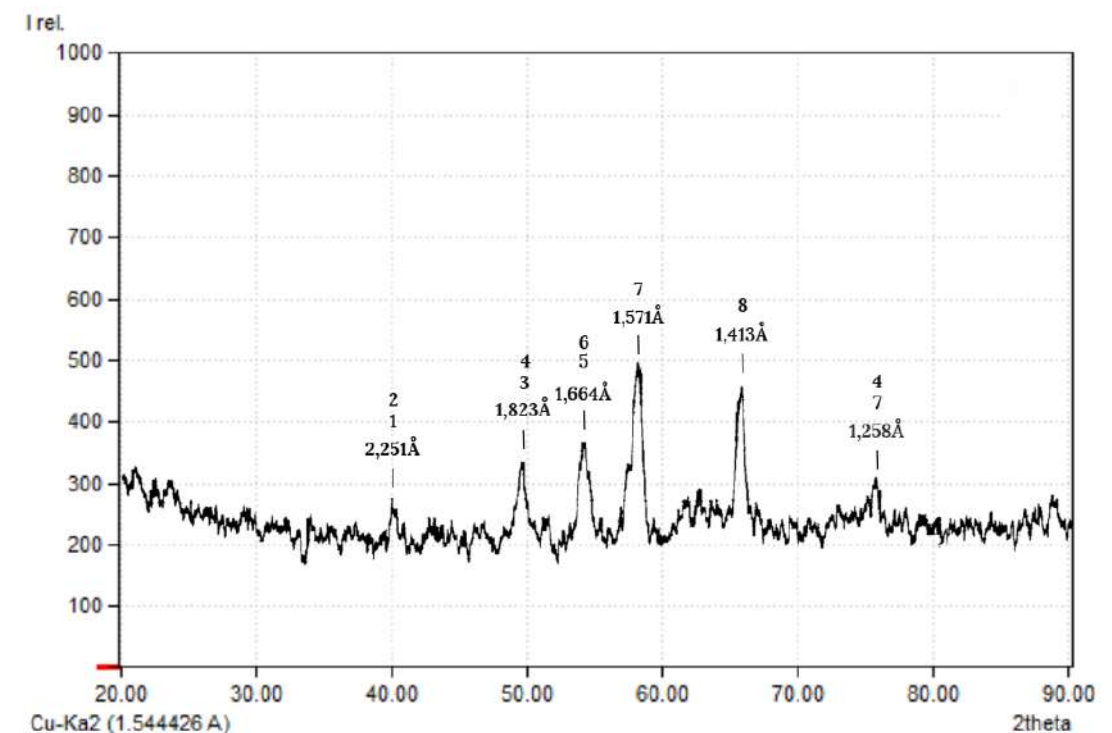


1 – FeSi (3,831Å; 1,495Å), 2 – FeAl₃ (2,252Å), 3 – Fe₂Si (1,743Å),
4 – AlFeSi (1,544Å), 5 – Fe₃Si (1,406Å; 1,348Å), 6 – FeAl₃Si₂ (1,387Å),
7 – Al (2,252Å), 8 – Si (1,743Å).

Figure 4 – X-ray diffraction of FeSiAl

These compounds play an important role in metallurgical processes, providing improved strength and corrosion properties of steels. FeSi, as an alloy of iron and silicon, increases strength, while FeAl₃ and AlFeSi contribute to improving mechanical properties due to alloying with Al. The presence of Fe₃Si, which enhances wear resistance, is also noted. The X-ray phase analysis allows us to understand the crystal structure of FeSiAl and its composition, which is necessary to optimize its use in production.

The X-ray diffraction of AlSiMn (Figure 5) revealed the main phases in the sample.



1 – FeAl (2,251Å), 2 – Fe₃Mn (2,251Å), 3 – Fe₃Si (1,823Å), 4 – MnSi (1,823Å;
1,258Å), 5 – AlFeSi (1,664Å), 6 – MnAl (1,664Å),
7 – FeMnSi (1,571Å; 1,258Å), 8 – Mn₂Si (1,413Å).

Figure 5 – X-ray diffraction of AlSiMn

The FeAl compound is an important component for alloying, improving mechanical properties. The next significant compound is Fe₃Mn, which plays a key role in increasing the strength of alloys. There is also a compound of Fe₃Si and MnSi, which contribute to increased strength and corrosion resistance. AlFeSi and MnAl are significant alloying additives, improving the properties of materials. The FeMnSi compound demonstrates effectiveness in increasing strength characteristics. The presence of Mn₂Si highlights the presence of manganese in the structure. These results confirm the polyphase nature of aluminosilicomanganese and its potential to improve the properties of Cr-Mn ligature.

Information about financing

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Re-public of Kazakhstan (Grant No. AP23488918).

Conclusions

As a result of the XRD of charge materials, including Cr and Mn ores, as well as dust of FeSiCr, AlMnSi and FeSiAl, important data on the phase composition of the samples were obtained. The use of the DRON-2 x-ray diffraction made it possible to accurately identify key compounds, which confirmed the presence of multicomponent systems in the studied materials.

The conclusions from the analysis emphasize that knowledge of the phase composition of charge materials is critical for optimizing the smelting and processing processes. Identification of the main phases makes it possible to improve the choice of technologies, which can lead to an increase in the efficiency of production of Cr-Mn ligature and improve the quality of the final product.

Thus, X-ray diffraction analysis has proven to be a powerful tool for the study of charge materials in metallurgy, opening up new opportunities for improving metallurgical processes and developing more efficient technological solutions.

REFERENCES

- 1 **Kabyllkanov S. K., Abdullina S. A., Makhambetov Ye. N., Gorban E. E., Burumbayev A. G.** Research of obtaining a chromo-manganese ligature using a complex silicon-aluminum reducing agent // Innovations and complex processing of mineral raw materials are relevant components of economic diversification. – Almaty : RSE «NC CPMRM RK», 2024. – P. 92–94.
- 2 **Zhakan A. M.** Hrom және марганец құрамдас кешенді қорытпаларды балқытуға арналған шикізатты зерттеу және талдау [Research and analysis of raw materials for smelting complex chromium and manganese Alloys]: mag. ... diss. 7M07203. – Aktobe, 2024. – 43 P. (in Kazakh)
- 3 **Koval Yu. M., Kutsova V. Z., Kovzel M. A.** Regularities of Formation of Structure, Phase Composition and Properties of Chromium–Manganese Alloys in the Initial Cast State during the Process of Friction Wear // Metallofizika i noveishie tekhnologii. – 2021. – Vol. 43, № 3. – P. 407–423. – <https://doi.org/10.15407/mfint.43.03.0407>.
- 4 **Barcza N. A., Boyes M., Clarke N. R., Van Der Merwe A. J.** The Development Of The Voskhod Chrome Project In Kazakhstan // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2007.
- 5 **Scott C. P.** Recent Developments in Medium and High Manganese Steels // Metals. – 2022. – Vol. 12, № 5. – P. 743. – <https://doi.org/10.3390/met12050743>.
- 6 **Hu W.-J., Zhou M.-F., Yudovskaya M. A., Vikentyev I. V., Malpas J., Zhang P.-F.** Trace Elements in Chromite as Indicators of the Origin of the Giant Podiform Chromite Deposit at Kempirsai, Kazakhstan // Economic Geology. – 2022. – Vol. 117, No. 7. – P. 1629–1655. – <https://doi.org/10.5382/econgeo.4955>.
- 7 **Akylbekov S. A.** Marganecz Kazaxstana [Manganese of Kazakhstan] // Proceedings of the NAS RK. Geological Series. – 2006. – № 1. – P. 42–53. (in Russian)
- 8 **Makhambetov Ye., Abrashit A., Kuatbay Ye., Yucel O., Tazhiev Ye.** Issledovanie elektrofizicheskikh svoistv shikhtovykh materialov dlia vyplavki kompleksnogo splava aliumosilikomarganets [Study of electro physical properties of charge materials for the smelting of complex alloy silicon-aluminum-manganese] // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – T. 144. – № 2. – C. 15–21. (in Russian).
- 9 Chrome ore of Kazakhstan // Kazchrome. URL: <https://www.kazchrome.com/ru/business-overview/> (accessed: 25.10.2024).

- 10 **Zhuniskaliyev T., Nurumgaliyev A., Chekimbayev A., Kelamanov B., Kuatbay Ye., Mukhambetgaliyev Ye., Mukhambetkaliyev A., Abdirashit A.** Experimental Investigation of the Influence of Phase Compounds on the Friability of Fe-Si-Mn-Al Complex Alloy // Metals. – 2024. – T. 14. – № 1091. – <https://doi.org/10.3390/met14091091>.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Kabyllkanov S. K., Abdullina S. A., Makhambetov Ye. N., Gorban E. E., Burumbayev A. G.** Research of obtaining a chromo-manganese ligature using a complex silicon-aluminum reducing agent // Innovations and complex processing of mineral raw materials are relevant components of economic diversification. – Almaty: RSE «NC CPMRM RK», 2024. – P. 92–94.
- 2 **Жақан А. М.** Хром және марганец құрамдас кешенді қорытпаларды балқытуға арналған шикізатты зерттеу және талдау: маг. ... diss. 7M07203. – Актобе, 2024. – 43 Б.
- 3 **Koval Yu. M., Kutsova V. Z., Kovzel M. A.** Regularities of Formation of Structure, Phase Composition and Properties of Chromium–Manganese Alloys in the Initial Cast State during the Process of Friction Wear // Metallofizika i noveishie tekhnologii. – 2021. – Vol. 43, № 3. – P. 407–423. – <https://doi.org/10.15407/mfint.43.03.0407>.
- 4 **Barcza N. A., Boyes M., Clarke N. R., Van Der Merwe A. J.** The Development Of The Voskhod Chrome Project In Kazakhstan // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2007.
- 5 **Scott C. P.** Recent Developments in Medium and High Manganese Steels // Metals. – 2022. – Vol. 12, № 5. – P. 743. – <https://doi.org/10.3390/met12050743>.
- 6 **Hu W.-J., Zhou M.-F., Yudovskaya M. A., Vikentyev I. V., Malpas J., Zhang P.-F.** Trace Elements in Chromite as Indicators of the Origin of the Giant Podiform Chromite Deposit at Kempirsai, Kazakhstan // Economic Geology. – 2022. – Vol. 117, No. 7. – P. 1629–1655. – <https://doi.org/10.5382/econgeo.4955>.
- 7 **АКЫЛБЕКОВ С. А.** Марганец Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2006. – № 1. – С. 42–53.
- 8 **Махамбетов Е., Абдрашит А., Куатбай Е., Yucel O., Тажиев Е.** Исследование электрофизических свойств шихтовых материалов для выплавки комплексного сплава алюмосиликомарганец // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Т. 144. – № 2. – С. 15–21.
- 9 Chrome ore of Kazakhstan // Kazchrome. URL: <https://www.kazchrome.com/ru/business-overview/> (дата обращения: 25.10.2024).

10 Zhuniskaliyev T., Nurumgaliyev A., Chekimbayev A., Kelamanov B., Kuatbay Ye., Mukhambetgaliyev Ye., Mukhambetkaliyev A., Abdirashit A. Experimental Investigation of the Influence of Phase Compounds on the Friability of Fe-Si-Mn-Al Complex Alloy // Metals. – 2024. – Т. 14. – № 1091. – <https://doi.org/10.3390/met14091091>.

Received 12.11.24.

Received in revised form 21.11.24.

Accepted for publication 15.01.25.

**С. К. Кабылканов¹, Е. Н. Махамбетов², С. А. Абдулина³,
А. М. Жақан⁴, О. YuceI⁵*

^{1,3}Д.Серікбаева атындағы Шығыс-Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

^{1,2,4}Ж.Әбішев атындағы Химия-Металлургия институты,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

⁵Istanbul Technical University, Турция, Стамбул қ.

12.11.24 ж. баспаға түсті.

21.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

15.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ХРОМОМАНГАНЕЦ ЛИГАТУРАСЫН АЛУ ҮШІН ШИКІҚҰРАМ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада жаңа кешенді тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, хром-марганец лигатурасын алу үшін бастапқы шикта материалдарын металлургиялық бағалау ұсынылған. Жұмысқа ферросиликоалюминий (ФСА), ферросиликохром шаңы (ФСХ) және алюминий силикомарганец (АМС) сияқты кендер мен тотықсыздандырғыштардың құрамын егжей-тегжейлі талдау кірді. Фазалық талдау әдісін (РФА) қолдану арқылы кен компоненттерінің құрылымы мен фазалық құрамы анықталды, бұл олардың хром-марганец лигатурасын өндіруге қойылатын талаптарға сәйкестігін анықтауға мүмкіндік берді. Нәтижелер зерттелген кендердің жоғары сапалы лигатураны өндіру үшін қажетті сипаттамаларға ие екенін көрсетті, бұл қымбат шикізат импортына тәуелділікті азайтуға мүмкіндік береді. Мақалада сонымен қатар кендерді өңдеудің оңтайлы шарттары, тотықсыздандырғыштарды таңдау және олардың комбинацияларының соңғы қорытпаның қасиеттеріне әсері талқыланды. Нәтижелер металлургиялық процестердің тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін едәуір арттыра алатын жергілікті кендерді қайта өңдеудің жаңа технологиялық шешімдерін жасауға ықпал етеді. Бұл зерттеу отандық өнеркәсіпте пайдаланылатын қорытпалардың сапасын жақсартуға жол ашты, бұл қазақстандық металлургияның халықаралық деңгейде бәсекеге қабілеттілігін арттырады.

Кілтті сөздер: хром кені, марганец кені, ферросиликохром шаңы, ферросиликоалюминий, алюминий силикомарганец, фазалық талдау.

**С. К. Кабылканов¹, Е. Н. Махамбетов², С. А. Абдулина³,
А. М. Жақан⁴, О. YuceI⁵*

^{1,3}Вочточно-Казахстанский технический университет имени
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

^{1,2,4}Химико-Металлургический институт имени Ж. Абишева,
Республик Казахстан, г. Караганда

⁵Istanbul Technical University, Турция, г. Стамбул.

Поступило в редакцию 12.11.24.

Поступило с исправлениями 21.11.24.

Принято в печать 15.01.25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМОМАНГАНЦЕВОЙ ЛИГАТУРЫ

В статье представлена металлургическая оценка исходных шихтовых материалов для получения хромомарганцевой лигатуры с использованием новых комплексных восстановителей. Работа включала детальный анализ состава руд и восстановителей, таких как ферросиликоалюминий (ФСА), пыль ферросиликохрома (ФСХ) и алюмосиликомарганец (АМС). Путём применения метода фазового анализа (РФА) были определены структура и фазовый состав рудных компонентов, что позволило выявить их соответствие требованиям для производства хромомарганцевой лигатуры. Результаты показали, что исследованные руды обладают необходимыми характеристиками для производства качественной лигатуры, что открывает возможности для снижения зависимости от импорта дорогостоящего сырья. В статье также обсуждались оптимальные условия переработки руд, выбор восстановителей и влияние их комбинаций на свойства конечного сплава. Полученные данные способствуют разработке новых технологических решений для переработки местных руд, что может значительно повысить эффективность и экологическую безопасность металлургических процессов. Это исследование предложило пути улучшения качества сплавов, используемых в отечественной промышленности, что повышает конкурентоспособность казахстанской металлургии на международном уровне.

Ключевые слова: хромовая руда, марганцевая руда, пыль ферросиликохрома, ферросиликоалюминий, алюмосиликомарганец, фазовый анализ.

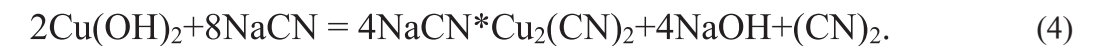
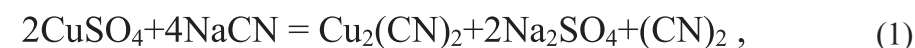
D. B. Kassymova¹, *R. V. Sapinov², N. A. Kulenova³, M. A. Adilkanova⁴^{1,3,4}D. Serikbayev EKTU, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0937-8477>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7063-4899>⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8193-116X>*e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz**STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF GOLD-COPPER ORES FROM KAZAKHSTANI DEPOSITS**

Copper in such gold-copper ores is both a valuable component and a detrimental impurity that complicates the processing of gold by cyanidation. As cyanidation is the primary process in gold recovery technology, ores or concentrates that for one reason or another are difficult to cyanide are classified as difficult to enrich. The degree of resistance of gold ores to cyanidation is determined by a number of factors that relate to the combination of gold particles with minerals and rocks, as well as natural minerals and natural substances that retard gold dissolution and increase cyanide uptake, and permanent sorbents in the ore. These resistances may include physical and chemical suppression as well as sorption activity of minerals present in the ore. Thus, the stage of determining the material composition and characterization of gold-copper ores is important, as the further strategy for selecting a cyanide leaching technology depends on it. As a result of the conducted research it was found out that in the composition of the ore gold content in the sample amounted to – 1.2 g/t. Silver content also amounted to – 1.2g/t. The total amount of copper amounted to 0.15%. The iron content amounted to 5.10 %. The total amount of sulfur was 0.34%.

Keywords: gold-copper ore, primary ore minerals, pyrite, rational analysis, cyanidation.

Introduction

Cyanide leaching is the most common method of processing gold-bearing ores. Currently, most deposits contain copper and other elements in addition to gold [1]. Copper is highly detrimental to the cyanidation process. The following reactions occur when copper compounds are exposed to cyanide solutions:



Among the copper complex compounds formed, $4\text{NaCN} \cdot \text{Cu}_2(\text{CN})_2$ is the most common [2]. There are a number of methods for the separation of gold and copper in the processing of gold-bearing and gold-copper ores [3;4]. These methods involve both selective separation of metals (gold and copper) already at the leaching stage by using different solvents, and their separation after collective cyanide leaching by precipitation of copper with different reagents and by changing the pH [5;6;7]. In conditions of sodium cyanide deficiency it is also important to pay attention to the fact that already dissolved gold can interact with copper-bearing minerals by the following reactions and then be lost with leach tailings [8;9;10].

Based on all of the above, one of the most important stages of processing gold-copper ores is to determine the presence and amount of copper. This determines the development of the technological process of processing with the choice of a method to neutralize the effect of copper on cyanide leaching of gold-copper ores. This article presents a study of the material composition and gold-copper ores of deposits in Kazakhstan, with recommendations for subsequent hydrometallurgical processing.

Materials and methods

All experiments were carried out in NAO «East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev» () and «Eastern Mining and Metallurgical Research Institute of Nonferrous Metals ‘VNIItsvetmet’ () located in the Republic of Kazakhstan in Ust-Kazakhstan. D. Serikbayev» (<https://www.ektu.kz/>) and ‘Eastern Mining and Metallurgical Research Institute of Nonferrous Metals «VNIItsvetmet» (<http://vcm.ukg.kz>), located in the Republic of Kazakhstan, in the city of Ust-Kamenogorsk. The object of the study - gold-copper ores of the deposit of Kazakhstan (250 kg). Mass-spectrometer ICP-MS 7500cx of «Agilent technologies» (USA) was used to study the chemical composition of raw materials. To study the material composition of the material under study, X-ray diffractometer BRUKERD8 ADVANCE was also used to analyze the X-ray diffractometer, which is a common method for determining the qualitative composition of the material. Thermogravimetric analysis was carried out on a METTLERTOLEDO synchronous thermal analysis instrument. The experiments were carried out at maximum temperature heating up to 1050 °C at a rate of 15 deg/min in the air flow. During the heating process, the thermal effects on the DSC curve and changes in the sample mass on the TGA curve were recorded in parallel. In order to achieve the objectives of the study, the chemical and phase chemical compositions of the incoming sample were determined. Further to study the material composition of the investigated material, XRD was also carried out. TGA and DSC and rational analysis. In addition, a rational analysis was carried out to determine the forms of gold content in gold-copper ore. Suspension -1 kg of initial coarseness of 90 % grade minus 0.074 mm by standard methodology. The following forms of gold were determined: in aggregates (cyanidizable), extracted by cyanidation after treatment in hydrochloric and nitric acids, as well as thinly disseminated in rock-forming minerals.

Results and discussion

The initial particle size distribution of the incoming sample is presented in Table 1.

Table 1 – Initial granulometric composition of the studied gold-copper ore sample

Size class, mm	Yield, %
+100	2.9
-100+50	42.1
-50+30	25.4
-30+20	12.7
-20+10	6.3
-10+5	2.7
-5+2	6.4
-2	1.5
Total	100.0

The content of the main components in the sample of gold-bearing ore is shown in Table 2. As can be seen from the given chemical composition the content of gold in the sample amounted to – 1.2 g/t. The content of silver also amounted to – 1.2g/t. The total amount of copper amounted to 0.15 %. Iron content amounted to 5.10 %. The total amount of sulfur was 0.34 %.

Table 2 – Results of chemical analysis of the investigated gold-copper ore sample

Chemical element	Quantity, %	Chemical element	Quantity, %
Au, g/t	1.2	Zn	<0.02
Ag, g/t	1.2	Pb	<0.02
Cu	0.15	Mn	0.093
Fe	5.10	K	0.78
C _{tot}	1.16	Na	2.68
C _{CO3}	1.08	Sn	0.0006
S _{tot}	0.34	Cr	0.012
S _{sulfate}	0.1	Cd	<0.04
As	0.029	Cl	0.03
Sb	<0.003	Ni	0.0061
SiO ₂	58.82	Co	0.0030
Al	5.84	TiO ₂	0.92
Ca	3.35	Mg	2.00

The phase chemical composition of gold-copper ore was studied. As can be seen from the Cu in the ore is in the form of primary and secondary sulphides in the amount of 60 and 33% respectively (table 3). Oxygen-containing compounds copper is represented by 6.7%.

Table 3 – Copper content (XRF) in the tested ore

Forms of copper	Content, %	
	absolute	relatively
Sulfates	<0.01	0
Oxygen-containing compounds	0.01	6.7
Secondary sulfides	0.05	33.3
Primary sulfides	0.09	60.0
Total:	0.15	100.0

The main ore mineral in the sample is magnetite. Secondary ore minerals are pyrite, chalcopyrite, single grains of bornite, chalcosine, covellite.

Magnetite is represented by irregularly shaped grains. In the sample it makes 53.3 % (from 100% of all ore minerals), free grains make 38.0 %, 15.3 % are aggregates with other minerals (with non-metallic substance – 14.5 %, with pyrite – 0.8 %). Grain size is from 2 microns to 44 microns, with 10–44 microns prevailing. It forms aggregates with pyrite and non-metallic matter.

Chalcopyrite is represented by amoeba-shaped, irregularly shaped grains. In the sample it makes 10.2 % (from 100 % of all ore minerals), free grains make 7.7 %, 2.5 % – aggregates with other minerals (with bornite – 0.2 %, with pyrite – 0.1 %, with chalcopyrite – 0.1 %, with non-metallic matter – 2.1 %). Grain size from 1 micron to 44 microns, prevailing 10-44 microns. Forms aggregates with pyrite, bornite and chalcosine.

Pyrite is represented by irregularly shaped grains. In the sample it makes up 27.9 % (from 100 % of all ore minerals), free grains make up 27.5 %, 0.4 – aggregates with other minerals (with chalcopyrite - 0.1%, with magnetite - 0.3%). Grain size is from 3 øm to 50 øm, with 10-44 øm prevailing. It forms aggregates with chalcopyrite and magnetite.

Bornite is represented by single grains of irregular shape. In the sample it makes up 4.8 % (from 100 % of all ore minerals), free grains make up 4.6 %, aggregates with other minerals – 0.2 %. It forms aggregates with chalcopyrite.

Chalcosine is represented by single grains, in the sample it constitutes 1.5 % (of 100 % of all ore minerals). It occurs in intergrowths with chalcopyrite, sometimes covelline develops on it.

Microscopic images of the surface of anschliffs of ore from the Yubileynoye deposit are shown in Figures 1a and 1b.

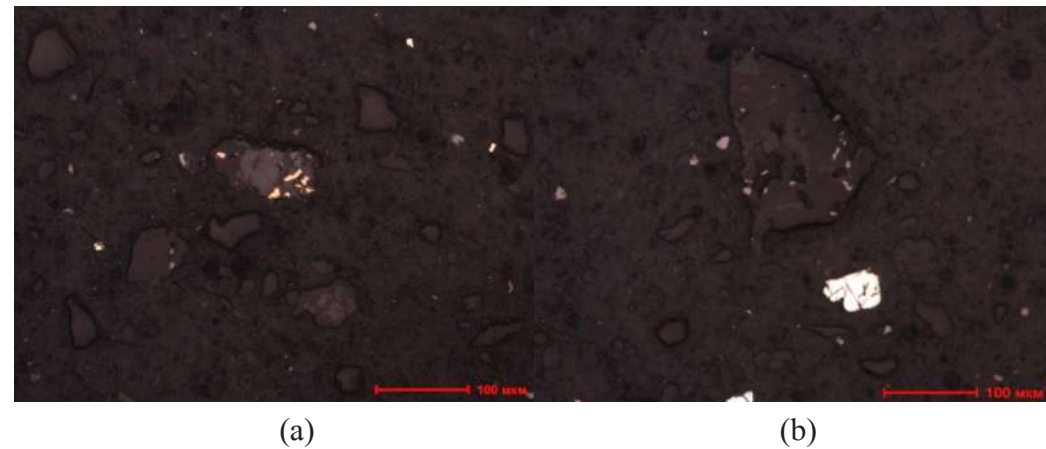


Figure 1 – Anschliff (Eq. 20x10). Free grains of pyrite and magnetite, in the center of the photo is an intergrowth of chalcopyrite with non-metallic material (a), free grains of pyrite, magnetite in the form of free grains and in the form of intergrowths in the grain of non-metallic material (b).

The results of studying the material composition of the studied material by means of X-ray diffraction analysis are presented in Figure 2. The following non-metallic minerals were identified in the sample: quartz, albite, magnetite, clinocllore, orthoclase and calcite.

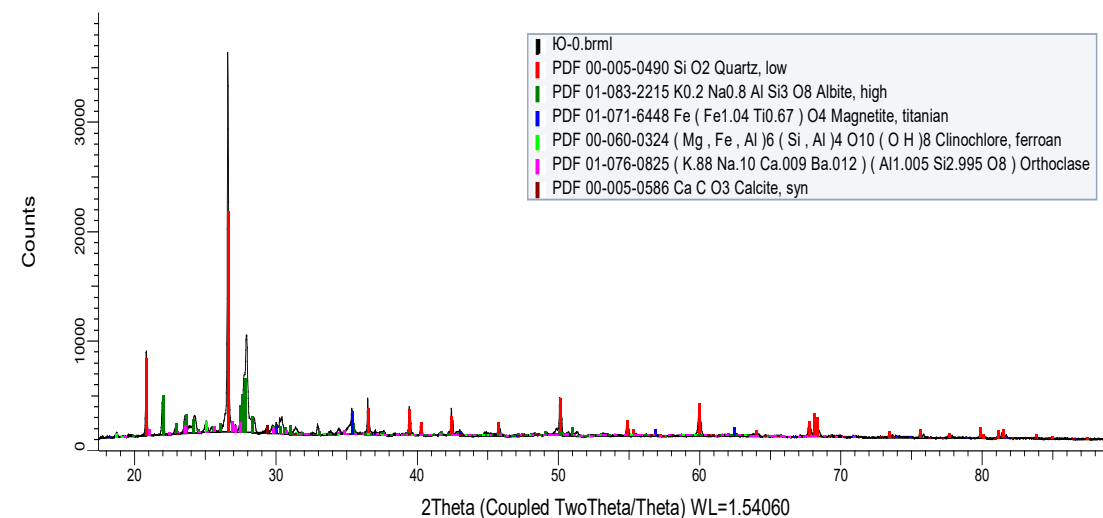


Figure 2 – XRF analysis of the sample composition of the investigated gold-copper ore sample

Figure 3 shows the results of the thermogravimetric study. The following thermal effects can be observed on the given results of the study. In the temperature range 239–259 °C there is a small endothermic effect - removal of molecular water (weight loss–0,61%). In the temperature range 438–498 °C there is an exothermic

effect, probably, there is an oxidation process (weight gain – 0.12 %). There is a small endothermic effect from 564 to 586°C, characteristic for the removal of constitutional water from rock-forming minerals (weight loss 0.75%). In the temperature range of 775–810°C there is a double exothermic peak - formation of new phases.

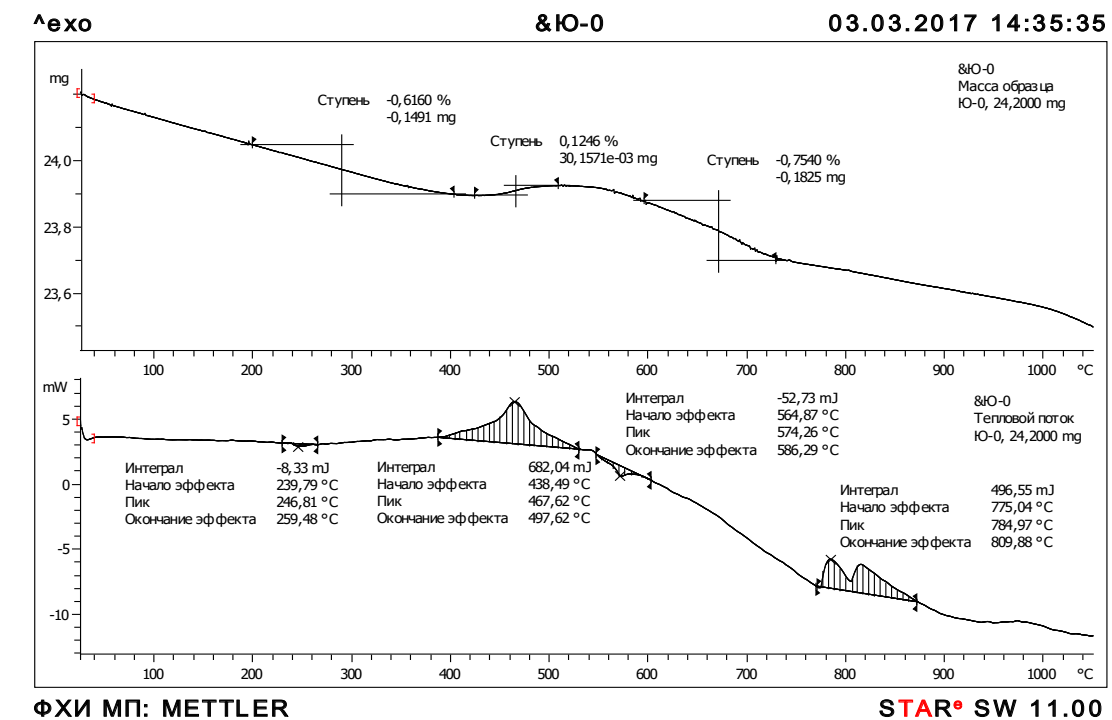


Figure 3 – Thermal effects of ore sample heating

Thus rational analysis showed the presence of gold in free form equal to 93.4 %, grade minus 0.071 mm is 47.50 % (relative), of which 45.00 % (relative) is represented by gold pellets with a clean surface and 2.50 % (relative) - gold pellets covered with oxide films (table 4). The gold content in aggregates is 40.84 % (relative). 8.33 % (relative) of gold is associated with sulfide minerals and 3.33 % (relative) with waste rock. The free silver content in the ore sample is 50.00 % (relative), in aggregates - 28.34 % (relative). 14.16 % (relative) silver is associated with sulphide minerals and 7.50 % (relative) with waste rock.

Table 4 – Forms of gold in the raw material presented

item	Main forms	Content				The morpho- gy of the goldenrod	The size of the gild- ing, mm
		Au		Ag			
		g/t	%	g/t	%		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ore deposit						
a)	Free: with clean surface	0.54	45	0.38	31. 67	Octahedrons and their clusters, dendritic	0.025 to 0.675
b)	oxide coated	0.03	2.50	0.22	18.33	Dendritic	0.025 to 0.225
2	In a conglomerate:						
a)	with clean surface	0.47	39.1	0.26	21.67		
b)	oxide coated	0.02	1.67	0.08	6.67		
3	Assoc.:						
a)	with sulfide minerals.	0.10	8.33	0.17	14.16		
b)	With rock	0.04	3.33	0.09	7.50		
4	Initial grade, g/t	1.20	100	1.20	100.0		
5	Grade content - 0.071 mm, %		93.4				
	Grade content - 0.045 mm, %		79.0				
6							

Figure 4 shows a photograph of the clean-surface golds of the two types. Figure 4 a shows free gold with a clean surface. The shape of the goldines is dendritic. Eq. 20x1.Figure 4b shows free gold with clean surface. The shape of the gold specimens is dendritic, octahedron clusters. Eq. 20x10.

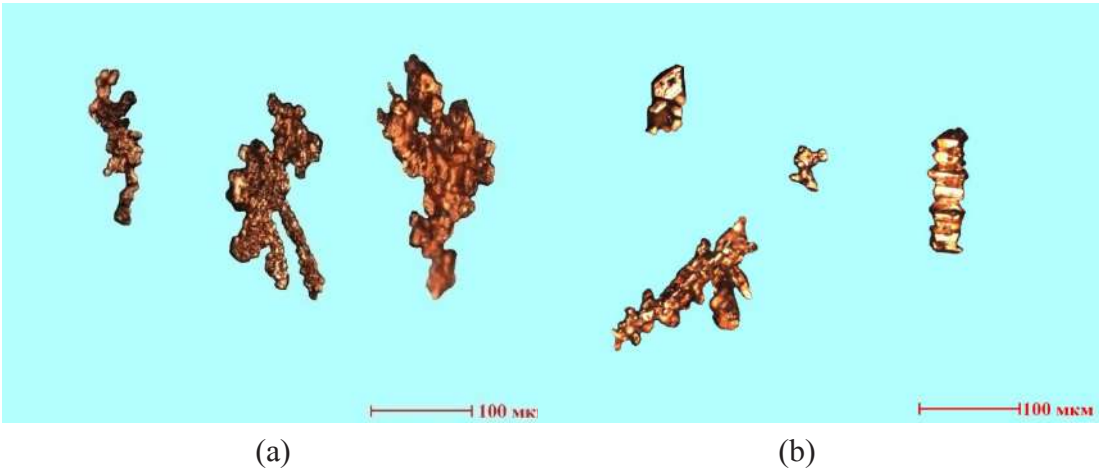


Figure 4 – Photographs of golds from a clean surface (Eq. 20x10). Free gold with a clean surface. The shape of the goldotines is dendritic (a). Free gold with a clean surface. Figure 4b shows the forms of ashlar also occurring in the ore (b)

Conclusions

Investigations revealed the presence of: magnetite (primary ore mineral), as well as pyrite, chalcopryite, bornite, chalcosine and covellite and non-metallic minerals: quartz, albite, magnetite, clinochlore, orthoclase and calcite. Gold content in the sample amounted to 1.2 g/t. The content of other major components is, in %: SiO₂ – 58.82; As – 0.029; S total – 0.34; Fe – 5.10; Mg – 2.00; Stotal. – 1.16; Ca – 3.35; Al – 5.84. Since the ore contains copper in the amount of ≈ 0.15%, which is up to 1.5 kg of copper per ton of ore, to improve the economic efficiency of processing it is necessary to include the regeneration of cyanide solution and copper recovery in the form of finished commercial products. It is necessary to compare methods of copper precipitation with and without the introduction of various sulfidizers into the spent solution in order to select the optimal method.

Obtaining mathematical models to optimize and approximate the processes of cyanide leaching of gold from gold-copper ore, and copper precipitation from spent cyanide processing solutions will also be an integral part of this work.

REFERENCES

1 **Adams, M. D.** Advances in Gold Ore Processing //Developments in Mineral Processing. – 2005. – V. 15 – P. 1076.
2 **Sizikova, N. V., Brailko, O. Y., Kasymova, D. B.** Methods of separation of gold and copper at the leaching stage of gold-containing raw materials with increased copper content // Proceedings of VNIItsvetmet. – 2017. – P. 72–77.
3 **Estay, H.** Designing the SART process – A review. Hydrometallurgy 2018, 176, P. 147–165.

4 **Marsden, J. O., House, C. I.** The Chemistry of Gold Extraction. 2nd edition by SME, Inc. 2006. – P. 625.

5 **Li, M. Li, B., Chen, J., Shen, X., Cui, S., Liu, K., Han, Q.** A novel green method for copper recovery from cuprous thiocyanate-containing acidified sediments in the gold industry. J. Clean. Prod. 2021, 329, 129729.

6 **Adams, M. D.** Chemistry and mineralogy of gold-copper and copper-gold ore processing// Developments in Mineral Processing. – 2005. –Vol.15 – P. 1999.

7 **MacPhail, P.K., Fleming, C., Sarbutt, K.** Cyanide Recovery by the SART Process for the Lobo-Marte Project, Chile. In Randol Gold and Silver Forum, '98, Denver, CO, USA, P. 26–29

8 **Fleming, C. A., Melashvili, M.** The SART process: Killing the sacred cows. In Proceedings of the XXVIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2016), Quebec, QC, Canada, 11–15 September 2016; P. 2107–2120.

9 **La Brooy, S. R., Linge, H. G., Walker, G. S.** Review of gold extraction from ores. Miner. Eng. 1994, 7, P. 1213–1241

10 **Kratochvil, D., Salari, D., Avilez, T.** SART implementation at heap leach operations in Mexico, 2018, In Proceedings of the 50th Canadian Minerals Processors Conference in Ottawa, ON, Canada, 24 January 2018.

Received 28.05.24.

Received in revised form 10.10.24.

Accepted for publication 12.10.24.

Д. Б. Касымова¹, *Р. В. Сапинов², Н. А. Куленова³, М. А. Адильканова⁴

^{1,3,4}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

28.05.23 ж. баспаға түсті.

10.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.10.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ АЛТЫН-МЫС КЕНДЕРІНІҢ ЗАТТЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Қазіргі уақытта құрамында мыс бар алтын кендерін қайта өңдеу мәселесі ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады, өйткені алтын кендеріндегі мыс құнды құрамдас және зиянды қоспа болып табылады, бұл алтын өндіру процесін қиындатады. Біріншіден, бұл цианидтеуге қатысты-алтын рудасының шикізатын металлургиялық өңдеу процесіндегі негізгі операциялардың бірі. Цианидтеу алтынды қалпына келтіру технологиясының негізгі процесі болғандықтан, қандай да бір себептермен цианидтеу арқылы өңдеу қиын болатын алтын кендері немесе концентраттары отқа төзімді болып жіктеледі. Алтын кендерінің цианид процесіне қатысты тұрақтылығы бірнеше критерийлермен сипатталады, олар алтын бөліктерінің кендегі минералдармен және тау жыныстарымен байланысының сипатымен,

кендегі минералдар мен заттардың болуымен анықталады. алтынның еру жылдамдығын бәсеңдететін және цианидті тұтынудың артуына, кендегі табиғи сорбенттердің болуына себепші болады. Алтын кендерінің тұрақтылық критерийлеріне физикалық депрессия, химиялық депрессия, сондай-ақ кендегі минералдардың сорбциялық белсенділігі жатады. Осылайша, материалдың құрамын және алтын-мыс кендерін анықтау кезеңі жауапты кезеңдердің бірі болып табылады, өйткені ол алтын-мыс кендерін цианидті сілтілендіруді өңдеу технологиясын анықтаудың *delnejshey* стратегиясына байланысты. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде кеннің құрамында сынамадағы алтынның мөлшері - 1,2 г/т құрайтыны анықталды. Күмістің құрамы да - 1,2 г/т. мыстың жалпы мөлшері 0,15% құрады. Темірдің мөлшері 5,10% құрады. Күкірттің жалпы мөлшері 0,34% құрады.

Кілтті сөздер: алтын-мыс кені, бастапқы кен минералдары, пирит, рационалды талдау, циандау.

Д. Б. Касымова¹, *Р. В. Сапинов², Н. А. Куленова³, М. А. Адильканова⁴

^{1,3,4}ВКТУ имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

²Торайғыров университет, Республика Казахстан г. Павлодар

Поступило в редакцию 28.05.23.

Поступило с исправлениями 10.10.24.

Принято в печать 12.10.2024.

ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЗОЛОТО-МЕДНЫХ РУД КАЗАХСТАНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время проблема переработки золотосодержащих руд является одной из самых актуальных, поскольку медь в золотых рудах - это одновременно и ценный компонент, и вредная примесь, осложняющая процесс извлечения золота. Прежде всего, это касается цианирования - одной из основных операций в процессе металлургической переработки золоторудного сырья. Поскольку цианирование является основным процессом технологии извлечения золота, золотые руды или концентраты, которые по тем или иным причинам трудно поддаются цианированию, относят к категории тугоплавких. Устойчивость золотых руд по отношению к цианистому процессу характеризуется несколькими критериями, которые определяются характером связи частиц золота с минералами и породой в руде, наличием в руде минералов и веществ, замедляющих скорость растворения золота и вызывающих повышенный расход цианида, наличием в руде природных сорбентов. К критериям упорности золотых руд относятся физическая депрессия, химическая депрессия, а также сорбционная активность минералов, присутствующих в руде. Таким образом, этап определения вещественного состава золото-медных руд является одним из ответственных, так как от него зависит стратегия выбора этапов технологии переработки золото-медных руд цианидным выщелачиванием. В результате проведенных исследований было установлено, что в составе руды содержание золота в пробе составило

– 1,2 г/т. Содержание серебра также составило - 1,2 г/т. Общее количество меди составило 0,15 %. Содержание железа составило 5,10%. Общее количество серы составило 0,34 %.

Ключевые слова: золото-медная руда, первичные рудные минералы, пирит, рациональный анализ, цианирование.

МРНТИ 53.37.13

<https://doi.org/10.48081/LUFX8179>

**А .С. Ким¹, А. А. Акбердин², Р. Б. Султангазиев³,
А. С. Орлов⁴, *Г. Х. Адамова⁵**

^{1,2,4}Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева

Республика Казахстан, г. Караганда.

^{3,5}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0772-1268>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2562-1132>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3928-486X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7563-357X>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6933-6571>

*e-mail: guldenaa@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОКОМКОВАНИЯ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

В данной статье показана подготовка сырья применительно к условиям работы Жезказганского медьзавода (ЖМЗ), где для электроплавки предусмотрено использование окатанного материала. При разработке технологии окомкования были опробованы различные минеральные связующие – известь, бентонит, медный купорос, которые не дали положительных результатов. Для повышения качества окомкованного сырья и решения проблемы снижения потерь металла со шлаками и уменьшения пылевыноса в данной работе представлены результаты разработки новой технологии окомкования медного сырья с использованием борсодержащих флюсов. В качестве борсодержащего материала использована боратовая руда. Экспериментальные исследования по разработке технологии окомкования проведены с промышленной шихтой ЖМЗ. Для установления реального механизма влияния бора на процессы окомкования и упрочнения медных окатышей в качестве борсодержащего флюса наряду с боратовой рудой использовали химический чистый оксид бора B_2O_3 . Для сравнения в качестве базовых окатышей производили медные окатыши. Результаты исследования показали, что борсодержащие добавки приближаются к сульфит – спиртовой барде по влиянию на прочность влажных окатышей. В целом показана возможность замены дорогостоящей сульфит – спиртовой барды на боратовую руду при предварительном обжиге окатышей при температуре 500 °С, что обеспечит более высокую сохранность их при нагреве в рудно – термической печи.

Ключевые слова: Медь, концентрат, боратовая руда, обогащение, сульфит, окатыши, температура, флюсующие добавки.

Введение

Вовлечение в производство бедных руд, требует их обогащения с получением тонкоизмельченного концентрата, которые требуют для металлургической переработки окускования. Вопросы эти касаются как для металлургии черных, так и цветных металлов. Гранулометрический состав полученных методом флотации (фракции -0,074 мм 90 %) концентратов соответствует требованиям окускования методом окатывания. В работе нами рассмотрен вариант подготовки сырья применительно к условиям работы Жезказганского медьзавода (ЖМЗ), где для электроплавки предусмотрено использование окатанного материала. При разработке технологии окомкования были опробованы различные минеральные связующие – известь, бентонит, медный купорос, которые не дали положительных результатов [1;2;3;4;5]. Наиболее приемлемым на практике оказалась сульфит – спиртовая барда. Однако, даже при ее использовании прочность влажных гранул остается низкой, а низкая температура воспламенения (~200 °С) связующей не позволяет интенсифицировать процесс сушки. При выгорании связующей прочность окатышей падает. Потери меди за счет пыловыноса и со шлаками остаются высокими.

Для повышения качества окомкованного сырья и решения проблемы снижения потерь металла со шлаками и уменьшения пылевых выносов в данной работе представлены результаты разработки новой технологии окомкования медного сырья с использованием борсодержащих флюсов.

Материалы и методы

В качестве борсодержащего материала использована боратовая руда Индерского месторождения, химический состав ее представлен в таблице 1. Индерская боратовая руда ассоциируется с глинистой массой с различными желваками гипса (CaSO₄·2H₂O) [6;7;8]. Основными борсодержащими минералами руды являются ашарит, гидробрацит, улесит, иньонит. Все они представляют собой водные соединения бора с кальцием, магнием и реже щелочами. При грануляции шихты окатышей боратовая руда, представляющая собой тонкую смесь борсодержащих минералов и глины оказывается в плотном контакте с мелкой и реакционноспособной рудной фракцией концентрата.

Влияние флюсующих добавок на процесс окомкования и упрочнения гранул оценивается показателями комкуемости составляющих шихты. На практике по В.М. Витюгину показатель комкуемости оценивается по уравнению, связывающему водно-физические свойства шихтовых материалов [9]:

K = (W_MMB) / (W_MKB - W_MMB),

где W_{МКВ} – максимальная капиллярная влагоемкость;
W_{ММВ} – максимальная молекулярная влагоемкость.

Опыты по определению водно-физических характеристик компонентов шихты проведены по ГОСТ 22733-2002.

Химический состав исходных материалов представлен в таблице 1, а результаты исследования в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав исходных материалов

Материал	Содержания, %								
	Cu	Pb	Zn	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
Концентрат Жезказганской обогатительной фабрики (ЖОФ)	35,4	2,87	1,32	7,72	16,6	4,09	22,8	4,49	-
Концентрат Нурказганской обогатительной фабрики (ЖОФ)	21,7	1,11	0,22	24,5	30,94	0,94	14,5	5,4	0,34
Концентрат Балхашской обогатительной фабрики (ЖОФ)	21,74	0,52	0,35	28,9	26,1	5,7	12,3	4,21	-
Известняк	-	-	-	0,812	-	54,84	1,3	-	0,5
Боратовая руда	-	-	-	0,81	9,3	26,02	3,87	0,74	8,41

Таблица 2 – Водно-физические характеристики боратовой руды и составляющих промышленной шихты ЖМЗ.

Наименование материала	Содержание класса -0,071 мм, %	Комкуемость		
		МКВ	ММВ	К
Жезказганский медный концентрат	86,2	28,4	10,5	0,58
Балхашский медный концентрат	80,8	29,0	10,8	0,59
Нурказганский медный концентрат	80,5	28,0	10,6	0,61
Известняк	90,4	59,4	27,4	0,84
Боратовая руда	90,0	58,2	26,2	0,82

Оценка комкуемости показала, что медные концентраты обладают средней комкуемостью. Боратовая руда по этому показателю находится на уровне известняка и почти на ~45 % превосходит показатель комкуемости медных концентратов, что позволяет ожидать улучшения прочностных характеристик окомкованного сырья [10]. А переход В2О3 в шлак существенно улучшит свойства конечных шлаков и как следствие, будет иметь место снижение содержания в нем меди.

Экспериментальные исследования по разработке технологии окомкования проведены с промышленной шихтой ЖМЗ, где используется смесь концентратов: концентрат ЖОФ – 80,9 %, концентрат НОФ – 5,3 %, концентрата БОФ – 13,8 %. Химический состав смеси концентратов: Cu -32,85%, Pb – 2,46%, Zn – 1,13 %, Fe – 11,57 %, S -18,39 %, CaO – 4,15 %, SrO₂ – 20,95 %, Al₂O₃ – 4,51%, MgO – 0,019 %

Для установления реального механизма влияния бора на процессы окомкования и упрочнения медных окатышей в качестве борсодержащего флюса наряду с боратовой рудой использовали химический чистый оксид бора (В2О3), с температурой плавления чистого вещества 450±50 °С. Для сравнения в качестве базовых окатышей производили медные окатыши без добавления связующих (на технической воде) и базовой промышленной шихте с использованием в качестве крепителя сульфит – спиртовой барды и известняка [9;10]. Составы опытных шихт и результаты исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние флюсующих добавок и температуры обжига на качество медных окатышей

№	Наименование шихтовых материалов	Состав шихты		Влага, %	Сырые окатыши		Прочность термообработанных окатышей, кг/ок			
				%	прочность		Температура обжига, °С			
		кг	%		На удар n раз	На сжатие, кг/ок	105-200 (сухие)	300	400	500
1	Смесь конц-в	2	100	10	3	0,54	0,75	0,83	0,86	0,93
2	Смесь конц-в	2	100	10	4	0,86	2,26	2,3	2,5	6,48
	В ₂ О ₃	0,04	2							
3	Смесь конц-в	2	100	10	4	0,96	2,39	2,4	2,8	8,7
	В ₂ О ₃	0,1	5,0							
4	Смесь конц-в	2	100	10	3	0,68	1,7	1,68	1,9	2,3
	Боратовая руда	0,1	5							
5	Смесь конц-в	2	100	10	4	0,96	1,8	1,85	2,5	3,1
	Боратовая руда	0,2	10							
6	Смесь конц-в	2	100	10	3	0,82	1,1	1,22	1,4	1,5
	Известняк	0,12	6							
7	Смесь конц-в	2	100	10	4	1,08	6,8	6,3	5,8	5,6
	Известняк	0,12	6							
	ССБ	0,04	2							

8	Смесь конц-в	2	100	10	4	0,91	1,87	1,84	2,1	6,3
	Известняк	0,12	6							
	Боратовая руда	0,1	5							
9	Смесь конц-в	2	100	10	4	1,017	1,92	1,95	2,3	8,0
	Известняк	0,12	6							
	Боратовая руда	0,2	10							
10	Смесь конц-в	2	100	10	4	1,07	2,51	2,6	2,82	7,8
	Известняк	0,12	6							
	В ₂ О ₃	0,04	2							
11	Смесь конц-в	2	100	10	4	1,17	2,67	3,2	3,25	9,1
	Известняк	0,12	6							
	В ₂ О ₃	0,1	5							

Результаты и обсуждение

Все флюсующие добавки в шихту вводили сверх 100 %. Результаты исследования показали, что борсодержащие добавки приближаются к сульфит – спиртовой барде по влиянию на прочность влажных окатышей. А прочность сухих окатышей при добавке 2–5 % В₂О₃ не превышает 2,67 кг/ок, т.е. говорить о полной замене сульфит – спиртовой барды борсодержащими добавками для достижения рекомендуемой прочности сухих окатышей 6 – 8 кг/ок не приходится. Для увеличения прочности окатыши подвергались термообработке. Экспериментальные исследования показали, что для окатышей с сульфит-спиртовой бардой при повышении температуры обжига (более 200 °С) прочность падает из-за выгорания связующей добавки. Прочность их возрастает при температурах обжига более 700 °С, что можно связать с образованием низкотемпературных сульфидных эвтектик (штейновой фазы).

Борсодержащие окатыши при повышении температуры сушки упрочняются. При этом рекомендуемая прочность сухих окатышей (6-8 кг/ок) достигается при температуре – 500 °С за счет появления низкотемпературных борсодержащих фаз. Для шихт с известняком и базовой шихты без флюсующих добавок упрочнение наблюдается при температурах 700 °С и выше , как и для шихты с сульфит – спиртовой бардой.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено эффективное влияние борсодержащих флюсов на прочность влажных окатышей. При вводе 5 % боратовой руды и 2 % В₂О₃ прочность их выросла в 2 раза и более.

Прочность сухих борсодержащий окатышей требуемого уровня (6–8 кг/ок) достигается при температуре обжига 500 °С.

Выводы

В целом показана возможность замены дорогостоящей сульфит – спиртовой барды на боратовую руду при предварительном обжиге окатышей при температуре

500 °С, что обеспечит более высокую сохранность их при нагреве в рудно – термической печи.

При этом ожидается, что при переходе B_2O_3 в шлак при штейновой плавке улучшит их физико-химические свойства, обеспечивающих эффективное разделение металла и шлака и, как следствие, снижение потерь меди со шлаками.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP19676780)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Катренов, Б. Б.** Использование медного купороса в качестве связующего при получении окатышей из медного концентрата [Текст]. // Материалы междунар. науч.- прак. конференции «VII чтения Машхур Жусипа». – ПГУ. – Павлодар – 2010. – С. 108–114.

2 **Каримова, Л. М.** Получение вероятностной модели динамической прочности окатышей чернового медного концентрата из забалансовой руды [Текст]. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. – 2012. – №4(40). – С. 19–22.

3 **Каримова, Л. М.** Определение прочности гранул чернового медномолибденового концентрата месторождения «Тастау» [Текст]. // – Известия вузов. Цветная металлургия. – № 3 – 2013. – 96 с.

4 **Каримова, Л. М., Жумашев, К. Ж., Кайралапов, Е. Т.** Изучение прочностных характеристик окатышей из чернового медного концентрата забалансовой руды при использовании в качестве связующего раствор серной кислоты [Текст]. // – Спецпроект: аналоект : аналіз наукових досліджень : матеріали VI Межд. Науково- практич. Інтернет-конференції, Дніпропетровськ. – Т. 3. – 2011. – С. 56–60.

5 **Vračar, R.** Theory and practice of non-ferrous metals. – Belgrade (RS): Association of metallurgical engineers of Serbia. – 2010. (In Serbian)

6 **Малышева, Т. Я., Чеснокова, Г. В., Акбердин, А. А., Долицкая, О. Я.** Влияние бора на качество железорудных окатышей [Текст]. – №3 – Металлы, – 1996. – 3 с.

7 **Акбердин, А. А., Долицкая, О. Я., Малышева, Т. Я., Чеснокова Г. В., Ким, А. С.** Особенности спекания железорудных окатышей с добавкой боратовой руды [Текст]. – № 3 – Металлы, – 1999. – С. 23–26.

8 **Karimova, L., Makasheva, G., Zakharyan, D., Malyshev, V., Kharchenko, Y.** Studies on extraction of copper from sulfuric acid solution after thermochemical enrichment of rough concentrate [Текст]. Acta Metallurgica. – Slovaca. – 2024, – 30(2). – С. 64–71.

9 **Витюгин, В. М., Лотов, В. А.** О взаимосвязи некоторых показателей структурно-механических и водно – физических свойств дисперсных материалов [Текст]. // Известия Томского института – 1973. – Т. 257. – 171 с.

10 **Витюгин, В. М., Богма, А. С.** Оценка комкуемости мелкозернистых материалов [Текст]. // Известия вузов. Черная металлургия. – 1969. – № 4 – С. 18–21.

REFERENCES

1 **Katrenov, B. B.** Ispol'zovanie mednogo kuporosa v kachestve svyazuyushchego pri poluchenii okatyshej iz mednogo koncentrata [The use of copper sulfate as a binder in the production of pellets from copper concentrate] [Text]. // Materials of the international scientific - practical conference «VII readings of Mashkhur Zhusip». – PGU. – Pavlodar – 2010. – P. 108–114.

2 **Karimova, L. M.** Ispol'zovanie mednogo kuporosa v kachestve svyazuyushchego pri poluchenii okatyshej iz mednogo koncentrata [Obtaining a probabilistic model of the dynamic strength of rough copper concentrate pellets from off-balance ore] [Text]. // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after. G. I. Nosova. – 2012. – № 4(40). – P. 19–22.

3 **Karimova, L. M.** Opredelenie prochnosti granul chernovogo mednomolibdenovogo koncentrata mestorozhdeniya «Tastau» [Determination of the strength of granules of rough copper-molybdenum concentrate from the «Tastau» deposit] [Text]. // News from universities. Non-ferrous metallurgy. – № 3 – 2013. – 96 p.

4 **Karimova, L. M., Zhumashev, K. Zh., Kajralapov, E. T.** Izuchenie prochnostnykh harakteristik okatyshej iz chernovogo mednogo koncentrata zabalansovoy rudy pri ispol'zovanii v kachestve svyazuyushchego rastvor sernoj kisloty [Study of the strength characteristics of pellets from rough copper concentrate of off-balance ore using a sulfuric acid solution as a binder] [Text]. // Special project: analoject: analysis of scientific research: materials of the VI Int. Scientific and practical Internet conferences, Dnipropetrovsk, – T. Z. – 2011. – P. 56–60.

5 **Vračar, R.** Theory and practice of non-ferrous metals. – Belgrade (RS): Association of metallurgical engineers of Serbia 2010. (In Serbian)

6 **Malysheva, T. Ya., Chesnokova, G. V., Akberdin, A. A., Dolickaya, O. Ya.** Vliyanie bora na kachestvo zhelezorudnyh okatyshej [The influence of boron on the quality of iron ore pellets] [Text]. № 3 – Metals. – 1996. – 3 p.

7 **Akberdin, A. A., Dolickaya, O. Ya., Malysheva, T. Ya., Chesnokova, G. V., Kim, A. S.** Osobennosti spekaniya zhelezorudnyh okatyshej s dobavkoj boratovoy rudy [Features of sintering iron ore pellets with the addition of borate ore] [Text]. No. 3 – Metals. – 1999. – P. 23–26.

8 **Karimova, L., Makasheva, G., Zakharyan, D., Malyshev, V., Kharchenko, Y.** Studies on extraction of copper from sulfuric acid solution after thermochemical enrichment of rough concentrate. – Acta Metallurgica Slovaca 2024, 30(2). – P. 64–71.

9 **Vityugin, V. M., Lotov, V. A.** O vzaimosvyazi nekotoryh pokazatelej strukturno-mekhanicheskikh i vodno – fizicheskikh svoystv dispersnykh materialov [On the relationship

between some indicators of structural-mechanical and water-physical properties of dispersed materials] [Text]. // News of the Tomsk Institute. – 1973. – Т. 257. – 171 p.

10 Vityugin, V. M., Bogma, A. S. Ocenka komkuemosti mel'kozernistykh materialov [Assessment of clumping properties of fine-grained materials] [Text]. // News from universities. Ferrous metallurgy. – 1969. – № 4 – P. 18–21.

Поступило в редакцию 10.12.24.

Поступило с исправлениями 16.01.25.

Принято в печать 02.02.2025.

A. S. Kim¹, A. A. Akberdin¹, R. B. Sultangaziev²,

*A. S. Orlov¹, *G. H. Adamova²*

¹Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

10.12.24 ж. баспаға түсті.

16.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

МЫС КОНЦЕНТРАТТАРЫН ТҮЙІРШІКТЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

Аталмыш мақалада электр балқыту Жезқазған мыс зауытының (ЖМЗ) жұмыс жағдайына байланысты ишкізатты дайындау үшін түйіршектелген материалды пайдалану көрсетілген. Түйіршіктеу технологиясын жасау кезінде әртүрлі минералды байланыстырғыштар – әк, бентонит, мыс сульфаты сыналды, олар оң нәтиже бермеді. Түйіршіктелген ишкізаттың сапасын жақсарту, шлакпен металл ысыраптарын азайту және шаңды кетіруді азайту мәселесін шешу үшін бұл жұмыста құрамында бор бар флюстерді пайдалана отырып, мыс ишкізатын түйіршіктеудің жаңа технологиясын әзірлеу нәтижелері берілген. Құрамында бор бар материал ретінде боратты кен пайдаланылды. Өндірістік ЖМЗ ишкізатымен түйіршіктеу технологиясын жасау бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Мыс түйіршіктерін түйіршіктеу және қатайту процестеріне бордың әсер ету механизмін анықтау үшін борлы рудамен бірге құрамында боры бар флюс ретінде химиялық таза бор оксиді B_2O_3 пайдаланылды. Салыстыру үшін мыс түйіршіктері негізгі түйіршіктер ретінде шығарылды. Зерттеу нәтижелері боры бар қоспалардың ылғалды түйіршіктердің беріктігіне әсері бойынша сульфитті-спирттік тыңайтқышқа жақын екенін көрсетті. Тұтастай алғанда, 500 °C температурада түйіршіктерді алдын ала күйдіру кезінде қымбат тұратын сульфитті-спирттік тұнбаны боратты рудамен алмастыру мүмкіндігі көрсетілді, бұл кен-термиялық пеште қыздыру кезінде олардың жоғары қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: Мыс, концентрат, борат кені, концентрация, сульфит, түйіршіктер, температура, флюсті қоспалар.

A. S. Kim¹, A. A. Akberdin¹, R. B. Sultangaziev²,

*A. S. Orlov¹, *G. H. Adamova²*

¹Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 10.12.24.

Received in revised form 16.01.25.

Accepted for publication 02.02.25.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR PELLETING COPPER CONCENTRATES

This article shows the preparation of raw materials in relation to the operating conditions of the Zhezkazgan Copper Plant (ZhCP), where the use of rounded material is provided for electric smelting. When developing pelletizing technology, various mineral binders were tested - lime, bentonite, copper sulfate, which did not give positive results. To improve the quality of pelletized raw materials and solve the problem of reducing metal losses with slag and reducing dust removal, this paper presents the results of the development of a new technology for pelletizing copper raw materials using boron-containing fluxes. Borate ore was used as a boron-containing material. Experimental studies on the development of pelletizing technology were carried out with industrial ZhCP charge. To establish the real mechanism of the influence of boron on the processes of pelletization and hardening of copper pellets, chemical pure boron oxide B_2O_3 was used as a boron-containing flux along with borate ore. For comparison, copper pellets were produced as base pellets. The results of the study showed that boron-containing additives are close to sulfite-alcohol stillage in terms of their effect on the strength of wet pellets. In general, the possibility of replacing expensive sulfite-alcohol stillage with borate ore during preliminary firing of pellets at a temperature of 500 °C has been shown, which will ensure their higher safety when heated in an ore-thermal furnace.

Keywords: Copper, concentrate, borate ore, concentration, sulfite, pellets, temperature, fluxing additives.

***В. Ю. Куликов¹, Ш. С. Байбеков², П. В. Ковалев³, Ж. Д. Жолдубаева⁴**

^{1,2,4}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

²ҰЗУ Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей, Санкт-Петербург қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0736-9421>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5664-249X>

*e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru

ВАРИАТИВТІ СТАТИКАЛЫҚ ҚЫСЫМДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚҰМ-ШАЙЫР ҚАЛЫБЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АРТТЫРУ

Құм-шайыр қалыптарын құю өндірісінде пайдалану өткен ғасырдың алпысыншы жылдарынан белгілі. Мұндай қалып бетінің жоғары тазалығымен және құйманың өлшемдері мен геометриясының жоғары дәлдігімен құймаларды алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ құм-шайырлы қалыптардың ұзақ сақталғыштығы, төмен ылғал тартқыштығы және басқа да бірқатар артықшылықтары бар. Қабықты қалыптарды өндіріске кеңінен енгізуге олардың екі кемшілігі – термореактивті шайырды қыздыру кезінде зиянды шығарындылардың пайда болуы – аммиак, фенол және шайырдың салыстырмалы жоғары құны кедергі болды. Екі кемшілікті де бұрын осы жобаның авторлық ұжымы статикалық қысым қоспасына термиялық әсер етумен бір мезгілде пайдалану кезінде жоды ұсынған болатын.

Құм-шайыр қоспаларынан құю қалыптарын пайдалану сапалы құймалар алуды қамтамасыз етеді. Құймаларды дайындау процесінің тиімділігін арттыру құю қалыптарын дайындау технологиясын жетілдіру қажеттілігін туындатады.

Осыған байланысты қалыптың қасиеттерін реттеуді және олардың бүкіл көлемі бойынша біркелкілігін қамтамасыз ететін технологиялық процесті жетілдіруге бағытталған зерттеулер өзекті болып табылады. Дайындалатын қабықша қалыбының параметрлерін реттеу дәрежесін арттыру мүмкіндігі бар. Қабықтың қалыптасуы (қатты – сұйық – қатты) ішінде шайырдың агрегаттық жай-күйінің өзгеруін ескере отырып, қысым шамасы өзгерту (яғни қысымның вариативтік шамасын пайдалану) орынды.

Кілтті сөздер: құм-шайырлы қалып, пульвербакелит, спирт, вариативті статикалық қысым, шайыр, аммиак.

Кіріспе

Құйманы алу тәсілі бірінші кезекте құйма бетінің кедір-бұдырлығына және өлшемдік дәлдігіне әсер етеді. Тау-кен шахта жабдығы бөлшектерінің құймаларын дайындау дәстүрлі түрде құм-балшықты қалыптарында (ҚБҚ) жүргізіледі. Мұндай технологияның артықшылықтары (салыстырмалы төмен құны) да, кемшіліктері де (жоғары кедір-бұдырлық, қалыптарды қағу, пайдаланылған қоспаны жылжыту кезінде айтарлықтай шаң бөлінуі, балшық бен ылғалдың болуына байланысты ҚБҚ-ның газ өткізгіштігінің төмендігі, нысанның кінәсінен ақау болу ықтималдығы) бар. Нәтижесінде құймаларды дайындаудың сапалы жаңа тәсілдерін іздеу қажет [1,2].

Құм-шайыр қоспасын (ҚШҚ) пайдалану жыл сайын ҚБҚ-мен салыстырғанда артықшылықтарын көрсетіп келеді. ҚБҚ пайдалану келешегі бұрынғыдай тартымды емес [3].

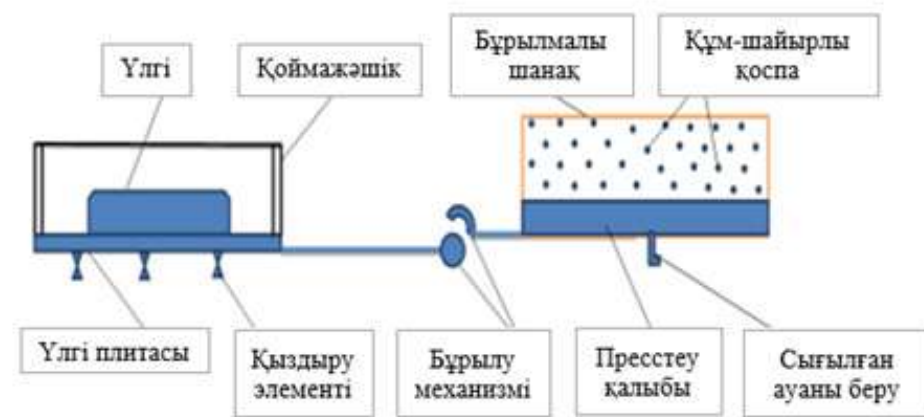
Құю қалыбының негізгі параметрлері беріктігі, қаттылығы (механикалық қасиеттері), тығыздығы, газ өткізгіштігі, кеуектілігі, кедір-бұдырлығы (технологиялық параметрлері) болып табылады. Құю үшін жұмыста негізгі анықталатын сапа параметрлері ақаулардың болмауы (тұтану, тұтастық), кедір-бұдырлық болып табылады.

Материалдар мен әдістері

Қоспаның негізгі компоненттері кварц құмы және байланыстырушы – пульвербакелит болып табылады. Фенолоформальдегидті шайыр ұнтағы мен уротропиннің қоспасы болып табылатын СФ-011А маркалы пульвербакелит кеңінен таралған болып табылады [4,5]. Бұдан басқа, қоспаның құрамына керосин мен еріткіш (техникалық спирт) кіреді. Зерттеуге 1К0315 және 1К02 маркалы кварц құмдары негізіндегі қалыптық қоспалар ұшырады, онда байланыстырушы ретінде СФ-011А пульвербакелиті, сондай-ақ қоспалар: керосин, уайт-спирит, бор қышқылы пайдаланылды.

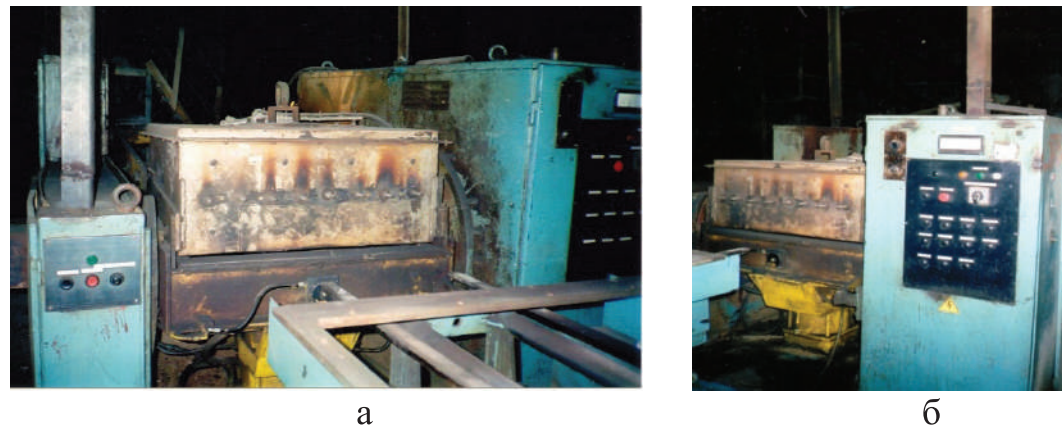
Құм-шайыр қоспасынан жасалған қатты қабықтың қалыптасу процесін зерттеу эксперименттік қондырғыда және түпнұсқа конструкциялы аспаптарда жүргізілді.

Сыналатын технология бойынша қабықты қалыптарды дайындауға арналған қалыптау машинасы 51713 үлгісіндегі қалыптау жартылай автоматы негізінде жаңғыртылған. 51713 маркалы қалыптау машинасының сұлбасы 1-суретте берілген.



1-сурет – 51713 маркалы қалыптау машинасының сұлбасы

Қалыптау машинасы құм-шайыр қоспасы төгілетін шанақтан, пештен, жүктеменің қосымша статикалық қосымшасына арналған плитадан, үлгісі бар электрмен қыздырылатын үлгілік плита орнатылған үстелден тұрады. Үлгілік плитаға қорамжәшік орнатылады [6,7,8]. Қалыптау машинасының жалпы түрі 2-суретте берілген.



2-сурет – Шанақтағы пресстеу плитасымен толық жарақтандырылған 51713 маркалы қалыптау машинасы:
а – шанақ және үлгілік плита жағынан;
б – басқару пульті жағынан

Үлгілер қабықты қалыптарды дайындау технологиясына сәйкес дайындалды. Беріктікке сынау үшін үлгілер (3, 4-суреттер) қабықшалы қалыптар мен өзектерді дайындау процесіне ұқсас технологиялық процесс бойынша дайындалған. h үлгілерінің қалыңдығы қысымның шамасына, модельдік плитаның қызу дәрежесіне, плитада ұстау уақытына, құм-шайыр қоспасының алдын ала төгілу қалыңдығына байланысты. Алынған нәтижелердің орташа арифметикалық

көрсеткіші беріктік көрсеткіші деп саналды. Егер бір үлгінің деректері орташа арифметикадан 10% артық ерекшеленсе, онда сынақтар қайталанды [6,9,10].



3-сурет – Үзілуге сынауға арналған үлгі

Үлгілердің биіктігі пресстеу қысымына, үлгілік плитаның температурасына, қоспаға температураның әсер ету кезеңіне байланысты. Алынған нәтижелердің орташа арифметикалық көрсеткіші беріктік көрсеткіші деп саналды. Бір үлгідегі параметрлердің мәндері орташа арифметикалық мәндерден 10% артық айырмашылығы болған жағдайда, сынақтар қайталанады [11,12].



4-сурет – Қысуға беріктік шегін анықтауға арналған үлгі

Үлгілерді зерттеу үшін Халықаралық материалтану орталығы мен Қарағанды мемлекеттік техникалық университетінің «КОРМС» инженерлік үлгідегі сынақ зертханасының аккредиттелген зертханаларының стандартталған әдістемелері мен қазіргі заманғы жабдықтары (МЕМСТ ИСО 17025-2009 «Сынақ және калибрлеу зертханаларының құзыреттілігіне қойылатын жалпы талаптар») пайдаланылды.

Қалыптың қысылуға беріктігі, үзілуге беріктігі, кеуектілігі, газ өткізгіштігі, кедір-бұдырлығы, сондай-ақ құйманың кедір-бұдырлығы сияқты параметрлері айқындалды.

Қысуға беріктікті анықтау үшін INSTRON-100 механикалық қасиеттерін анықтау үшін едендік қондырғы қолданылды (5-сурет) [13,14].



5-сурет – Механикалық қасиеттерін анықтауға арналған қондырғының жалпы түрі INSTRON-100

Үлгілер мен құйма дайындамалардың кедір-бұдырлығын оларды тазартқаннан кейін TR-220 кедір-бұдырлығын өлшеуге арналған аспапты пайдалана отырып анықтаған (6-сурет) [15].



6-сурет – Кедір-бұдырлықты өлшеуге арналған аспап TR-220

Қалыптың газ өткізгіштігінің құю қалыбын қатайту процесінде қоса берілетін қысым шамасына тәуелділігін анықтады. Құм-шайыр қоспасының (ҚШҚ) газ өткізгіштігін тексеру үшін құм-балшықты қоспаларын сынаудың жалпыға белгілі әдістемесі қолданылды [16]. Диаметрі 40-50 мм үлгілерді сынап көрдік, олар гильзадағы копердің көмегімен дайындалды. Сондай-ақ қоспада құмның әртүрлі фракциялық құрамы пайдаланылды [6].

Құм-шайыр қалыбының газ өткізгіштігін 04315M маркасының газ өткізгіштігін анықтауға арналған аспапта жалпыға белгілі әдістеме бойынша анықталынған (7-сурет).



7-сурет – 04315M маркасының газ өткізгіштігін анықтауға арналған аспап

Біріктіруді Nobertherm пешінде жүргізді (10-сурет).



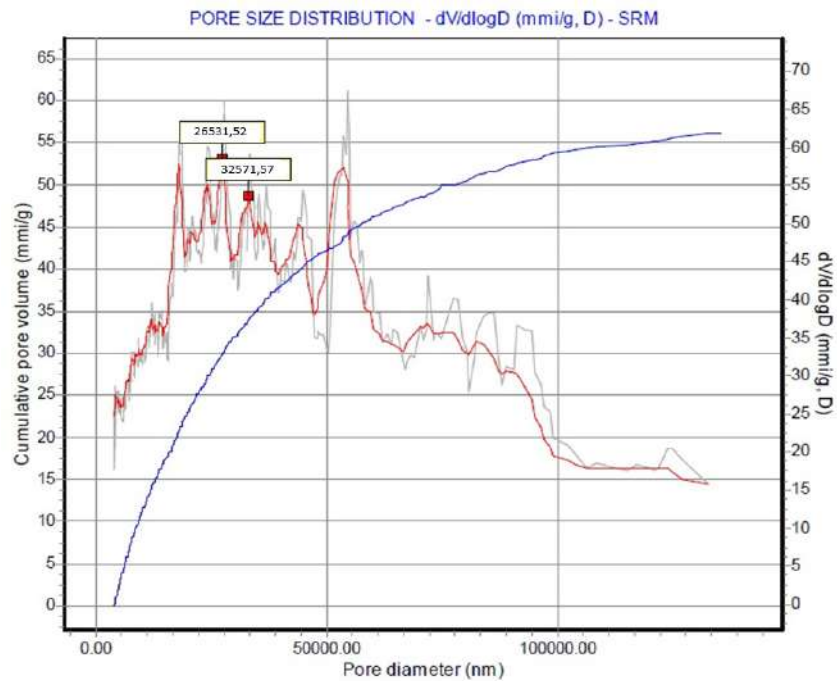
10-сурет – Nobertherm пеші

Кеуектілікті зерттеу радиусы 2 нм-ге дейінгі тесіктерді тіркеуге мүмкіндік беретін PASCAL 400 сынап өлшеуішінде жүргізілді (8-сурет) [6,17].



8-сурет – PASCAL 400 жүйесінің порозиметрі

Бұл Pascal порозиметр модулі 400 МПа-ға дейін қысымға қол жеткізуге мүмкіндік береді және қаттылық дәрежесі әртүрлі материалдарды зерттеуге мүмкіндік береді [18,19]. Алынатын порограмм үлгісі 9-суретте келтірілген.



9-сурет – Вариативті қысым кезінде алынған қабық тәрізді кеуектердің таралуы

400 МПа қысымы мезопоралардың төменгі шегіне дейін кеуектілігін тексеруге мүмкіндік береді. Алайда, мұндай зерттеулер үлгіні алдын-ала дайындауды қажет етеді. Талдауды бастамас бұрын үлгіні газсыздандыру және дилатометрді жаңа сынаппен толтыру қажет. Бұл дайындықты Pascal 140 көмегімен орындауға немесе дилатометрді толтыруға арналған арнайы жинақты пайдалануға болады [20].

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу барысында үш қысым мәні бар бес пресстеу режимі қолданылды, МПа. P_1 қысымының мәні – қоспаны үлгілік плитаға төгудің аяқталуына, P_2 қысымы – үлгілік плитаға іргелес қабаттардағы шайырдың сұйық күйге өтуіне, P_3 қысымы – осы қабаттардағы шайырдың қатты күйге өтуіне сәйкес келеді: 1) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,15$; $P_3 = 0,40$; 2) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,35$; $P_3 = 0,20$; 3) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,30$; $P_3 = 0,10$; 4) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,20$; $P_3 = 0,35$; 5) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,20$; $P_3 = 0,30$. Зерттеуде пайдаланылған 5 түрлі режимдегі қоспа құрамы 1-кестеде көрсетілген. 2-кестеде вариативтік қысымның газ өткізгіштікке, кедір-бұдырлыққа, қысуға беріктігі және 5 түрлі режимде қабықтың престелген нысандарының үзілуіне беріктігі көрсетілген.

1-кесте – Зерттеуде пайдаланылған 5 түрлі режимдегі қоспа құрамы

№	Қысым мәні	1K020 маркалы кварц құмы, %	1K0315 маркалы кварц құмы, %	Пульвер-бакелит СФ-011А, %	керосин, %	Уайт-спирт, %	Бор қышқылы, %
1	$P_1 = 0,25$	-	100	1,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_2 = 0,15$	30	70	2 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_3 = 0,40$	-	100	2,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
2	$P_1 = 0,25$	30	70	3 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_2 = 0,35$	30	70	2 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_3 = 0,20$	30	70	3,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
3	$P_1 = 0,25$	-	100	2 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_2 = 0,30$	30	70	3,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_3 = 0,10$	-	100	4 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
4	$P_1 = 0,25$	-	100	4,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_2 = 0,20$	-	100	5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_3 = 0,35$	-	100	5,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)

5	$P_1 = 0,25$	30	70	4,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_2 = 0,20$	30	70	5,5 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)
	$P_3 = 0,30$	30	70	6 (100 % жоғары)	0,3 (100 % жоғары)	2,5 (100 % жоғары)	0,1 (100 % жоғары)

Қысымды арттырудың жоғары жылдамдығының арқасында (ең жоғары жылдамдыққа 9 минут ішінде ғана қол жеткізуге болады) бұл құрал әсіресе жұмыс жылдамдығы мен өнімділігі басым сипаттамалар болып табылатын сапаны бақылау зертханасында ұсынылады.

2-кесте – Вариативтік қысымның газ өткізгіштікке, кедір-бұдырлыққа, қысуға беріктікке және үзілуге беріктікке әсері

№	Қысым мәні	Газ өткізгіштік, ед.	Кедір-бұдырлық, мкм	Қысуға беріктік, МПа	Үзілуге беріктік, МПа
1	$P_1 = 0,25$	124	210	14,5	4,1
	$P_2 = 0,15$	131	193	12,5	3,9
	$P_3 = 0,40$	108	214	13	4,5
2	$P_1 = 0,25$	124	203	14,5	4,2
	$P_2 = 0,35$	115	225	13,8	4,3
	$P_3 = 0,20$	129	204	13,5	3,9
3	$P_1 = 0,25$	124	206	14,5	4,0
	$P_2 = 0,30$	117	213	14,3	4,2
	$P_3 = 0,10$	136	185	11,7	4,1
4	$P_1 = 0,25$	124	204	14,5	4,4
	$P_2 = 0,20$	125	201	13,5	4,3
	$P_3 = 0,35$	116	228	13,7	4,6
5	$P_1 = 0,25$	105	204	14,5	4,8
	$P_2 = 0,20$	117	200	13,5	4,7
	$P_3 = 0,30$	90	212	15	4,9

Қысымның жоғарылауы газ өткізгіштігін арттыратыны кестеде көрініп тұр, ал қысымның төмендеуі құм бөшектерінің релаксациясына және ашылуына алып келгендіктен, нәтижесінде газ өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі. Сонымен қатар, қысымның төмендеуі кедір-бұдырлықты азайтады. Ең оңтайлы режим ретінде 5 режимді $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,20$; $P_3 = 0,30$ алуға болады. Мұнда көрсетілгендей басқа режимдермен салыстырғанда газ өткізгіштігі төмен, кедір-бұдырлығы аз және қысуға беріктігі мен үзілуге беріктігі жоғары болып тұр.

Қабықшалы құм-шайыр қалыптары жоғары беріктікке және газ өткізгіштікке ие, ал ылғалды сіңіруге, төгілуге және қатайтатын қорытпаның шөгуіне қарсы тұруға бейім емес. Сонымен қатар, олар құйма пайда болғаннан кейін оңай бұзылады. Бұл жоғары өлшемді дәлдікке ие құймаларды алу үшін қолайлы жағдай жасайды.

Қысымды арттыру арттыру арқылы байланыстырғыштың құрамын азайтуға жақсы мүмкіндік береді. Шайырдың қатаюы кезінде қысымның жоғарылауы қалыптың бетіндегі құм бөлшектерінің сығылуына әкелетіні анықталды, бұл

қабық қуысының ішкі бөлігінің бұзылуына және кедір-бұдырының жоғарылауына әкеледі.

Қысым төмендеген сайын кедір-бұдырлықты азайтқанмен газ өткізгіштіктің жоғарлауына және қысуға беріктік пен үзілуге беріктіктердің төмендеуіне алып келеді. Ал қысым жоғарылаған сайын керісінше кедір-бұдырлылық жоғарылап, газ өткізгіштік төмендеп және қысуға беріктік пен үзілуге беріктіктер арта түседі. Сондықтан бұл жерде жоғарыда атап көрсеткендей ең тиімді режим ретінде 5 режим тандап алынды.

Қорытынды

1. Құм-шайыр қабығын қалыптастыру кезінде вариативті қысымды қолдану ең қолайлы құрылымды қалыптастыру, құм бөлшектерінің біркелкі төселуі және құм түйіршіктері арасында шайырдың таралуы арқылы қалыптың негізгі көрсеткіштеріне оң әсер ететіні анықталды. Яғни, тегіс беті бар қабықтың біртекті құрылымы қалыптасады (Rz45-60 басып шығару жағындағы қалып бетінің тазалығы).

2. Күйікті азайту және үлгінің жоғары беріктігін алу тұрғысынан ең оңтайлы режим 5) $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,20$; $P_3 = 0,30$ деп танылды. Мұндай жағдайларда жоғары беріктік шегін қамтамасыз ете отырып, салыстырмалы түрде төмен газ өткізгіштігі бар біртекті құрылым қалыптасады.

3. Вариативті қысымды қолдану қабық тәрізді кеуектердің мөлшерін олардың көп болуымен азайтады, бұл балқыманы құю кезінде газдардың шығарылуына ықпал етеді, бірақ балқыманың гидравликалық соққысы немесе сыртқы механикалық кернеулер кезінде бұзылуға жол бермейтін жоғары беріктікті қамтамасыз етеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Кукуй Д. М.** Теория и технология литейного производства [Текст] В 2-х ч. Ч. 1 Формовочные материалы и смеси: Учебник / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов и др. – М. : ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2015. – 384 с.

2 **Волков Д. А., Волков А. Д., Ефименко А. В.** Литье в оболочковые формы и его универсальность в мелкосерийном и серийном производстве [Текст] // Литейщик России, 2016. – № 4. – С. 26–30.

3 **Буданов Е. Н.** Современные варианты cold box amin-технологии и возможности ее применения на базе опыта фирмы LAEMPE [Текст] // Литейное производство, 2016. –№ 5. – 23-27.

4 **Сыроватченко П. В.** Справочник технолога-приборостроителя [Текст] Том 1 Издание 2. В 2-х томах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2015. – 607 с.: ил.

5 **Муравьев Е. Н., Дружевский М. А.** Современные материалы и оборудование для формообразования [Текст] // Литейное производство, 2017. – № 10. – С. 19–22.

6 **Nwaogua U. C., Poulsen T., Stage R. K., Bischoff C., Tiedje N. S.** New sol–gel refractory coatings on chemically-bonded sand cores for foundry applications to

improve casting surface quality [Text] // Surface and Coatings Technology, 2016. – Vol. 205. – Iss.16. – P. 4035-4044.

7 **Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Щербакова Е. П.** Определение ядра ползучести при формообразовании песчано-смоляной формы [Текст] // Вестник ВКГТУ, 2017. – № 4. – С. 58–62.

8 **Еремин Е. Н., Ковалёва Т. В.** Определение теплофизических характеристик оболочковых литейных форм из песчано-смоляных смесей [Текст] // Омский научный вестник. 2016. – № 4 (148). С. 23–26.

9 **Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Щербакова Е. П., Ковалёва Т. В.** Выравнивание напряжений по высоте оболочковой формы при одновременно термическом и механическом воздействиях [Текст] // Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева (Республика Казахстан). 2018. – № 1(125). – С. 269–273.

10 **Ибатов М. К., Куликов В. Ю., Исагулов А. З., Квон Св. С., Ковалёва Т. В., Щербакова Е. П.** Совершенствование технологии изготовления отливок в песчано-смоляных формах [Текст] // Труды университета, Изд-во КарГТУ, Караганда, 2019. – № 1. – С. 22–26.

11 **Куликов В. Ю., Еремин Е. Н., Ковалёва Т. В., Квон Св. С., Исагулова Д. А.** Разработка состава песчано-смоляной смеси для формообразования в условиях вариативного прессования [Текст] // Литейное производство, Издательский дом «Литейное производство», Москва, 2019. – № 4. – С. 22–26.

12 **Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Квон Св. С., Ковалёва Т. В.** Моделирование формообразования песчано-смоляных смесей [Текст] // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», посвященной 30-летию кафедры технической механики и конструирования машин». – п. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 249–254.

13 **Куликов В. Ю., Еремин Е. Н., Ковалёва Т. В., Щербакова Е. П.** Влияние давления на прочность оболочковых форм [Текст] // Литейное производство. 2017. – № 5. – С. 23–25.

14 **Куликов В. Ю., Исагулов А. З., Еремин Е. Н., Ковалёва Т. В.** Повышение равномерности плотности и увеличение прочности оболочковой формы [Текст] // Литейное производство. – 2018. – № 3. – С. 27–29.

15 **Исагулов А. З., Ибатов М. К., Куликов В. Ю., Щербакова Е. П., Ковалёва Т. В.** Shell forming mode effect on casting quality [Текст] // Metalurgija, Хорватия, 2019. – № 58(3-4). – С. 295–298.

16 **Кузелев М. Я.** Справочник рабочего – литейщика [Текст] – 3-е изд. – М. : Свердловск, 2015. – 584 с.

17 **Ковалёва Т. В.** Влияние способа изготовления литейной формы на структуру и свойства закристаллизованного в ней слитка [Текст] // Техника и технологии машиностроения : материалы VII Междунар. науч.- техн. конф. – Омск, 2018. – С. 108–112.

18 **Куликов В. Ю., Квон Св. С., Ковалёва Т. В., Еремин Е. Н.** Исследования влияния режимов прессования на параметры пористой структуры формы [Текст] // Литейщик России. – 2018. – № 8. – С. 9–14.

19 **Куликов В. Ю., Квон Св. С., Еремин Е. Н., Ковалёва Т. В.** Исследование пористости песчано-смоляных форм, полученных при вариативном давлении [Текст] // XXVI Международная научная техническая конференции «FOUNDRY 2019» (10-12 апреля 2019 г.). – Плевен, Болгария, 2019. – С. 15–16.

20 **Ковалёва Т. В., Еремин Е. Н., Квон Св. С., Куликов В. Ю.** Исследование пористости песчано-смоляных форм, изготовленных с использованием нестационарного давления [Текст] // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в литейном производстве», посвящённой 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н. Э. Баумана (22–23 апреля 2019 г., Москва) – Москва, Россия, 2019 г. С. 260–263.

REFERENCES

1 **Kukuj D. M.** Teoriya i tekhnologiya litejnogo proizvodstva [Theory and technology of foundry production] [Tekst] V 2-h ch. CH. 1 Formovochnye materialy i smesi: Uchebnik / D. M. Kukuj, V. A. Skvorcov i dr. - M.: INFRA-M; Mn.: Nov. znanie, 2015. – 384 p.

2 **Volkov D. A., Volkov A. D., Efimenko A. V.** Lit'e v obolochkovy'e formy i ego universal'nost' v melkoserijnom i serijnom proizvodstve [Shell casting and its versatility in small-scale and mass production] [Tekst] // Litejshhik Rossii, 2016. – № 4. – P. 26–30.

3 **Budanov E. N.** Sovremenny'e varianty` cold box amin-texnologii i vozmozhnosti ee primeneniya na baze opy`ta firmy` LAEMPE [Modern variants of cold box amin-technology and possibilities of its application on the basis of LAEMPE experience] [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo, 2016. – № 5. – P. 23–27.

4 **Sy`rovatchenko P. V.** Spravochnik texnologa-priborostroitel'ya [Instrument Technologist's Handbook] [Tekst] Tom 1 Izdanie 2. V 2-h tomax. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 2015. — 607 s.: il.

5 **Murav`ev E. N., Druzhevskij M. A.** Sovremenny'e materialy` i oborudovanie dlya formoobrazovaniya [Modern moulding materials and equipment] [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo, 2017. – № 10. – P. 19–22.

6 **Nwaogua U. C., Poulsen T., Stage R. K., Bischoff C., Tiedje N. S.** New sol–gel refractory coatings on chemically-bonded sand cores for foundry applications to improve casting surface quality [Tekst] // Surface and Coatings Technology, 2016. – Vol. 205. – Iss.16. – P. 4035–4044.

7 **Isagulov A. Z., Kulikov V. Yu., Shherbakova E.P.** Opredelenie yadra polzuchesti pri formoobrazovanii peschano-smolyanoj formy` [Determination of creep nucleus during formation of sand-resin form] [Tekst] // Vestnik VKGTU, 2017. – № 4. – P. 58–62.

8 **Eremin E. N., Kovalyova T. V.** Opredelenie teplofizicheskix karakteristik obolochkovy`x litejny`x form iz peschano-smolyany`x smesej [Determination of thermophysical characteristics of shell molds from sand-resin mixtures] [Tekst] // Omskij nauchny`j vestnik. – 2016. – № 4 (148). P. 23–26.

9 **Isagulov A. Z., Kulikov V. Yu., Shherbakova E. P., Kovalyova T. V.** Vy`ravnivanie napryazhenij po vy`sote obolochkovej formy` pri odnovenno termicheskom i mexanicheskom vozdejstviyax [Equalization of stresses along the height of the shell mold at the same time thermal and mechanical effects] [Tekst] // Vestnik Kazaxskogo nacional`nogo texnicheskogo universiteta im. K.I. Satpaeva (Respublika Kazaxstan). 2018. – № 1(125). – P. 269–273.

10 **Ibatov M.K., Kulikov V.Yu., Isagulov A.Z., Kvon Sv.S., Kovalyova T.V., Shherbakova E.P.** Sovershenstvovanie texnologii izgotovleniya otlivok v peschano-smolyany`x formax [Improvement of technology for making castings in sand-resin molds] [Tekst] // Trudy` universiteta, Izd-vo KarGTU, Karaganda, 2019. – № 1. – P. 22–26.

11 **Kulikov V. Yu., Eremin E. N., Kovalyova T. V., Kvon Sv. S., Isagulova D. A.** Razrabotka sostava peschano-smolyanoj smesi dlya formoobrazovaniya v usloviyax variativnogo pressovaniya [Development of sand-resin mixture composition for formation under variable pressing conditions] [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo, Izdatel`skij dom «Litejnoe proizvodstvo», Moskva, 2019. – № 4. – P. 22–26.

12 **Isagulov A. Z., Kulikov V. Yu., Kvon Sv. S., Kovalyova T. V.** Modelirovanie formoobrazovaniya peschano-smolyany`x smesej [Modeling the formation of sand-resin mixtures] [Tekst] // Materialy` mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Aktual`ny`e problemy` agroinzhenerii v XXI veke», posvyashhennoj 30-letiyu kafedry` texnicheskoj mexaniki i konstruirovaniya mashin». – p. Majskij: FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2018. – P. 249–254.

13 **Kulikov V. Yu., Eremin E. N., Kovalyova T. V., Shherbakova E. P.** Vliyanie davleniya na prochnost` obolochkovy`x form [Influence of pressure on strength of shell moulds] [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo. – 2017. – № 5. – P. 23–25.

14 **Kulikov V. Yu., Isagulov A. Z., Eremin E. N., Kovalyova T. V.** Povy`shenie ravnomernosti plotnosti i uvelichenie prochnosti obolochkovej formy` [Increase density uniformity and shell mold strength] [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo. – 2018. – № 3. – P. 27–29.

15 **Isagulov A. Z., Ibatov M. K., Kulikov V. Yu., Shherbakova E. P., Kovalyova T. V.** Shell forming mode effect on casting quality [Tekst] // Metalurgija, Xorvatiya, 2019. – № 58(3–4). – P. 295–298.

16 **Kuzelev M. Ya.** Spravochnik rabochego – litejshhika [Foundry Worker's Handbook] [Tekst] – 3-e izd. – M. : Sverdlovsk, 2015. – 584 p.

17 **Kovalyova T. V.** Vliyanie sposoba izgotovleniya litejnoj formy` na strukturu i svojstva zakristallizovannogo v nej slitka [Influence of mold manufacturing method on structure and properties of ingot crystallized therein] [Tekst] // Tekhnika i texnologii mashinostroeniya: materialy` VII Mezhdunar. nauch.- tehn. konf. – Omsk, 2018. – P. 108–112.

18 **Kulikov V.Yu., Kvon Sv.S., Kovalyova T.V., Eremin E.N.** Issledovaniya vliyaniya rezhimov pressovaniya na parametry` poristoj struktury` formy` [Studies of the influence of pressing modes on the parameters of the porous structure of the mold] [Tekst] // Litejshhik Rossii. – 2018. – № 8. – P. 9–14.

19 **Kulikov V.Yu., Kvon Sv.S., Eremin E.N., Kovalyova T.V.** Issledovanie poristosti peschano-smolyany`x form, poluchenny`x pri variativnom davlenii [Porosity Analysis of Sand and Resin Forms at Variable Pressure] [Tekst] // XXVI Mezhdunarodnaya nauchnaya texnicheskaya konferencii «FOUNDRY 2019» (10-12 aprelya 2019 g.). – Plevn, Bolgariya, 2019. – P. 15–16.

20 **Kovalyova T. V., Eremin E. N., Kvon Sv. S., Kulikov V. Yu.** Issledovanie poristosti peschano-smolyany`x form, izgotovlennyy`x s ispol`zovaniem nestacionarnogo davleniya [Porosity study of sand-resin molds manufactured using transient pressure] [Tekst] // Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii «Innovacionny`e texnologii v litejnom proizvodstve», posvyashhyonnoj 150-letiyu fakul`teta «Mashinostroitel`ny`e texnologii» i kafedry` «Texnologii obrabotki materialov» MGTU im. N. E`. Bauman (22–23 aprelya 2019 g., Moskva) – Moskva, Rossiya, 2019. – P. 260–263.

22.10.24 ж. баспаға түсті.

23.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

13.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

***В. Ю. Куликов¹, Ш. С. Байбеков², П. В. Ковалев³, Ж. Д. Жолдубаева⁴**

^{1,2,4}Қарагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

³НИУ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, г. Санкт-Петербург

Поступило в редакцию 22.10.24.

Поступило с исправлениями 23.10.24.

Принято в печать 13.12.24.

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАРИАТИВНОГО СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Использование песчано-смоляных форм в литейном производстве известно с шестидесятих годов прошлого века. Такая форма позволяет получать отливки с высокой чистотой поверхности и высокой точностью размеров и геометрии отливки. Также песчано-смоляные формы имеют продолжительный срок живучести, низкую гигроскопичность и ряд других достоинств. Широкому внедрению оболочковых форм в производство препятствовали два их недостатка – образование вредных выбросов при нагреве термореактивной смолы – аммиак, фенол и относительно высокая стоимость смолы. Устранение обоих недостатков ранее было предложено

авторским коллективом данного проекта возможно при использовании одновременно с термическим воздействием на смесь статического давления.

Использование литейных форм из песчано-смоляных смесей обеспечивают получение качественных отливок. Повышение эффективности процесса изготовления отливок вызывает необходимость совершенствования технологии изготовления литейных форм.

В связи с этим исследования, направленные на совершенствование технологического процесса, обеспечивающего регулирование свойств формы и их равномерности по всему объему, являются актуальными. Имеется возможность увеличить степень регулирования параметров изготавливаемой оболочковой формы. Учитывая изменение агрегатного состояния смолы в течение формообразования оболочки (твердая – жидкая – твердая), целесообразно изменять величину давления (то есть использовать вариативную величину давления).

Ключевые слова: песчано-смоляная форма, пульвербакелит, спирт, вариативное статическое давление, смола, аммиак.

*V. Iu. Kulikov¹, Sh. S. Baibekov², P. V. Kovalev³, Zh. D. Zholdubaeva⁴

^{1,2,4}Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

³NRU Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, Saint Petersburg

Received 22.10.24.

Received in revised form 23.10.24.

Accepted for publication 13.12.24.

INCREASING THE MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE SAND-RESIN MOLD USING VARIABLE STATIC PRESSURE

The use of sand and resin molds in foundry has been known since the sixties of the last century. This shape makes it possible to obtain castings with high surface purity and high dimensional accuracy and casting geometry. Also, sand-resin forms have a long life, low hygroscopicity and a number of other advantages. The widespread introduction of shell forms into production was hindered by two of their drawbacks – the formation of harmful emissions when heating a thermosetting resin - ammonia, phenol and the relatively high cost of the resin. The elimination of both shortcomings was previously proposed by the team of authors of this project, possibly when used simultaneously with the thermal effect on the mixture of static pressure.

The use of molds from sand-resin mixtures ensures the production of high-quality castings. Increasing the efficiency of the casting process makes it necessary to improve the technology for manufacturing casting molds.

In this regard, studies aimed at improving the technological process that ensures the regulation of the properties of the form and their uniformity throughout the volume are relevant. It is possible to increase the degree of control of the parameters of the manufactured shell mold. Considering the change in the state of aggregation

of the resin during the formation of the shell (solid - liquid - solid), it is advisable to change the pressure value (that is, use a variable pressure value).

Keywords: sand-resin mold, pulverbakelite, alcohol, variable static pressure, resin, ammonia.

**О. Р. Сариев¹, М. С. Алмагамбетов², Н. З. Нурғали³,
Е. У. Жумағалиев⁴, *А. М. Әбдірашит⁵**

^{1,4,5}Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актөбе

^{2,3}ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,

Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0745-848X>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5501-1385>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0477-7867>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0718-3041>

*e-mail: abdirashit.assylbek@gmail.com

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ
ПРИ ДРОБЛЕНИИ ФЕРРОХРОМА И ЕЁ ОКУСКОВАНИЕ**

В процессе производства ферросплавов образуются значительные объемы тонкодисперсной металлической пыли, что приводит к потерям ценного материала и требует разработки эффективных методов его утилизации. Одним из перспективных направлений является окускование пылевидных отходов с последующей переработкой. В данной работе исследуется возможность переработки аспирационной пыли (АП), образующейся при дроблении высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ), путем брикетирования с добавлением пыли с рукавных фильтров сухих газоочисток (ПСГ). Анализ физико-химических характеристик АП показал, что материал дисперсный и по химическому составу практически идентичен промышленным маркам ВУФХ. Однако низкая смачиваемость и особенности формы зерен затрудняют его самостоятельное брикетирование. Добавление ПСГ повышает межчастичную адгезию, улучшает механические свойства брикетов, а также служит дополнительным источником хрома и шлакообразующих компонентов, что позволяет исключить использование оборотных шлаков при плавке. Использование полимерных связующих обеспечивает получение брикетов с высокой механической прочностью, которая в 2-3 раза превышает стандартные требования к окускованному сырью. Предложенный метод переработки позволяет снизить потери хрома, уменьшить объем отходов, повысить эффективность ресурсопользования и интегрировать процесс в существующую инфраструктуру ферросплавных производств. Таким образом, разработанная технология способствует рациональному использованию вторичных материалов и снижению нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: феррохром, шихтовые материалы, аспирационная пыль, переплав, исследования, дробление.

Введение

Производство ферросплавов сопровождается образованием побочных продуктов в виде шлаков, пыли сырьевых, шихтовых материалов и товарного металла при перемещениях, дроблении и фракционировании. Шлаки от производства высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ) полностью перерабатываются в щебень, и как таковых проблем с его утилизацией на настоящий момент не существует. Пыли шихтовых материалов с аспирационных и газоочистных установок печных агрегатов подвергаются повторной переработке путем окускования и возврата в основной передел. Открытым остается вопрос по эффективной утилизации аспирационной пыли от дробления ВУФХ (АП), годовой объем образования которого по двум ферросплавным заводам в Актөбе и Аксу составляет порядка 5000 тонн.

Пыль АП достаточно дисперсная и её переработка путем переплава россыпью сопряжена со значительными механическими потерями при загрузке в печь, угаром и пылеуносом в систему газоочистки [1]. По предварительным данным, потери могут составлять до 15% от годового объема образования АП. Учитывая это, возникает необходимость минимизации или исключения таких потерь рациональными способами их повторной переработки. Одним из известных способов утилизации дисперсных материалов является окускование [2; 3; 4] или СВС-технологии [5; 6]. Некоторые виды пылей ферросплавного производства применяют в качестве компонентов агломерационной шихты [7], шихты для получения огнеупоров [8] и низкоуглеродистого феррохрома [9]. В работе [10; 11] из пыли системы аспирации, брикетированной со стальной стружкой и коксом, получен ферросиликохром. В работах [12; 13] порошок феррохрома использовали в качестве вяжущего материала, частично заменяющего портландцемент.

Материалы и методы

Для определения рациональных способов переработки вышеуказанного материала (АП) в первую очередь необходимо изучить его физико-химические характеристики. Получение более расширенной информации такого плана позволит выбрать наиболее простую и в то же время экономически выгодную технологию вовлечения АП во вторичный передел.

Самыми важными критериями физико-химических свойств материалов являются его химический и гранулометрический состав. Данные по указанным параметрам касательно АП представлены ниже в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Химический состав АП, %

Cr	Si	C	S	P	Fe
64,89	2,54	8,24	0,027	0,014	остальное

По содержанию основных элементов и примесей, химический состав АП практически идентичен стандартным маркам ВУФХ (Cr – 65–68 %, Si – 1–2 %, С – 6–9,5 %), что не должно приводить к каким-либо трудностям или отклонениям

(по содержанию ведущего элемента и примесей) при вторичной металлургической переработке.

Таблица 2 – Гранулометрический состав АП

К л а с с крупности, мм	+0,2	+0,16	+0,125	+0,071	-0,071
в, %	0,07	0,14	0,31	2,75	96,65

Анализ гранулометрического состава АП показывает, что основной класс крупности представлен фракцией минус 0,071мм. Обычно, такие тонкие классы в черной металлургии подвергают грануляции и высокотемпературному обжигу (спеканию). В нашем случае высокотемпературный обжиг неприемлем по причине высокого риска окисления ведущего элемента.

Другим немаловажным фактором, влияющим на выбор технологии переработки дисперсных материалов, является фазовый состав, структура и форма зерен.

Исследования с использованием РФА показали, что фазовая составляющая АП в основном представлена карбидом хрома Cr₇C₃ и в незначительном количестве присутствует свободный графит.

Частички (зерна) АП при металлографическом изучении имеют неправильные заостренные формы, также присутствуют игольчатые кристаллы (рисунок 1).

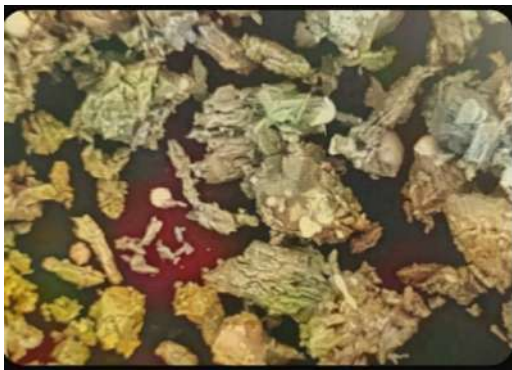


Рисунок 1 – Структура зерен АП при микроскопическом исследовании

Такие формы частичек вызывают определенные трудности при окусковании, связанные с переменной площадью поверхности контакта основного материала и связующего. Низкая площадь контакта в свою очередь приводит к образованию пустот между частичками окусковываемого материала, для заполнения которых требуется увеличение расхода связующих.

Одним из известных приемов в таких случаях является использование материалов-наполнителей, более дисперсных по гранулометрическому составу. Наполнители позволяют заполнить пустоты между частицами и увеличить их адгезию, за счет увеличения площади контакта между материалом и связующим.

Это в свою очередь приводит к экономии связующего и получению более прочных окускованных материалов.

Учитывая, что АП по сути дисперсный ВУФХ, целесообразно рассматривать материалы-наполнители, содержащие в своем составе оксиды хрома с целью минимизации рисков по разбавлению ведущего элемента. С этой точки зрения интересными могут быть пыли сухих газоочистных установок ферросплавных печей, в частности пыли от производства ВУФХ. Данные по усредненным значениям химического состава пыли можно посмотреть в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав пыли с рукавных фильтров, %

MgO	SiO ₂	CaO	Cr _{общ}	Al ₂ O ₃	Fe _{общ}	C
32,8	18,0	0,4	14,9	6,8	4,2	5,8

Из данных таблицы 3 видно, что исследуемые материалы представляют собой магнезиально-силикатно-шпинелидную систему. При переводе данного состава к трём основным оксидам системы MgO-SiO₂-R₂O₃ (R = Al, Cr, Fe) можно найти область существования на тройной диаграмме состояния (рисунок 2).

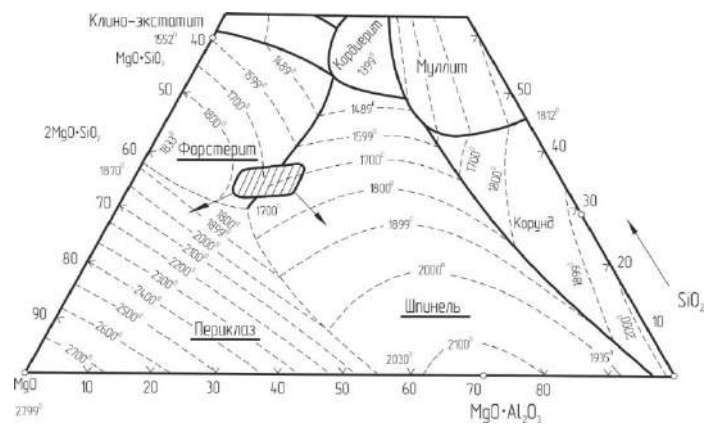


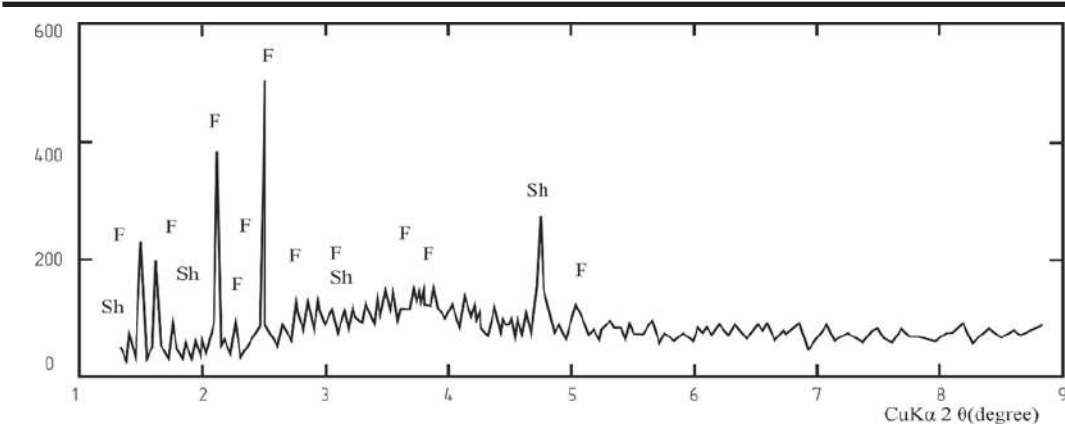
Рисунок 2 – Зона, в которой располагается состав пыли (заштрихована), на диаграмме состояния MgO-SiO₂-Al₂O₃

Гранулометрический состав пыли представлен в основном классом крупности минус 0,02мм, составляющей свыше 87 % (таблица 4).

Таблица 4 – Гранулометрический состав пыли с рукавных фильтров

Класс крупности, мм	+0,1	+0,071	+0,04	+0,02	-0,02
в, %	1,02	1,84	3,35	6,65	87,14

Изучение фазового состава пыли методом РФА показал наличие в образцах форстерита, шпинелида и стеклофазы переменного состава (основные фазы) с небольшим количеством алюмосиликатов магнезия (примесные фазы) (рисунок 3).



S-стеклофаза, F-форстерит, Sh-шпинелид
Рисунок 3 – Рентгенофазовый анализ диаграммы
пробы пыли из системы сухой газоочистки

Для уточнения вещественного состава материалов были проведены петрографические исследования. Образцы пыли помещали в алюминиевые гильзы, заливали эпоксидной смолой и полировали с использованием алмазных абразивных материалов. Исследования проводили на металлографическом микроскопе. Результаты петрографических исследований представлены на рисунке 4 и в таблице 5.

Петрографический анализ образцов показал, что структура пыли представлена, в основном, шпинелью, форстеритом и стеклом. В промежуточном веществе в небольших количествах обнаружены алюмосиликаты магния и кальция.

В таблице 5 приведен фазовый состав этих образцов по результатам визуального подсчета в полированных шлифах.

Из рисунка 4 видно, что характер кристаллизации в материалах довольно однородный. Среди основной массы форстерита выделяется значительное количество стеклофазы. Кристаллы форстерита имеют микротрещины и резорбированную поверхность. В меньшем количестве содержится шпинелид. Его кристаллы размерами меньше форстерита и имеют высокую отражательную способность.

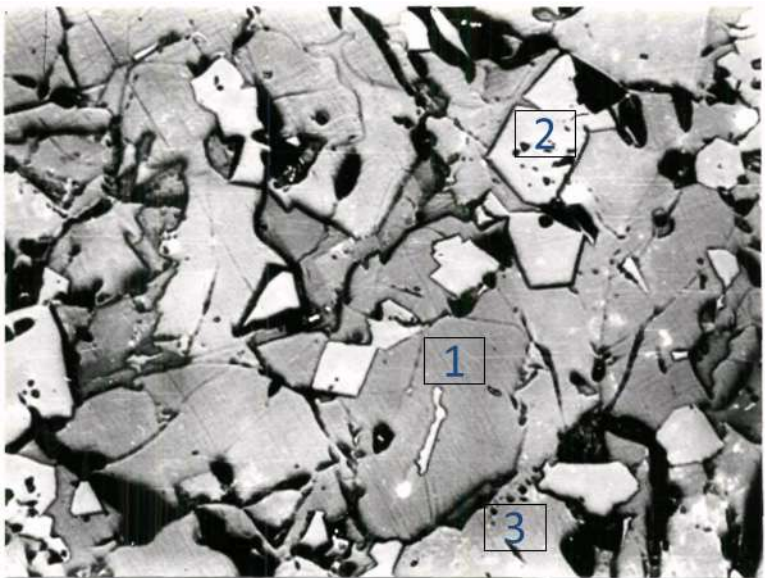


Рисунок 4 – Структура микроскопической поверхности исследуемой пробы пыли (увеличение x94, свет 1-форстерит, 2-шпинелид, 3-стеклофаза)

Таблица 5 – Фазовый состав исследуемых материалов

Вид фазы	Содержание фазы, объем. %
Форстерит ($N_g = 1,670$, $N_r = 1/635$)	20-30
Шпинелид:	
бесцветный $N = 1,726$	10-15
розовый $N = 1,750$	нет
Стекло, $N \approx 1,600$	30-40
Рудное тело	до 2
Алюмосиликаты	до 4
Металлическая фаза	до 4

Результаты и обсуждение

Для исследованных образцов пыли характерна неравномерная микропористость в пределах 5–15 %. Наличие указанных минералов (табл. 5) в исследуемых пробах подтверждается просмотром материалов в иммерсионных жидкостях и рентгенофазовым анализом.

Таким образом, по фазовому составу исследуемые пыли сухих газоочисток представляют собой смесь форстерита (до 30 объём, %), шпинелида (до 15 объём.%) и стеклофазы сложного состава (до 40 объём.%).

С учетом полученных данных по физико-химическим характеристикам АП и материала-наполнителя, проведены лабораторные опыты по их окускованию методом брикетирования. Брикетирование осуществляли по двум вариантам смесей. В первом случае брикетировали АП, во втором смесь АП и пыль сухих газоочисток далее (ПСГ). В качестве вяжущего использовали связующее на полимерной основе (далее Полимер). Данные по составам брикетируемых материалов представлены ниже в таблице 6.

Таблица 6 – Составы смесей для брикетирования

№ варианта	Материал	Связующее	Расход, %
1	АП	Полимер	3
2	АП	Полимер	4
3	АП+ПСГ (соотношение 80/20)	Полимер	3
4	АП+ПСГ (соотношение 80/20)	Полимер	4

После дозирования компонентов шихты согласно таблице 6, проводили сухое перемешивание в миксере до полного усреднения смеси. Затем полученную смесь увлажняли и продолжили перемешивание до получения однородной консистенции. Влага варьировалась в пределах 3–5 % от массы сухого материала. Готовую смесь засыпали в пресс-форму (d канала–30мм) и брикетировали на прессе модели ИП-1000-1 с усилием сжатия 30 кН на брикет (с расчетом усилия в 425 кг на 1 см²). Полученные брикеты подвергались принудительной сушке при температуре 120°С в течение 3 часов. По окончании сушки замеры показателей прочности брикетов на раскол. Результаты замеров прочностных характеристик (для получившихся) брикетов по вариантам смесей занесены в таблицу 7.

Необходимо отметить, что при брикетировании смеси на чистом АП (варианты №1-2), не зависимо от расхода связующего обладали крайне низкой сырой прочностью и легко разрушались. Увеличение усилия сжатия приводило к появлению глубоких поперечных трещин и разрывов, свидетельствуя о перепрессовке. Наглядно это продемонстрировано на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид брикетированных образцов

Ввод инертных наполнителей в виде ПСГ дало положительный эффект (смеси №3-4). Брикетсы получались плотными, без поперечных трещин и обладали достаточной сырой прочностью. Внешний вид брикетов представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Облик брикетов, полученных из смеси АП и ПСГ

Таблица 7 – Результаты прочности брикетов на раскол

№ варианта	Состав	Связующее, %	W, %	Прочность на раскол, кг/брикет	
				Сырая	Сушка 120°С, 3ч
3	АП+ПСГ (80:20)	3	5	34	297
4	АП+ПСГ (80:20)	4	5	41	505

Согласно таблице 7, брикеты с использованием материала-наполнителя обладают высокой механической прочностью на раскол. Прочность сырых и высушенных брикетов находятся в пределах 34–41 кг/брикет и 297–505 кг/брикет соответственно, при требуемых 20 кг/брикет и 150кг/брикет для брикетированного хромсодержащего сырья.

Выводы

Анализ физико-химических характеристик АП показывает, что материал достаточно дисперсный и по химическому составу практически идентичен стандартным маркам высокоуглеродистого феррохрома. Фазовый состав представлен в основном карбидом Cr₇C₃ и свободным углеродом в виде графита.

Окускование АП в чистом виде методом брикетирования не представляется возможным, связанное со спецификой форм зерен и низкой смачиваемостью. Использование материала-наполнителя в виде пыли с рукавных фильтров сухих газоочисток печей, выплавляющих ВУФХ, увеличивает межчастичную адгезию АП, что в конечном итоге позволяет окусковывать их брикетированием. Помимо этого, пыли рукавных фильтров выступают дополнительным источником хрома, а также шлакообразующего компонента, что позволит при переплаве АП исключить использование оборотных шлаков.

Брикетирование смеси АП и ПСГ с использованием связующих на полимерной основе позволяет получать брикеты, прочность на раскол которых в 2-3 раза превосходят требования к окускованным сырьевым материалам для производства феррохрома.

Информация о финансировании

Исследования выполняются в рамках грантового финансирования научных и (или) научно-технических проектов на 2024–2026 годы по проекту BR24992882 «Разработка новых технологий по переработке техногенных отходов с улучшением экологической обстановки в регионе».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Жданов, А. В., Жучков, В. И., Дашевский, В. Я., Леонтьев, Л. И. Использование отходов ферросплавного производства // Сталь. – 2014. – № 3. – С. 92–98.
- 2 Токовой, О. К., Хяккинен, В. И., Зорин, А. И., Обрезков, В. В. Изготовление, исследование и применение брикетированных ферросплавов для раскисления стали // Metallurg. – 2015. – № 1. – С. 56–59.
- 3 Курунов, И. Ф., Бижанов, А. М., Тихонов, Д. Н., Мансурова, Н. Р. Metallurgicheskie svoystva breksov // Metallurg. – 2012. – № 6. – С. 44–48.
- 4 Очеретнюк, Ф. Ф., Шерстобитов, М. А. Брикетирование мелкофракционных отсеков ферромарганца // Наука и производство Урала. – 2006. – № 2. – С. 54–56.
- 5 Манашев, И. Р., Гаврилова, Т. О. Опыт переработки мелкодисперсных ферросплавов в режиме горения на примере СВ-синтеза азотированного феррохрома // Черные металлы. – 2023. – № 4. – С. 16–22.
- 6 Манашев, И. Р., Гаврилова, Т. О., Шатохин, И. М., Зиятдинов, М. Х., Леонтьев, Л. И. Утилизация дисперсных отходов ферросплавного производства на базе металлургического СВС-процесса // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 2020. – Т. 63. – № 8. – С. 591–599.
- 7 Калиакпаров, А. Г., Суслов, А. В., Билялов, К. С., Куландин, М. П. Утилизация отходов ферросплавного производства // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 2. – С. 4–7.
- 8 Избембетов, Д. Д., Амангельдиев, Н. М., Зупаров, Н. С. Разработка технологии производства огнеупорных изделий из рукавной пыли и шлаков высокоуглеродистого феррохрома // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 2 (17). – С. 56–60.
- 9 Volkov, A. I. P. E. Stulov, A. F. Charkin, V. P. Panfilov, N. Z. Nurgali, I. A. Krasnyanskaya, M. M. Kospanov, I. I. Masgutov & S. V. Pozharov. Preliminary study of the technology of vacuum-thermal production of low-carbon ferrochrome // Metallurgist. – 2024, 68(2), С. 291–302.
- 10 Shevko, V., Afimin, Y., Karataeva, G., Badikova, A., Ibrayev, T. Theory and technology of manufacturing a ferroalloy from carbon ferrochrome dusts // Acta Metallurgica Slovaca. – 2021. – Vol. 27 (1). P. 23–37. – <https://doi.org/10.36547/ams.27.1.745>
- 11 Shevko, V., Badikova, A., Tuleyev, M. Obtaining of ferrochrome silicon from carbon ferrochrome dusts // IP Conference Proceedings. – 2022. Vol. 2650 (1). Art. № 020009. – <https://doi.org/10.1063/5.0105271>

12 Pani, A. K., Acharya, P. K., Tripathy, J. Ferrochrome Powder as a Partial Replacement of Cement // In book: Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-2020) Structure and Construction Management. – 2022. – https://doi.org/10.1007/978-981-16-8433-3_68

13 Жунусова, А. К., Мамонов, А., Жунусов, А. К. Переработка аспирационной пыли феррохрома // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 3–4. – С. 66–68.

REFERENCES

- 1 Zhadanov, A. V., Zhuchkov, V. I., Dashevskiy, V. Ya, Leontyev, L. I. Ispolzovanie othodov ferrosplavnogo proizvodstva [Use of ferroalloy production waste] [Text] // Stal'. – 2014. – № 3. – P. 92–98.
- 2 Tokovoy, O. K., Hyakkinnen, V. I., Zorin, A. I., Obrezkov, V. V. Izgotovlenie, issledovanie i primeneniye briketirovannykh ferrosplavov dlya raskisleniya stali [Manufacture, research and application of briquetted ferroalloys for steel deoxidation] [Text] // Metallurg. – 2015. – № 1. – P. 56–59.
- 3 Kurunov, I. F., Bizhanov, A. M., Tikhonov, D. N., Mansurova, N. R. Metallurgicheskie svoystva breksov [Metallurgical properties of brex] [Text] // Metallurg. – 2012. – № 6. – P. 44–48.
- 4 Ocheretnyuk, F. F., Sherstobitov, M. A. Briketirovanie melkofraktsionnykh otsekov ferromargantsa [Briquetting of fine fraction screenings of ferromanganese] [Text] // Nauka i proizvodstvo Urala. – 2006. – № 2. – P. 54–56.
- 5 Manashev, I. R., Gavrilova, T. O. Opyt pererabotki melkodispersnykh ferrosplavov v rezhime goreniiya na primere SV-sinteza azotirovannogo ferrohroma [Experience in processing fine-dispersed ferroalloys in combustion mode on the example of SHS synthesis of nitrided ferrochrome] [Text] // Chernye metally. – 2023. – № 4. P. 16–22.
- 6 Manashev, I. R., Gavrilova, T. O., Shatokhin, I. M., Ziatdinov, M. Kh, Leontyev, L. I. Utilizatsiya dispersnykh otkhodov ferrosplavnogo proizvodstva na baze metallurgicheskogo SVS-protssessa [Utilization of dispersed ferroalloy production waste based on the metallurgical SHS process] [Text] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chyornaya metallurgiya. – 2020. – Vol. 63. – № 8. – P. 591–599.
- 7 Kaliakparov, A. G., Suslov, A. V., Bilyalov, K. S., Kulandin, M. P. Utilizatsiya otkhodov ferrosplavnogo proizvodstva [Utilization of ferroalloy production waste] [Text] // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. – 2015. – Vol. 19. – № 2. – P. 4–7.
- 8 Izbembetov, D. D., Amangeldiev, N. M., Zuparov, N. S. Razrabotka tekhnologii proizvodstva огнеупорных izdeliy iz rukavnoy pyli i shlakov vysokouglerodistogo ferrohroma [Development of technology for the production of refractory products from baghouse dust and slags of high-carbon ferrochrome] [Text] // Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva. – 2015. – № 2 (17). – P. 56–60.
- 9 Volkov, A. I., Stulov, P. E., Charkin, A. F., Panfilov, V. P., Nurgali, N. Z., Krasnyanskaya, I. A., Kospanov, M. M., Masgutov, I. I., Pozharov, S. V. Preliminary

study of the technology of vacuum-thermal production of low-carbon ferrochrome [Text] // Metallurgist. – 2024. – Vol. 68 (2). – P. 291–302.

10 Shevko, V., Afimin, Y., Karataeva, G., Badikova, A., Ibrayev, T. Theory and technology of manufacturing a ferroalloy from carbon ferrochrome dusts [Text] // Acta Metallurgica Slovaca. – 2021. – Vol. 27 (1). – P. 23–37. – <https://doi.org/10.36547/ams.27.1.745>.

11 Shevko, V., Badikova, A., Tuleyev, M. Obtaining of ferrochrome silicon from carbon ferrochrome dusts [Text] // IP Conference Proceedings. – 2022. Vol. 2650 (1). Art. – № 020009. – <https://doi.org/10.1063/5.0105271>.

12 Pani, A. K., Acharya, P. K., Tripathy, J. Ferrochrome Powder as a Partial Replacement of Cement [Text] // In book: Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-2020) Structure and Construction Management. – 2022. – https://doi.org/10.1007/978-981-16-8433-3_68.

13 Zhunusova, A. K., Mamonov, A., Zhunusov, A. K. Pererabotka aspiratsionnoy pyli ferrohroma [Processing of aspiration dust of ferrochrome] [Text] // Nauka i tekhnika Kazakhstana. – 2016. – № 3–4. – P. 66–68.

Поступило в редакцию 21.02.25.

Поступило с исправлениями 27.02.25.

Принято в печать 04.03.25.

О. Р. Сариев¹, М. С. Алмагамбетов², Н. З. Нурғали³,

Е. У. Жумағалиев⁴, *А. М. Әбдірашит⁵

^{1,4,5}Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

^{2,3}«ERG ғылыми-зерттеу инжинирингтік орталығы» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

21.02.25 ж. баспаға түсті.

27.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

04.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖОҒАРЫ КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОХРОМДЫ ҰСАҚТАУ КЕЗІНДЕ ТҮЗІЛЕТІН ШАҢНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ОНЫ БРИКЕТТЕУ ӘДІСТЕРІН ТАҢДАУ

Ферроқорытпаларды өндіру процесінде жұқа дисперсті металл шаңының едәуір мөлшері түзіледі, бұл құнды материалдың жоғалуына әкеледі және оны жоюдың тиімді әдістерін әзірлеуді талап етеді. Перспективалы бағыттардың бірі-шаң тәрізді қалдықтарды кейіннен қайта өңдеу. Бұл жұмыста жоғары көміртекті феррохромды (ЖКФХ) ұсақтау кезінде пайдаланылатын аспирациялық шаңды (АШ) құрғақ газ тазартқыштардың (ҚГТ) қатшықтарынан шаң қосу арқылы брикеттеу жолымен қайта өңдеу мүмкіндігі зерттеледі. АШ физика-химиялық сипаттамаларын талдау материалдың дисперсті және химиялық құрамы бойынша ЖКФХ өнеркәсіптік маркаларымен іс жүзінде бірдей екенін көрсетті. Алайда, төмен ылғалдылық пен дән пішінінің ерекшеліктері оны

өздігінен брикеттеуді қиындатады. ҚГТ қосу бөлшектердің адгезиясын арттырады, брикеттердің механикалық қасиеттерін жақсартады, сонымен қатар хром мен қож түзетін компоненттердің қосымша көзі ретінде қызмет етеді, бұл балқыту кезінде айналмалы қождарды пайдалануды болдырмайды. Полимерлі байланыстырғыштарды қолдану шикізаттың стандартты талаптарынан 2-3 есе жоғары механикалық беріктігі бар брикеттерді алуды қамтамасыз етеді. Ұсынылған қайта өңдеу әдісі хром шығынын азайтуға, қалдықтарды азайтуға, ресурстарды пайдалану тиімділігін арттыруға және процесті қолданыстағы Ферроқорытпа өндірісінің инфрақұрылымына біріктіруге мүмкіндік береді. Осылайша, дамыған технология қайталама материалдарды ұтымды пайдалануға және қоршаған ортаға жүктемені азайтуға ықпал етеді.

Кілтті сөздер: феррохром, шикізат материалдары, аспирациялық шаң, қайта балқыту, зерттеу, ұсақтау.

O. R. Sariyev¹, M. S. Almagambetov², N. Z. Nurgali³,

Ye. U. Zhumagaliyev⁴, *A. M. Abdirashit⁵

^{1,4,5}Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe

^{2,3}«Scientific Research Engineering Center» ERG LLP,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 21.02.25.

Received in revised form 27.02.25.

Accepted for publication 04.03.25.

STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF DUST FORMED DURING THE CRUSHING OF HIGH-CARBON FERROCHROME AND SELECTION OF METHODS FOR ITS AGGLOMERATION

During the production of ferroalloys, significant amounts of fine metallic dust are generated, leading to material losses and necessitating the development of efficient recycling methods. One promising approach is the agglomeration of dust waste followed by its reuse in the metallurgical process. This study explores the potential for processing aspiration dust (AD) generated during the crushing of high-carbon ferrochrome (HCFеCr) by briquetting it with the addition of dust from baghouse filters of dry gas cleaning systems (BFD). The physicochemical analysis of AD revealed that it is highly dispersed and chemically similar to standard HCFеCr grades. However, its low wettability and specific grain shape make independent briquetting challenging. The addition of BFD enhances interparticle adhesion, improves the mechanical properties of the briquettes, and serves as an additional source of chromium and slag-forming components, eliminating the need for recycled slags during remelting. The use of polymer-based binders results in briquettes with high mechanical strength, exceeding standard requirements by 2-3 times. The proposed recycling method reduces chromium losses, minimizes waste generation, enhances resource efficiency, and can be integrated into existing ferroalloy

production infrastructure. Thus, the developed technology contributes to the rational utilization of secondary materials and reduces environmental impact.

Keywords: ferrochrome, charge materials, aspiration dust, remelting, research, crushing.

ТРАНСПОРТ

МРНТИ 73.01.61.

<https://doi.org/10.48081/TEKL8315>

***Д. С. Аймуханов¹, А. С. Кадыров², Н. С. Сембаев³,
А. Б. Байгушкарлова⁴, Лукаш Варгула⁵**

^{1,2}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

^{3,4}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

⁵Познаньский политехнический университет, г. Познань, Польша

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8816-9760>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7071-2300>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-1094>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8615-9025>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3120-778X>

*e-mail: ads-pavl@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ «КОНТРАКТНЫХ» АВТОМОБИЛЬНЫХ СИЛОВЫХ
АГРЕГАТОВ В КАЧЕСТВЕ ПРИВОДА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ**

В данной статье предлагается возможность применения современных автомобильных быстроходных дизельных двигателей в сборе с механическими коробками переключения передач со значительным остаточным моторесурсом в качестве привода вспомогательных механизмов транспортной техники, таких как электростанции, компрессоров, рефрижераторов и насосов.

С ужесточением экологических норм выбросов в Европе, Корее и Японии активно развивается рынок утилизированных автомобилей и их деталей. Наименьшей популярностью по причине ограничений по выбросам пользуются дизельные автомобильные силовые агрегаты с навесным оборудованием, управляющей электроникой, системами питания, зажигания и прочими комплектующими. Отсюда, применение в нашем регионе б/у дизельных силовых агрегатов утилизированного автотранспорта в приводах исполнительных механизмов имеет большую актуальность и позволяет существенно удешевить их производство.

В связи с этим, объектом исследования был выбран автомобильный дизельный двигатель Mitsubishi 4D68Ti коробка переключения передач ВА3-2107, служащего, в нашем случае, регулирующим понижающим одноступенчатым редуктором.

Впервые, на основе имеющегося теоретического расчета скоростных характеристик двигателя внутреннего сгорания и заводских исходных данных, предлагается методика подбора силового агрегата совместно с механической коробкой передач в качестве привода исполнительного механизма. Рассчитан

оптимальный режим работы дизельного двигателя с учетом выбранной передачи механической коробки переключения передач при различной нагрузке на примере судового дизель-генератора.

Ключевые слова: автомобильные силовые агрегаты, внешняя скоростная характеристика, двигатели внутреннего сгорания, коробка переключения передач, судовые дизель-генераторы.

Введение

С ужесточением требований норм экологических выбросов для автотранспорта, дизельные легковые автомобили во всем мире теряют позиции актуальности. С целью снижения выбросов страны Европы в ближайшем будущем планируют запретить или ограничить эксплуатацию дизельных легковых автомобилей. В настоящее время уже наблюдается тенденция увеличения утилизации дизельных легковых автомобилей, в пользу электромобилей. Избыток на рынке «контрактных» дизельных силовых агрегатов, а также сборных передних частей называемых «ноускатами» создает возможности максимально дешево приобретать эти агрегаты для дальнейшей эксплуатации либо в качестве привода различных механизмов.

В статье впервые предлагается методика расчета и подбора в качестве привода быстроходного дизельного двигателя и заднеприводной механической коробки переключения передач (МКПП), а также конструктивная схема привода на примере, разрабатываемой дизель-генераторной установки (ДГУ).

Материалы и методы

Целью работы является исследование возможности вторичного применения силовых агрегатов утилизируемых автомобилей для новых технических решений в других видах транспортной техники.

На основе возникающего дешевого рынка запасных частей с утилизируемых дизельных легковых автомобилей, предлагается применение автомобильных быстроходных дизельных двигателей и агрегатов со значительным остаточным моторесурсом в качестве привода вспомогательного оборудования транспортной техники, такого как электростанции, компрессоров, рефрижераторов и насосов. В нашем случае, для упрощения расчета нагрузки, в качестве объекта исследования выбраны дизельный силовой агрегат в сборе с механической коробкой переключения передач (МКПП), и в качестве исполнительного механизма – судового генератора переменного тока [1] [2].

Выбор объекта предлагаемого привода в виде судового дизель-генератора, связан по нескольким причинам:

- 1) Судовые дизель-генераторы эксплуатируются на одном режиме при частоте вращения 1500 об/мин (редко 3000 об/мин);
- 2) Для генераторной части, максимально точно создается имитация электронагрузки [3] [4];
- 3) По предлагаемой методике расчета, на базе предлагаемого привода, быстрее найти оптимальную передачу коробки переключения передач;

4) При постоянной электрической нагрузке, без лабораторных условий быстрее произвести расчет расхода топлива;

5) Для дальнейшего определения эффекта внедрения упрощается расчет стоимости разрабатываемой энергоустановки.

Для дальнейшего расчета оптимального режима работы рассматриваемого привода выбрана конфигурации узла: двигатель-коробка переключения передач-исполнительный механизм (рисунок 1) [5].

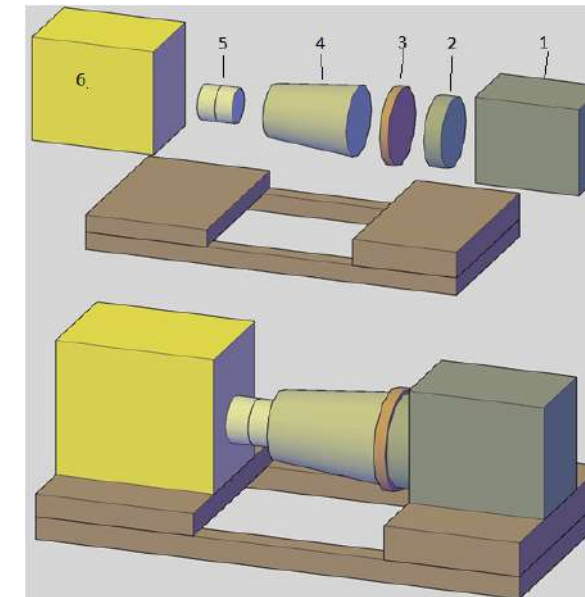


Рисунок 1 – Конструктивная схема узла ДВС-МКПП-Исполнительный механизм, где 1 – Рассчитываемый ДВС, 2 – Кожух сцепления ДВС, 3 – Переходная плита, 4 – МКПП, 5 – Полу жесткое/упругое муфтовое соединение, 6 – Исполнительный механизм (ДГУ)

Подбор силовых агрегатов, в нашем случае дизельного двигателя и МКПП, для применения в качестве привода исполнительного механизма необходимо выполнить в несколько этапов:

- определить конструктивные особенности применения имеющихся дизельных двигателей, сцепления, коробок переключения передач и навесного оборудования
- произвести расчет и построить частичную внешнюю скоростную характеристику двигателя внутреннего сгорания;
- произвести сравнение расчетных и исходных заводских показателей, в случае отклонения определить погрешность для дальнейшего анализа;
- произвести расчет передаточных чисел КПП, либо по информации из паспортных данных;
- произвести расчет показателей частичной внешней скоростной характеристики расчетного привода на различных передачах, т.е. на различных передаточных числах

– определить исходные показатели и построить внешнюю скоростную характеристики нагрузки (исполнительного механизма);

– построить частичные внешние скоростные характеристики расчетного привода на различных передачах;

– по графикам определить предельные значения максимальной мощности и крутящего момента на i-передаче на выходном валу привода с учетом номинальной частоты вращения нагрузки;

– произвести анализ режима работы разрабатываемого привода на i-передаче с учетом частоты вращения, мощности и расчетного крутящего момента нагрузки.

За основу определения расчетных показателей внешней скоростной характеристики двигателя используем расчет Колчина А. И., Демидова В. П. [1].

Согласно источника [6, с.149], внешней скоростной характеристикой двигателя называется зависимость мощности, экономических параметров от частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топлива.

В качестве приводного двигателя принимаем четырёхтактный 4-цилиндровый дизельный двигатель с наддувом 4D68T и заднеприводную МКПП Ваз-2107, исходные данные которых получены с официальных справочных данных (рисунок 2).

Наименование	Параметры	Примечание
МаркадвигателяMitsubishi Galant VII 2.0 TDI (94 л.с.)	4D68T	
Номинальная мощность двигателя Nном при 4500 об/мин, кВт	69 кВт	94 л.с.
Максимальный крутящий момент при 2500 об/мин, Мкр, Н*м	196 Н*м	n_{Мmin}=2500
Частота вращения коленчатого вала в режиме максимальной мощности n _к , мин ⁻¹ , n _N	4500	
Объём двигателя V _{дв} , л	1996	
Ход поршня S, мм	93	
Диаметр цилиндра, H	82,7	
Коэффициент приспособляемости двигателя		По формуле Лейдермана
Передаточное число 1й передачи	3.66	2,846*
Передаточное число 2й передачи	2.14	1,581*
Передаточное число 3й передачи	1.36	1*
Передаточное число 4й передачи	1	0,685*

Рисунок 2 – Таблица исходных заводских данных

* – передаточные числа заводской переднеприводной МКПП Mitsubishi F5M с главной передачей 4,1, не соответствуют требуемой частоте вращения выходного вала на всех передачах.

Расчёт показателей [6] [7] .

Номинальный вращающий момент двигателя:

$$M_{дв} = \frac{30 * 1000 * N_{ном}}{\pi * n_N}$$

M_{дв} = 146.4 Н*м

2. Принимая коэффициент запаса вращающего момента μ = 20 %, находим максимальный вращающий момент двигателя:

$$M_{дв. max} = M_{дв} + \mu = M_{дв} + 20\% = 175.7 \text{ Н} * \text{м}$$

3. Отсюда Коэффициент приспособляемости двигателя по моменту k_м = 1,2

4. Принимая степень неравномерности регулятора δ = 6 %, определяем максимальную частоту вращения коленвала двигателя:

$$n_{max} = \frac{n_N * (200 + 6)}{(200 - 6)} = 4778;$$

5. Коэффициент приспособляемости по частоте вращения вала двигателя:

$$k_{\omega} = \frac{n_N}{n_{Mmax}} = \frac{4500}{2500} = 1.8;$$

6. Вычисляем значения коэффициентов в формулах С.Р. Лейдермана [1, с.150] [2, с.345] [3]:

$$a = \frac{k_m * k_{\omega} * (2 - k_{\omega}) - 1}{k_{\omega} * (2 - k_{\omega}) - 1} = \frac{1,2 * 1,8 * (2 - 1,8) - 1}{1,8 * (2 - 1,8) - 1} = \frac{-0,568}{-0,64} \approx 0,89$$

$$b = -\frac{2k_{\omega} * (k_m - 1)}{k_{\omega} * (2 - k_{\omega}) - 1} = \frac{2 * 1,8 * (1,2 - 1)}{1,8 * (2 - 1,8) - 1} = -\frac{0,72}{-0,64} \approx 1,125$$

$$c = \frac{k_{\omega}^2 * (k_m - 1)}{k_{\omega} * (2 - k_{\omega}) - 1} = \frac{1,8^2 * (1,2 - 1)}{1,8 * (2 - 1,8) - 1} = \frac{0,648}{-0,64} \approx -1,0125$$

Проверка формулы С. Р. Лейдермана:

a+b+c≈ 1

0.89+1.125-1.0125≈1

7. Мощность на заданном значении частоты вращения с учетом к.п.д. трансмиссии:

$$N_{ex} = N_{\text{ном}} * \left[a * \frac{n_x}{n_N} + b * \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 - c * \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^3 \right] * \eta_{\text{тр}};$$

Или упростив получаем:

$$N_{ex} = N_{\text{ном}} * \left[0,89 * \frac{n_x}{n_N} + 1,125 * \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 - 1,0125 * \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^3 \right] * \eta_{\text{тр}};$$

$$N_{41500} = 69 * \left[0,89 * \frac{1500}{4500} + 1,125 * \left(\frac{1500}{4500} \right)^2 - 1,0125 * \left(\frac{1500}{4500} \right)^3 \right] * 0,9;$$

$$N_{41500} = 23,86 \text{ кВт};$$

$$N_{32040} = 69 * \left[0,89 * \frac{2040}{4500} + 1,125 * \left(\frac{2040}{4500} \right)^2 - 1,0125 * \left(\frac{2040}{4500} \right)^3 \right] * 0,9;$$

$$N_{32040} = 33,55 \text{ кВт}$$

$$N_{23210} = 69 * \left[0,89 * \frac{3210}{4500} + 1,125 * \left(\frac{3210}{4500} \right)^2 - 1,0125 * \left(\frac{3210}{4500} \right)^3 \right] * 0,9;$$

$$N_{23210} = 52,15 \text{ кВт}$$

8 .

Используя рассчитанные значения мощности двигателя, вычисляем значения текущего эффективного вращающего момента двигателя по формуле

$$M_{ex} = 9550 * \frac{N_{ex}}{n_x}; \text{Н*м}$$

$$M_{1500} = 9550 * 23,86 / 1500 = 151,89 \text{ Н*м}$$

$$M_{2040} = 9550 * 33,55 / 2040 = 157,08 \text{ Н*м}$$

$$M_{3210} = 9550 * 52,15 / 3210 = 155,16 \text{ Н*м}$$

9. Погрешность расчетов от исходных данных составляет [2] [3] [4] :

$$\eta_N = \frac{N_e - N_{e4500}}{N_e} * 100\%;$$

$$\eta_N = \frac{(69 - 69,17)}{69} * 100\% = -0,24\%;$$

10. Расчет нагрузки [5] [6] [7].

Для расчета крутящего момента генератора переменного тока (ГС) можно использовать следующую формулу [5, с.123]:

$$M_{\text{Ngen}} = \frac{N_{\text{gen}}}{\omega};$$

где:

M_{Ngen} — крутящий момент (Н*м),

N_{gen} — мощность нагрузки генератора (Вт),

ω — угловая скорость (рад/с).

Поскольку мощность нагрузки составляет 24 кВт, преобразуем её в ватты:

$$N_{\text{gen}} = 24 \text{ кВт} = 24000 \text{ Вт}$$

Теперь необходимо знать угловую скорость генератора. Угловая скорость ω зависит от частоты вращения генератора.

Чтобы определить угловую скорость при вращении 1500 об/мин, используем формулу для перевода оборотов в минуту в радианы в секунду:

$$\omega = \frac{2\pi * n}{60},$$

где:

ω — угловая скорость (рад/с),

n — частота вращения (об/мин).

Подставим значение $n=1500$:

$$\omega = 2\pi * 1500 / 60 \approx 3000\pi / 60 = 50\pi \approx 157,08 \text{ рад/с}$$

Таким образом, угловая скорость при вращении 1500 об/мин составляет примерно 157,08 рад/с.

А крутящий момент с нагрузкой на генераторе при 24 кВт составит:

$$M_{24\text{gen}} = \frac{N_{\text{gen}}}{\omega} = \frac{24000}{157,08} = 152,8 \text{ Н*м};$$

При 23 кВт:

$$M_{24\text{gen}} = \frac{N_{\text{gen}}}{\omega} = \frac{23000}{157,08} = 146,4 \text{ Н*м};$$

При 25 кВт крутящий момент составит:

$$M_{25\text{gen}} = \frac{25000}{157,08} = 159 \text{ Н*м};$$

что превышает крутящий момент на 2,3,4 передачах кпп. При данном крутящем моменте двигатель не сможет преодолеть сопротивление нагрузки, следовательно, максимально допустимая нагрузка генератора соответствует 24 кВт.

Расчет крутящего момента генератора переменного тока с нагрузкой соответствует способу определения крутящего момента двигателя [6] [7] [8] [9].

На основе получаемых расчетных данных до 24 кВт можно рассчитать максимально возможную нагрузку для двигателя с учетом включенной передачи КПП (рисунок 3, А, Б).

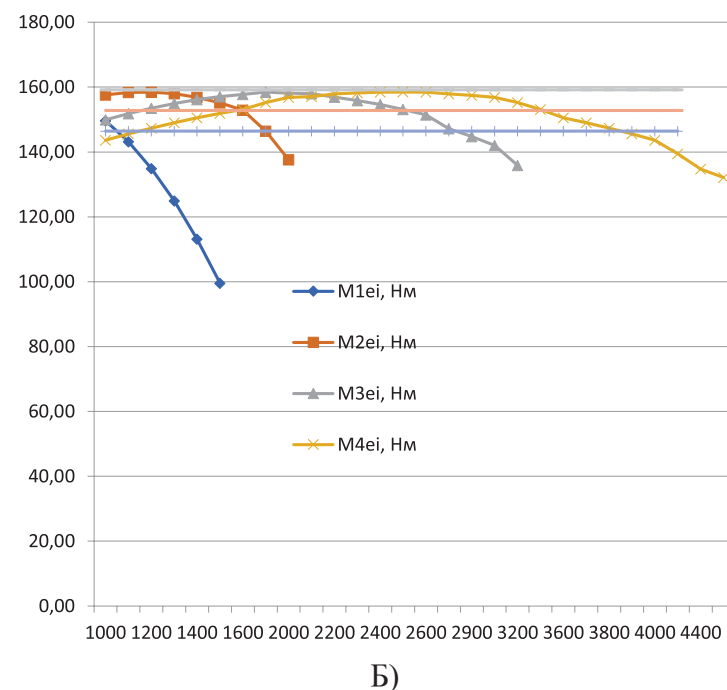
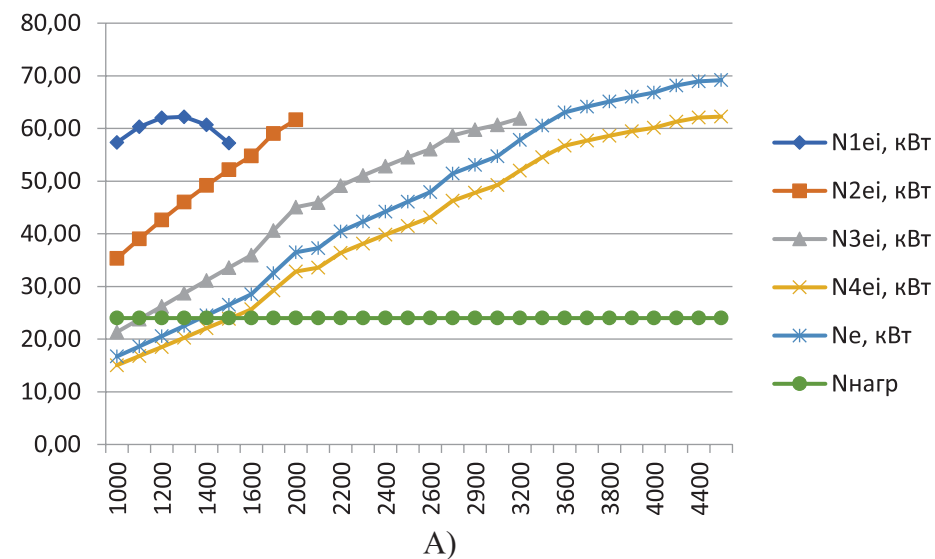


Рисунок 3 – Теоретическая скоростная характеристика двигателя 4D68 А) и Б)

На рисунке 3 А) и Б) и рисунке 4 в таблицах отображены зависимости мощностей N и крутящего момента M от n частоты вращения выходного вала без КПП (коленчатого вала) и с КПП.

По кривым моментов можно определить, что крутящий момент вращения генератора (нагрузки) при снижении мощности с постоянной частотой вращения значительно понижается.

На графике рисунка 3 А) изображена полка мощности нагрузки 24кВт $N_{нагр}$. По линиям кривых мощностей двигателя на различных передачах привыходной частоте вращения 1500 об/мин выше полки $N_{нагр}$ соответствуют кривая мощности на 1 передаче $N1ei$, на 2 передаче $N2ei$, на 3 передаче $N3ei$.

Расстояние от точки пересечения $N_{нагр}$ и $n_{ген}$ до кривых мощностей $N1ei$, $N2ei$, $N3ei$ соответствует запасу мощности двигателя [7, с.17, 8, 9, 10].

Из графика рисунка 3 Б) по полке крутящего момента нагрузки 23кВт $M23gen$ требуемой выходной частоте вращения 1500 об/мин можно определить, что крутящие моменты на 2й передачи $M2ei$, на 3й передачи $M3ei$, на 4й передачи $M4ei$ выше полки нагрузки.

Расстояние от точки пересечения крутящего момента нагрузки $M23gen$ и $n_{ген}$ об/мин до кривых крутящих моментов на этих передачах означают запас крутящего момента для нагрузки 23кВт.

На основании построенных графиков зависимостей мощностей и крутящих моментов от нагрузки, делаем вывод, что при достаточности мощности на 1-й передаче $N1ei$ крутящего момента недостаточно $M1ei$, на 4-й передаче при достаточности крутящего момента $M4ei$, не хватает мощности $N4ei$.

Рассматривая график рисунка 3Б) при нагрузке мощностью 25 кВт видно, что крутящий момент двигателя на 1-й, 2-й, 3-й, 4-й передаче при 1500 об/мин выходного вала, недостаточен для преодоления крутящего момента нагрузки. Кроме того по кривым можно определить, что 1-я и 4-я передачи не подлежат применению в качестве рабочей передачи привода нагрузки 23-25 кВт. Выбранные силовые агрегаты в сборе способны работать на 1500 об/мин выходного вала при максимальной нагрузке мощностью менее 24 кВт на 2 и 3-й передачах.

Например, если уменьшить нагрузку например менее 23 кВт по таблице и графикам рисунка 3А) и 3 Б) можно определить что крутящий момент нагрузки будет равен 146 Н*м. Привод может работать на 2, 3 и 4 передачах. При переключении на 4й передаче частота вращения выходного вала и коленчатого вала будут равны 1500 об/мин, запас мощности и крутящего момента на этом режиме будет достаточен для устойчивой работы двигателя.

Результаты и обсуждение

Таким образом, на основании полученных результатов можно определить, что расчетном примере при нагрузке до 23 кВт, при частоте вращения выходного вала 1500 об/мин, двигатель способен работать на 3 режимах. Соответственно, расход топлива, кроме улучшения чувствительности регулятора ТНВД к подаче топлива [10, с.171] [11, с.15], возможно снизить за счет снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя на повышенной передаче МКПП [9].

Отсюда заключаем, что эффективность применения быстроходных дизельных двигателей совместно с механической коробкой передач достигается за счет уменьшения либо изменения запаса крутящего момента и мощности двигателя

на выбранной передаче. Механическая коробка переключения передач способна служить аналогом регулируемого одноступенчатого редуктора.

Для двигателя без КПП					Для двигателя с КПП										Для генератора				
Частота вращения коленвала двигателя, об/мин,	Параметры внешней скоростной характеристики двигателя		Частота вращения выходного вала КПП об/мин,	Частота вращения коленвала, об/мин,	Параметры внешней скоростной характеристики на 1-й передаче с учетом К.П.Д. 90%		Частота вращения коленвала, об/мин,	Параметры внешней скоростной характеристики на 2-й передаче с учетом К.П.Д. 90%		Частота вращения коленвала, об/мин,	Параметры внешней скоростной характеристики на 3-й передаче с учетом К.П.Д. 90%		Частота вращения коленвала, об/мин,	Параметры внешней скоростной характеристики на 4-й передаче с учетом К.П.Д. 90%		Крутящий момент генератора при 1500 об/мин с нагрузкой 23,24,25 кВт			
	№, кВт	Мс, Нм			N1ei, кВт	M1ei, Нм		N2ei, кВт	M2ei, Нм		N3ei, кВт	M3ei, Нм		N4ei, кВт	M4ei, Нм	Mген при 23 кВт, Нм	Mген при 24 кВт, Нм	Mген при 25 кВт, Нм	
1000	16,71	159,61		1000	3660	57,34	149,61	2140	35,32	157,62	1360	21,35	149,91	1000	15,04	143,65	146,43	152,80	159,17
1100	18,63	161,74		1100	4026	60,34	143,13	2354	39,03	158,34	1496	23,78	151,84	1100	16,77	145,56	146,43	152,80	159,17
1200	20,57	163,71		1200	4392	62,03	134,89	2568	42,61	158,45	1632	26,23	153,51	1200	18,51	147,34	146,43	152,80	159,17
1300	22,53	165,54		1300	4758	62,22	124,88	2782	46,01	157,95	1768	28,69	154,95	1300	20,26	148,99	146,43	152,80	159,17
1400	24,51	167,23		1400	5124	60,69	113,11	2996	49,21	156,86	1904	31,13	156,14	1400	22,06	150,50	146,43	152,80	159,17
1500	26,51	168,76	1500	5490	57,24	99,27	3210	52,15	155,16	2040	33,55	157,08	1500	23,86	151,89	146,43	152,80	159,17	
1600	28,51	170,16	1600				3424	54,80	152,85	2176	35,95	157,79	1600	25,66	153,14	146,43	152,80	159,17	
1800	32,51	172,50	1800				3852	59,06	146,43	2448	40,62	158,46	1800	29,26	155,25	146,43	152,80	159,17	
2000	36,49	174,26	2000				4280	61,67	137,60	2720	45,05	158,16	2000	32,84	156,83	146,43	152,80	159,17	
2040	37,28	174,54	2190							2774	45,90	157,98	2040	33,55	157,08	146,43	152,80	159,17	
2200	40,41	175,43	2200							2992	49,15	156,88	2200	36,37	157,88	146,43	152,80	159,17	
2300	42,34	175,79	2040							3128	51,06	155,88	2300	38,10	158,21	146,43	152,80	159,17	
2400	44,23	176,01	2400							3264	52,85	154,63	2400	39,81	158,41	146,43	152,80	159,17	
2500	46,10	176,09	2500							3400	54,52	153,14	2500	41,49	158,48	146,43	152,80	159,17	
2600	47,92	176,01	2600							3536	56,06	151,40	2600	43,13	158,41	146,43	152,80	159,17	
2800	51,43	175,43	2800							3808	58,70	147,20	2800	46,29	157,88	146,43	152,80	159,17	
2900	53,12	174,91	2900							3944	59,77	144,74	2900	47,80	157,42	146,43	152,80	159,17	
3000	54,74	174,26	3000							4080	60,68	142,03	3000	49,27	156,83	146,43	152,80	159,17	
3200	57,80	172,50	3200							4352	61,92	135,88	3200	52,02	155,25	146,43	152,80	159,17	
3400	60,58	170,16	3400										3400	54,52	153,14	146,43	152,80	159,17	
3600	63,04	167,23	3600										3600	56,73	150,50	146,43	152,80	159,17	
3700	64,14	165,54	3700										3700	57,72	148,99	146,43	152,80	159,17	
3800	65,14	163,71	3800										3800	58,63	147,34	146,43	152,80	159,17	
3900	66,05	161,74	3900										3900	59,44	145,56	146,43	152,80	159,17	
4000	66,85	159,61	4000										4000	60,17	143,65	146,43	152,80	159,17	
4200	68,14	154,93	4100										4200	61,32	139,43	146,43	152,80	159,17	
4400	68,95	149,65	4400										4400	62,06	134,69	146,43	152,80	159,17	
4500	69,17	146,80	4500										4500	62,26	132,12	146,43	152,80	159,17	

Рисунок 4 – Расчет внешней скоростной характеристики двигателя и определение оптимального режима работы на разных передачах кпп

Выводы

По теме экспериментальной работы выполнен раздел по разработке методики подбора двигателя внутреннего сгорания и МКПП (механической коробки передач) для дальнейшего применения в качестве привода исполнительного механизма, в нашем случае привода электрогенераторной установки. Расчет подтвердил, что прямое соединение узла Двигатель-КПП-Вал нагрузки, на примере дизельного двигателя 4D68T и МКПП ВА3-2107 утилизированных автомобилей, соответствует реальному изменению частоты вращения входного вала экспериментальной установки.

Методика подбора заключается в совмещении теоретических расчетов показателей внешней скоростной характеристики двигателя в сборе с выходным валом МКПП, и расчета крутящего момента нагрузки исполнительного механизма, в нашем случае, генератора переменного тока.

Эффективность применения подобных «контрактных» двигателей с МКПП на определенных передачах в приводе любого исполнительного механизма заключается в снижении расхода топлива, уменьшения теплонагруженности и износа деталей за счет уменьшения или изменении запаса мощности и крутящего момента двигателя, стоимости изготовления, адаптации и обслуживания предлагаемого привода.

Проблемным вопросом остается прогнозирование остаточного ресурса подобных силовых агрегатов для адаптации и работы в других видах транспортной техники. В этом направлении необходимо произвести дальнейшее исследование

в условиях производственных возможностей ремонтно-восстановительного предприятия нашего региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Аксельбанд А. М.** Судовые энергетические установки [Текст] : [Учебник для вузов специальности «Судовые машины и механизмы»]. – Л. : Судостроение, 1970. – 471 с.

2 **Обухов С. Г., Плотников И. А.** Экспериментальные исследования дизель-генераторной установки на переменной частоте вращения // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 6. – С. 95–101.

3 **Коршунов Л. П.** Энергетические установки промысловых судов: Учебник. – Л.: Судостроение, 1991. – 360 с.

4 **Камкин С. В., Шмелев А. В.** Системы судовых дизельных установок и их эксплуатация : Учеб. Пособие. – М : В/О «Мортехинформреклама», 1985. – 54 с.

5 **Сибикин Ю. Д.** Обслуживание электроустановок промышленных предприятий: практическое пособие. – М. : Высшая школа, 1989. – 303 с. : ил.

6 **Колчин А. И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. –4-е изд., стер. – М. :Высш. шк., 2015. – 496 с. : ил.

7 **Лукин П. П. и др.** Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности автомобили и тракторы/ П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Родионов. – М. : Машиностроение, 1984. – 376 с., ил.

8 **Вахламов В. К.** Автомобили: Эксплуатационные свойства: Учебник для студ. Высш. учеб.заведений / Владимир Константинович Вахламов. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 240 с.

9 **Руктешель, О. С.** Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-37 01 02 «Автомобилестроение», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1-37 01 07 «Автосервис», 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». – Минск : БНТУ, 2015. – 80 с.

10 **Вахламов В. К.** Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: Учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования/ В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А. А. Юрчевский. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 816 с.

10 **Грехов Л. В., Габитов И. И., Неговора А. В.** Конструкция, расчёт и технический сервис топливоподающих систем дизелей: Учеб.пособие. – М.: Легион-Автодата, 2013. – 292 с.

REFERENCES

- 1 **Aksel'band, A. M.** Sudovy'e e'nergeticheskie ustanovki [Marine power plants] [Text]: [Textbook for universities specializing in Marine machinery and mechanisms]. – L. Sudostroenie, 1970. – 471 p.
- 2 **Obuxov, S. G., Plotnikov, I. A.** E'ksperimental'ny'e issledovaniya dizel'-generatornoj ustanovki na peremennoj chastote vrashheniya [Experimental studies of a diesel generator set at variable speed]// Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. – 2015. – T. 326, № 6.
- 3 **Korshunov, L. P.** E'nergeticheskie ustanovki promy'slovy'x sudov: Uchebnik [Power plants for fishing vessels: textbook]. – L. : Sudostroenie, 1991. – 360 p.
- 4 **Kamkin, S. V., Shmelev, A. V.** Sistemy' sudovy'x dizel'ny'x ustanovok i ix e'kspluatsiya : Ucheb. Posobie [Marine diesel engine systems and their operation: Training manual]. – M. : V/O Mortexinformreklama, 1985. – 54 p.
- 5 **Sibikin, Yu. D.** Obsluzhivanie e'lektrostanovok promy'shlenny'x predpriyatij: uchebnoe posobie [Maintenance of electrical installations of industrial enterprises: training manual]. – M. : Vy'sshaya shkola, 1989. – 370 p.
- 6 **Kolchin, A. I.** Raschet avtomobil'ny'x i traktorny'x dvigatelej: Ucheb.posobie dlya vuzov [Calculation of automobile and tractor engines : Textbook for universities]. – 4th edition, stereotypical. – M. :Vy'ssh. Shk., 2015. – 496 p. : il.
- 7 **Lukin, P. P. et al.** Konstruirovaniye i raschet avtomobilya: Uchebnik dlya studentov vtuzov, obuchayushhixsya po special'nosti avtomobili i traktory' [Design and calculation of the car: Textbook for students of higher technical institutions studying in the specialty of cars and tractors]/ P. P. Lukin, G. A. Gasparyancz, V. F. Rodionov. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 376 p., il.
- 8 **Vaxlamov, V. K.** Avtomobili: E'kspluatsionny'e svoystva : Uchebnik dlya stud. Vy'ssh. Ucheb.zavedenij [Cars: Operational properties: Textbook for students of higher educational institutions]/ Vladimir Konstantinovich Vaxlamov. – M. : Publishing Center «Akademiya», 2005. – 240 p.
- 9 **Rukteshel', O. S.** Vy'bor parametrov i ocenka tyagovo-skorostny'x i toplivno-e'konomicheskix svoystv avtomobilya : uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov special'nostej 1-37 01 02 «Avtomobilstroenie», 1-37 01 06 «Texnicheskaya e'kspluatsiya avtomobilej», 1-37 01 07 «Avtoservis», 1-44 01 01 «Organizaciya perevozok i upravlenie na avtomobil'nom i gorodskom transporte», 1-44 01 02 «Organizaciya dorozhnogo dvizheniya» [Selection of parameters and assessment of traction-speed and fuel-economic properties of a car : an educational and methodical manual for students of specialties 1-37 01 02 «Automotive engineering», 1-37 01 06 «Technical operation of cars», 1-37 01 07 «Auto repair», 1-44 01 01 «Organization of transportation and management in automobile and urban transport», 1-44 01 02 «Traffic management»]. – Minsk: BNTU, 2015. – 80 p.
- 10 **Vaxlamov V. K.** Avtomobili : Teoriya i konstrukciya avtomobilya i dvigatelya : Uchebnik dlya stud. Uchrezhdenij sred. Prof. obrazovaniya [Automobiles : Theory and design of the car and engine: A textbook for students. Institutions of sred. Prof.

educational institutions]. V. K. Vaxlamov, M. G. Shatrov, A. A. Yurchevskij. – M. : Publishing Center «Akademiya», 2003. – 816 p.

11 **Grešov L. V., Gabitov I. I., Negovora A. V.** Konstrukciya, raschyot i texnicheskij servis toplivopodayushhix ystem dizelej: Ucheb.posobie [Design, calculation and technical service of diesel fuel supply systems: Textbook]. – M. : Legion-Avtodata, 2013. – 292 p.

Поступило в редакцию 06.02.25.

Поступило с исправлениями 11.02.25.

Принято в печать 22.02.25.

**Д. С. Аймұқанов¹, А. С. Қадыров², Н. С. Сембаев³,
А. Б. Байғушкарпова⁴, Лукаш Варгула⁵*

^{1,2}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

^{3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁵Познань политехникалық университеті, Познань қ., Польша
06.02.25 ж. баспаға түсті.

11.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

22.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

КӨЛІК ТЕХНИКАСЫНЫҢ АТҚАРУШЫ МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ ЖЕТЕГІ РЕТІНДЕ «ТҮЙІСПЕЛІ» АВТОМОБИЛЬДІҢ КҮШТІК АГРЕГАТТАРЫН ҚОЛДАНУ

Бұл мақалада электрстанциялары, компрессорлар, рефрижераторлар және сорғылар сияқты көлік техникасының қосалқы механизмдерінің жетегі ретінде айтарлықтай қалдық мотор ресурсы бар механикалық беріліс қорабын заманауи автомобильдің жылдам жүретін дизельді қозғалтқыштарын құрастыру мүмкіндігі ұсынылады.

Еуропада, Кореяда және Жапонияда шығарындылардың экологиялық нормаларының қатаңдауы мен кәдеге жаратылған автомобильдер мен олардың бөліктерін нарығы белсенді дамып келеді. Шығарындылар бойынша шектеулер себебінен ең аз танымалдығы аспалы жабдықтары, басқару электроникасы, қуат, тұтану жүйелері және басқа да компоненттері бар дизельді автомобильдік қуат агрегаттары болып табылады. Демек, біздің өңірде атқарушы механизмдердің жетектерінде кәдеге жаратылған автокөліктің дизельді қуат агрегаттарын қолдану үлкен өзектілікке ие және оларды өндіруді айтарлықтай арзандатуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты зерттеу нысаны Mitsubishi 4D68Ti автомобиль дизельді қозғалтқышы және VA3-2107 беріліс қорабы, біздің жағдайда реттеуші төмендететін бір сатылы редуктор ретінде таңдалды.

Алғаш рет, іштен жану қозғалтқышының жылдамдың сипаттамаларын теориялық есептеу негізінде және зауыттық бастапқы деректер, жетек жетегі ретінде механикалық беріліс қорабы мен бірге қуат блогын таңдау әдісі ұсынылады. Дизельді қозғалтқыштың оңтайлы жұмыс режимі кеме

дизельгенераторының мысалында әртүрлі жүктеме кезінде беріліс терді ауыстырудың механикалық қорабының таңдалған берілісіне скереотырып есептелген.

Кілтті сөздер: автомобильдің қуат блогы, сыртқы жылдамдық өнімділігі, іштен жану қозғалтқыштары, беріліс қорабы, кеме дизель генераторлары.

*D. S. Aimukhanov¹, A. S. Kadyrov²,

N. S. Sembayev³, A. B. Baiguchkarova⁴, Lukasz Wargula⁵

^{1,2}AbylkaSaginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

^{3,4}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

⁵Poznan Polytechnic University, Poznań, Poland

Received 06.02.25.

Received in revised form 11.02.25.

Accepted for publication 22.02.25.

THE USE OF «CONTRACT» AUTOMOTIVE POWER UNITS AS A DRIVE FOR THE ACTUATORS OF TRANSPORT EQUIPMENT

This article suggests the possibility of using modern automotive high-speed diesel engines assembled with mechanical gearboxes with a significant residual engine life as a drive for auxiliary mechanisms of transport equipment such as power plants, compressors, refrigerators and pumps.

With the tightening of environmental emission standards in Europe, Korea and Japan, the market for recycled cars and their parts is actively developing. Diesel automotive powertrains with attachments, control electronics, power supply systems, ignition and other components are the least popular due to emission restrictions. Hence, the use of used diesel power units of recycled vehicles in actuators in our region is of great relevance and makes it possible to significantly reduce the cost of their production.

In this regard, the object of the study was the Mitsubishi 4D68T automobile diesel engine and the Vaz-2107 gearbox, which serves, in our case, as a regulating step-down single-stage gearbox.

For the first time, based on the available theoretical calculation of the speed characteristics of an internal combustion engine and factory input data, a method for selecting a power unit together with a manual transmission as an actuator is proposed. The optimal operating mode of a diesel engine is calculated, taking into account the selected transmission of a manual transmission at different loads, using the example of a marine diesel generator.

Keywords: automotive powertrains, external speed characteristics, internal combustion engines, gear shift box, marine diesel generators.

МРНТИ 62.21.37

<https://doi.org/10.48081/CIFL5767>

**A. Н. Балтабекова¹, *К. К. Абишев², Р. Б. Муканов³,
П. Бухнер⁴, Ж. Ж. Фабдолла⁵**

^{1,2,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²ТОО «Казахстанский институт науки и технологий»,
Республика Казахстан, г. Павлодар

³Сатпаев университет, Республика Казахстан, г. Алматы

⁴Чешский технический университет в Праге, Чешская Республика

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0603-2463>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8308-1656>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0582-145X>

*e-mail: a.kairatolla@mail.ru

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ВОДИТЕЛЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье приведены достоинства и недостатки автомобилизации, при этом автомобиль представлен как источник повышенной опасности. Выявлена роль водителя автотранспортного средства в обеспечении безопасности дорожного движения. Рассмотрены основные причины, связанные с водителем, а также косвенно зависящие от водителя, оказывающие влияние на возникновение дорожно-транспортных происшествий. Приведены рекомендации по обеспечению надёжности работы водителя автотранспортного средства. Обоснована необходимость проведения психофизиологического отбора водителя автотранспортного средства. Среди видов профессионального отбора психофизиологический отбор занимает особое место. Это связано с тем, что психофизиологические исследования позволяют достаточно быстро и объективно измерять большое число психофизиологических свойств. Психофизиологические характеристики человека могут количественно выражать профессионально важные качества и для профессий системы «человек-машина» обладают достаточно высокой прогностичностью. Также обоснована необходимость применения измерительных устройств неинвазивной формы для определения степени надёжности водителя автотранспортного средства. Надёжность работы водителя согласуется с одной из основных закономерностей психофизиологии – успешностью выполнения работы в зависимости от психического напряжения. В статье также рассмотрены измерительные устройства для определения психофизиологического состояния водителя неинвазивной формы.

Ключевые слова: автомобиль, водитель, надёжность водителя, психофизиология водителя, безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие.

Введение

Автомобиль представляет собой потенциальный источник повышенной опасности для людей, которая резко возросла в последние годы. Наряду с бесспорными достоинствами автомобилизации появляется тенденция к увеличению человеческих и материальных потерь вследствие аварий, связанных с транспортными средствами. В связи с этим возрастают требования к надёжности водителя [1; 2].

Водитель автотранспортного средства является главным звеном системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС), устойчивое функционирование которой определяет эффективность и безопасность дорожного движения. Водитель, управляя автомобилем, находится в постоянном напряжении. В движении он непрерывно воспринимает и осмысливает быстро меняющуюся дорожно-транспортную обстановку, положение, скорость и состояние своего автомобиля, мгновенно принимает решения и осуществляет их. Такое активное и непрерывное протекание психических явлений в условиях быстро меняющейся обстановки и опасности повышает напряжение нервной системы и приводит к утомлению, а иногда и к переутомлению водителя [3; 4].

Управляя автомобилем, водитель должен принимать и адекватно анализировать большой объем информации (дорога, средства регулирования, дорожные знаки и разметка, контрольные приборы и работа систем и механизмов автомобиля, метеорологические условия движения и т.д.). Кроме того, он должен уметь прогнозировать развитие дорожной обстановки и выбирать наиболее безопасные режимы движения. При высоком динамизме, изменчивости условий и жестких ограничениях по времени принятия решений водитель постоянно находится в большом эмоциональном напряжении [5; 6].

Плохое самочувствие водителя, заболевание приводят к снижению его работоспособности и соответствующему повышению вероятности дорожно-транспортного происшествия (ДТП).

Материалы и методы

Анализ большинства дорожно-транспортных происшествий показывает, что слабым звеном человеко-машинной системы ВАДС ограничивающим ее эффективность и надёжность, является сам человек. По вине водителей происходит от 65 до 85 % ДТП [7].

В таблицах 1 и 2 приведены основные причины, связанные с водителем, а также косвенно зависящие от водителя, оказывающие влияние на возникновение ДТП.

Таблица 1 – Распределение ДТП по причинам, непосредственно зависящим от водителей

№ п/п	Причины ДТП	Количество ДТП, %
1	Пренебрежение плохой видимостью	17,6
2	Повышенная скорость	16,4
3	Невнимательность	15,0
4	Ошибочный уклоняющийся маневр	10,3
5	Внутренняя причина, отвлекающая внимание	9,0
6	Недостаточная практика вождения	9,0
7	Нерешительный стиль вождения	8,2
8	Неверное предположение (прогноз)	6,2
9	Неудачный маневр	5,0
10	Перебор при коррекции	3,3

Таблица 2 – Распределение ДТП по причинам, косвенно зависящим от водителей

№ п/п	Причины ДТП	Количество ДТП, %
1	Ухудшение состояния под воздействием алкоголя	27,0
2	Утомление	15,0
3	Препятствие со стороны других водителей	13,0
4	Неопытность	12,0
5	Спешка	9,5
6	Эмоциональное возбуждение	9,0
7	Ухудшение состояния из-за принятия лекарств	6,0
8	Незнание данного участка дороги	5,5
9	Пониженная зрительная способность	2,0
10	Незнание транспортного средства	1,0

Под надёжностью водителя понимается способность своевременно и безошибочно принимать и обрабатывать информацию о состоянии транспортных средств (ТС), дорожных условиях, а также принимать и реализовывать адекватные решения по управлению ТС в течение заданного промежутка времени с допустимыми уровнями напряженности труда и рисками возникновения конфликтной ситуации, ДТП и ЧС [8].

Обеспечение надёжности и безопасности работы водителя любого автотранспортного средства можно достичь комбинированием следующих подходов:

- улучшение дорожных условий, оказывающих влияние на безопасность движения;
- улучшение системы подготовки водителей;

- разработка и комплектация транспортных средств устройствами активной и пассивной безопасности;
- разработка систем контроля снижения внимательности водителей и вероятности их проваливания в микросон, которые будут установлены в кабине транспортного средства;
- разработка методических рекомендаций безаварийного управления автомобилем;
- внедрение интеллектуальных систем управления дорожным движением на автомобильных дорогах общего пользования;
- проведение исследования влияния психофизиологического состояния водителя на безопасность дорожного движения.

Проблема надежности профессиональной деятельности водителя сложна своей многоплановостью. Она охватывает не только чисто технические вопросы, связанные с конструкционными особенностями автомобилей и дорог, но и вопросы из других областей: психологии и физиологии человека. Выявление лиц с пониженной надежностью, используя профессиональный отбор по психофизиологическим качествам, позволит снизить уровни рисков, и тем самым повысить безопасность дорожного движения.

Психофизиологический отбор – это составляющая профессионального отбора, целью которого является выявление психофизиологических способностей и качеств, соответствующих требованиям определенных профессий, характеризующихся значительным нервно-психическим напряжением, гиподинамией, нарушением естественного режима сна – бодрствованием, повышенными требованиями к аналитическим системам, возможностью возникновения стрессовых ситуаций и другими стрессовыми факторами.

В психофизиологических исследованиях критериями оценки влияния различных дорожных условий на водителя являются значения психофизиологических показателей, соответствующие оптимальному уровню эмоционального напряжения. Исходя из этого, определяется степень надежности действий водителя [9; 10].

Психофизиологические характеристики показывают способность водителя воспринимать дорожную информацию, осмысливать ее, принимать решения и своевременно реагировать на изменения в дорожной ситуации. Психофизиологические свойства человека определяют особенности психических и физиологических процессов его организма. К этим свойствам относятся восприятие, внимание, мышление, память, эмоции, воля, а также личностные качества [11].

Для экспериментов, которые фокусируются на выявлении уровня внимания, комфорта (или дискомфорта), или влияния стрессовых факторов, обычно проводятся психофизиологические измерения неинвазивной формы [12; 13; 14]. Среди наиболее популярных необходимо выделить следующие:

- электроэнцефалография;
- электрокардиография;

- электромиография;
- отслеживание движения глаз.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод регистрации электрических потенциалов от кожи головы человека, возникающих как результат электрической активности нейронов мозга.



Рисунок 1 – Метод электроэнцефалографии в кабине автомобиля

Сигнал ЭЭГ тесно связан с уровнем сознания человека. В связи с этим оборудование ЭЭГ широко используется для изучения состояния водителя, например, усталости, сонливости и времени реакции [15].

Электрокардиография (ЭКГ) – это метод исследования и регистрации электрической деятельности сердца.

Результатом электрокардиографии является получение электрокардиограммы, которая регистрирует электрическую активность сердца [16; 17].

Электромиография (ЭМГ) – это метод оценки и регистрации электрической активности, производимой скелетными мышцами. ЭМГ выполняется с использованием специальных инструментов для создания записи, называемой электромиограммой. Электромиограф обнаруживает электрический потенциал, генерируемый мышечными клетками, когда эти клетки электрически или неврологически активированы. Сигналы могут быть проанализированы, чтобы обнаружить начало движения [18].

Отслеживание глаз (Eye tracking) – это технология отслеживания движений глаз вокруг наблюдаемого объекта или сцены. Чтобы ощутить эти движения, не повреждая глаза, используются неинвазивные технологии, использующие инфракрасный свет. Движения сканируются специальными камерами, которые передают движения глаз на компьютер через файлы набора данных [19; 20].

Все системы слежения за глазами можно условно разделить на два типа – надеваемые и дистанционные. Рассмотрим последовательно основные характеристики Eye tracker каждого типа.

1) Надеваемые Eye-tracker. Eye-tracker данного типа надеваются на голову респондента и имеют вид специальных очков либо «рамок на шапочке». Их конструкция состоит из мини-видеокамеры, фиксирующей обстановку перед

респондентом, а также источника инфракрасного излучения, которое через оптические световоды подводится к глазам человека, а отраженный от них блик «замешивается» в сигнал от видеокамеры. Соответственно, направление взгляда человека имеет вид небольшого светового пятна, перемещающегося по объектам внешней обстановки (рисунок 2).

2) Второй тип Eye-tracker можно отнести к дистанционным. Одним из конструктивных вариантов дистанционных Eye-tracker является расположение нескольких отдельных видеокамер с инфракрасными источниками перед человеком для максимального увеличения возможностей по регистрации движений глаз при перемещении человека в рабочем пространстве. При этом число видеокамер может меняться от 2-х до 8-ми (рисунок 3). Преимущество заключается в том, что испытуемый не должен носить какое-либо дополнительное оборудование на голове.



Рисунок 2 – Надеваемый головной Eye-tracker

К сожалению, существуют недостатки в применении систем слежения за глазами. Анализ, который имеет дело с реакцией зрачка, трудно применять в практическом контексте, потому что глаз реагирует на различные условия освещения, которые почти невозможно предвидеть и трудно рассчитать за пределами контролируемой среды.



Рисунок 3 – Дистанционный Eye-tracker

Для проведения экспериментальных исследований психофизиологического состояния водителя необходимо рассмотренные измерительные устройства синхронизировать и использовать их комплексно. Используя функциональную мощность современных компьютеров в сочетании с высокоэргономичными специализированными психофизиологическими измерительными устройствами, можно добиться более точной оценки психофизиологического состояния водителя автотранспортного средства.

Системы слежения за глазами играют важную роль в оценке не только времени реакции водителя, но также могут использоваться для анализа состояния водителя.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований нами были получены следующие данные:

1) Основные причины дорожно-транспортных происшествий – это пренебрежение плохой видимостью, повышенная скорость и невнимательность являются основными причинами дорожно-транспортных происшествий, зависящими от водителей. Эти причины охватывают более 49 % всех зарегистрированных ДТП. Косвенно зависящие от водителей факторы, такие как ухудшение состояния под воздействием алкоголя и утомление, также значительно влияют на возникновение ДТП, составляя более 42 % всех случаев.

2) Влияние психофизиологических факторов. Психофизиологическое состояние водителей играет ключевую роль в их надежности и безопасности управления транспортным средством. Водители, у которых наблюдается повышенное эмоциональное напряжение, усталость или сонливость, значительно чаще становятся участниками ДТП.

Использование таких методов, как электроэнцефалография (ЭЭГ), электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ) и отслеживание движения глаз, позволяет эффективно оценивать состояние водителя и предсказывать его реакцию в различных дорожных условиях.

3) Эффективность методов обеспечения безопасности. Комбинирование различных подходов, таких как улучшение дорожных условий, совершенствование системы подготовки водителей и внедрение интеллектуальных систем управления

дорожным движением, позволяет значительно повысить уровень безопасности на дорогах. Разработка систем контроля снижения внимательности водителей и предотвращения микросна может существенно уменьшить количество аварий, связанных с утомлением и сонливостью водителей.

4) Рекомендации по повышению надежности водителей:

– внедрение методик психофизиологического отбора водителей, направленных на выявление лиц с пониженной надежностью, позволит снизить риск возникновения ДТП.

– проведение регулярных тренингов и обучающих программ для водителей, направленных на развитие их профессиональных навыков и повышения стрессоустойчивости, может оказать положительное влияние на безопасность дорожного движения.

Данные результаты подчеркивают важность комплексного подхода к повышению надежности и безопасности водителей, включающего как технические, так и психологические аспекты. Внедрение современных технологий и методов оценки состояния водителей позволит значительно снизить количество дорожно-транспортных происшествий и повысить уровень безопасности на дорогах.

Выводы

Психофизиологическое состояние водителя автотранспортного средства напрямую оказывают влияние на безопасность дорожного движения. Комплексный подход к повышению надежности и безопасности водителей, включающий технические и психологические аспекты, необходим для значительного снижения количества дорожно-транспортных происшествий и повышения уровня безопасности на дорогах. Поэтому научные исследования, направленные на обеспечение безопасности движения, приобретают первостепенное значение и их необходимо форсировать.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Bush, D., Abishev, K., Baltabekova, A.** Driver's reliability and its effect on road traffic safety // *Procedia Computer Science*. – 2019. – Vol. 149. – P. 463–466.

2 **Жандарбекова, А. М., Мурзабекова, К. А.** Состояние безопасности дорожного движения в Восточно-Казахстанской области // *Наука и техника Казахстана* – 2024 – №3 – С. 282–292.

3 **Абишев, К. К.** К вопросу надежности водителя автотранспортного средства // *Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей*. – 2015. – № 2(70) – С. 3–6.

4 **Усенбаева, З. А.** Водитель – оператор сложной динамической системы // *Наука и техника Казахстана*. – 2010. – № 2. – P. 113–115.

5 **Иносэ, Х.** Управление дорожным движением: пер. с англ. М. : Транспорт, 1983. – 248 с.

6 **Рождественский, Д., Бухнер, П.** Динамический человеко-машинный интерфейс для руководства по проектированию электромобилей // *Наука и техника Казахстана* – 2022. – № 2. – С. 141–153.

7 **Клиновштейн, Г. И.** Организация дорожного движения : учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1997. – 231 с.

8 **Шашина, Е. В.** Разработка научно-методических основ оценки надёжности водителя автобуса в условиях возникновения конфликтных и чрезвычайных ситуаций : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2014. – 20 с.

9 **Усольцева, И. В.** Психофизиологические основы деятельности водителя. – М. : Изд. центр «Академия», 2019. – 292 с.

10 **Abishev, K. K., Kasenov, A. Zh., Baltabekova, A. N.** Measuring Devices of Non-Invasive Form for the Study of the Psychophysiological State of the Driver of Motor Vehicles // *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. – 2022. – Vol. 23. – № 3. – P. 152–157.

11 **Саданова, Д. А., Саданова, В. Н.** Анализ зарубежных систем поддержки водителей на основе измерения психофизиологических показателей // *Научный вестник Невинномысского государственного гуманитарно-технического института*. – 2019. – № 3. – С. 16–19.

12 **Игнатов, Н. А., Мишури, В. М., Мушегян, Р. Т., Сергеев, В. А.** Приборы и методики психофизиологического обследования водителей автомобилей. – М. : Транспорт, 1978. – 88 с.

13 **Абишев, К. К., Балтабекова, А. Н., Касенов, А. Ж.** Анализ методов регистрации сигналов мозговой активности при исследовании психофизиологического состояния водителя // *Промышленный транспорт Казахстана*. – 2020. – № 3. – С. 173–178.

14 **Абишев, К. К., Балтабекова, А. Н.** Измерительные устройства для исследования психофизиологического состояния водителя автотранспортного средства // *Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве»* – Екибастуз-Прокопьевск, 2020. – С. 480–485.

15 **Дятлов, М. Н.** Приборы психофизиологического обследования водителей // *Молодой ученый*. – 2013. – № 4(51). – С. 59–61.

16 **Орлов, В. Н.** Руководство по электрокардиографии. – М. : ООО «МИА», 1997.

17 **Сидоренко, Г. И.** Психофизиологические аспекты кардиологических исследований. – Минск : Беларусь, 1983. – 142 с.

18 **Николаев, С. Г.** Атлас по электромиографии / 2-е изд., испр. и доп. – Иваново: ПресСто, 2015. – 487 с.

19 Разработка интерактивного симулятора для подготовки водителей автотранспортных средств : отчет о НИР (заключительный). / Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова; науч. рук. Абишев К. К.; исп. Касенов А. Ж., Муканов Р. Б., Балтабекова А. Н., Қайролла Б. Қ. № ГР 0117РКУ0381. Инв. № 5.3-14/670 от 14.07.2017 г. – Павлодар, 2017. – 46 с.

20 Айтрекинг в психологической науке и практике / Отв. ред. В. А. Барабанщиков. – М. : Когито-Центр, 2015. – 410 с.

REFERENCES

- 1 **Bush, D., Abishev, K., Baltabekova, A.** Driver's reliability and its effect on road traffic safety // *Procedia Computer Science*. – 2019. – Vol. 149. – P. 463–466.
- 2 **Zhandarbekova, A. M., Murzabekova, K. A.** Sostoyanie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Vostochno-Kazahstanskoj oblasti // *Nauka i tekhnika Kazakhstana* [The state of road safety in the East Kazakhstan region // *Science and Technology of Kazakhstan*]. – 2024. – № 3. – P. 282–292.
- 3 **Abishev, K. K.** K voprosu nadezhnosti voditelya avtotransportnogo sredstva // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej* [On the issue of reliability of the driver of a vehicle // *Bulletin of the Shakarim State University of Semey*]. – 2015. – № 2(70). – P. 3–6.
- 4 **Usenbaeva, Z. A.** Voditel' – operator slozhnoj dinamicheskoy sistemy // *Nauka i tekhnika Kazakhstana* [Driver – operator of a complex dynamic system // *Science and Technology of Kazakhstan*]. – 2010. – № 2. – P. 113–115.
- 5 **Inose, H.** Upravlenie dorozhnym dvizheniem : per. s angl. [Traffic management : trans. from English] – Moscow : Transport, 1983. – 248 p.
- 6 **Rozhdestvenskij, D., Buhner, P.** Dinamicheskij cheloveko-mashinnyj interfejs dlya rukovodstva po proektirovaniyu elektromobilej // *Nauka i tekhnika Kazakhstana* [Dynamic Human-Machine Interface for Electric Vehicle Design Guide // *Science and Technology of Kazakhstan*]. – 2022. – № 2. – P. 141–153.
- 7 **Klinkovshtejn, G. I.** Organizaciya dorozhnogo dvizheniya : uchebnik dlya vuzov [Traffic management : a textbook for universities]. – Moscow : Transport, 1997. – 231 p.
- 8 **Shashina, E. V.** Razrabotka nauchno-metodicheskikh osnov ocenki nadyozhnosti voditelya avtobusa v usloviyah vozniknoveniya konfliktnyh i chrezvychajnyh situacij : avtoref. disc. ... kand. tekhn. nauk. [Development of scientific and methodological foundations for assessing the reliability of a bus driver in the event of conflict and emergency situations: author's abstract. diss. ... candidate of technical sciences]. Moscow, 2014. – 20 p.
- 9 **Usol'ceva, I. V.** Psihofiziologicheskie osnovy deyatel'nosti voditelya [Psychophysiological foundations of driver activity]. – Moscow : Publishing center «Academy», 2019. – 292 p.
- 10 **Abishev, K. K., Kasenov, A. Zh., Baltabekova, A. N.** Measuring Devices of Non-Invasive Form for the Study of the Psychophysiological State of the Driver of Motor Vehicles // *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. – 2022. – Vol. 23. – № 3. – P. 152–157.
- 11 **Sadanova, D. A., Sadanova, V. N.** Analiz zarubezhnyh sistem podderzhki voditelej na osnove izmereniya psihofiziologicheskikh pokazatelej // *Nauchnyj vestnik Nevinnomysskogo gosudarstvennogo gumanitarno-tehnicheskogo instituta* [Analysis of foreign driver support systems based on measuring psychophysiological indicators //

Scientific Bulletin of the Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute]. – 2019. – № 3. – P. 16–19.

12 **Ignatov, N. A., Mishurin, V. M., Mushegyan, R. T., Sergeev, V. A.** Pribory i metodiki psihofiziologicheskogo obsledovaniya voditelej avtomobilej [Devices and methods for psychophysiological examination of car drivers]. – Moscow : Transport, 1978. – 88 p.

13 **Abishev, K. K., Baltabekova, A. N., Kasenov, A. Zh.** Analiz metodov registracii signalov mozgovoj aktivnosti pri issledovanii psihofiziologicheskogo sostoyaniya voditelya // *Promyshlennyy transport Kazakhstana* [Analysis of methods for recording brain activity signals in the study of the psychophysiological state of the driver // *Industrial transport of Kazakhstan*]. – 2020. – № 3. – P. 173–178.

14 **Abishev, K. K., Baltabekova, A. N.** Izmeritel'nye ustrojstva dlya issledovaniya psihofiziologicheskogo sostoyaniya voditelya avtotransportnogo sredstva // *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Povyshenie kachestva obrazovaniya, sovremennye innovacii v nauke i proizvodstve»* [Measuring devices for studying the psychophysiological state of a motor vehicle driver // *Collection of works of the International scientific and practical conference «Improving the quality of education, modern innovations in science and production»*] – Ekibastuz-Prokop'evsk, 2020. – P. 480–485.

15 **Dyatlov, M. N.** Pribory psihofiziologicheskogo obsledovaniya voditelej // *Molodoj uchenyj* [Devices for psychophysiological examination of drivers // *Young scientist*]. – 2013. – № 4(51). – P. 59–61.

16 **Orlov, V. N.** Rukovodstvo po elektrokardiografii [Electrocardiography Handbook]. – Moscow : OOO «MIA», 1997.

17 **Sidorenko, G. I.** Psihofiziologicheskie aspekty kardiologicheskikh issledovanij [Electrocardiography Handbook]. – Minsk : Belarus', 1983. – 142 p.

18 **Nikolaev, S. G.** Atlas po elektromiografii [Atlas of Electromyography] / 2nd ed., corrected and enlarged. – Ivanovo : PresSto, 2015. – 487 p.

19 Razrabotka interaktivnogo simulyatora dlya podgotovki voditelej avtotransportnyh sredstv : otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj). / Pavlodarskij gosudarstvennyj universitet im. S. Torajgyrova [Development of an interactive simulator for training drivers of motor vehicles : R&D report (final). / Pavlodar State University named after S. Toraigyrov] ; scientific director. Abishev K. K.; isp. Kasenov A. Zh., Mukanov R. B., Baltabekova A. N., Ejrolla B. K. № GR 0117RKU0381. Inv. № 5.3-14/670 ot 14.07.2017 g. – Pavlodar, 2017. – 46 p.

20 Айтрекинг в психологической науке и практике [Eye tracking in psychological science and practice] / Responsible. editor. V. A. Barabanshchikov.. – Moscow : Kogito-Centr, 2015. – 410 p.

Поступило в редакцию 06.03.25.

Поступило с исправлениями 06.03.25.

Принято в печать 09.03.25

*А. Н. Балтабекова¹, *К. К. Абишев², Р. Б. Муканов³,
П. Бухнер⁴, Ж. Ж. Фабдолла⁵*

^{1,2,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Қазақстан ғылым және технологиялар институты,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Прага қаласындағы Чехия техникалық университеті, Чехия

06.03.25 ж. баспаға түсті.

06.03.25 ж. түзетулерімен түсті.

09.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖҮРГІЗУШІНІҢ ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДЕГІ ЖҰМЫСЫНЫҢ СЕНІМДІЛІГІ

Мақалада автомобилизация артықшылықтары мен кемшіліктері ұсынылған, бұл ретте автомобиль жоғары қауіптілік көзі ретінде ұсынылған. Жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз етуде автокөлік құралы жүргізушісінің рөлі ашып көрсетілген. Жүргізушімен байланысты, сондай-ақ жүргізушіге байланысты жол-көлік оқиғаларының туындауына әсер етуші негізгі себептер қаралады. Жүргізуші жұмысының сенімділігін қамтамасыз ету жөніндегі ұсынымдар беріледі. Автокөлік құралының жүргізушісінің психофизиологиялық іріктеу қажеттілігі негізделеді. Кәсіби іріктеу түрлерінің ішінде психофизиологиялық іріктеу ерекше орын алады. Бұл психофизиологиялық зерттеулердің психофизиологиялық қасиеттердің көптігін тез әрі объективті өлшеуге мүмкіндік беретіндігімен байланысты. Адамның психофизиологиялық сипаттамалары кәсіби маңызды қасиеттерді сандық тұрғыдан білдіруі мүмкін және «адам-машина» жүйесінің кәсіптері үшін айтарлықтай жоғары болжамға ие. Автокөлік құралы жүргізушісінің сенімділік дәрежесін анықтау үшін инвазивті емес өлшеу аспаптарын қолдану қажеттілігі де негізделеді. Жүргізуші жұмысының сенімділігі психофизиологияның негізгі заңдарының бірі – психикалық күйзеліске байланысты еңбектің табысты болуына сәйкес келеді. Мақалада инвазивті емес жүргізушінің психофизиологиялық жағдайын анықтауға арналған өлшеу аспаптары да талқыланады.

Кілтті сөздер: автомобиль, жүргізуші, жүргізушінің сенімділігі, жүргізушінің психофизиологиясы, қозғалыс қауіпсіздігі, жол-көлік оқиғасы.

*A. N. Baltabekova¹, *K. K. Abishev², R. B. Mukanov³,
P. Bouchner⁴, J. J. Gabdolla⁵*

^{1,2,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Kazakhstan Institute of Science and Technology LLP,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

⁴Czech Technical University in Prague, Czech Republic

Received 06.03.25.

Received in revised form 06.03.25.

Accepted for publication 09.03.25.

RELIABILITY OF THE DRIVER'S WORK IN ENSURING ROAD SAFETY

The article presents the advantages and disadvantages of motorization, while the car is presented as a source of increased danger. The role of the driver of a motor vehicle in ensuring road safety is revealed. The main causes associated with the driver, as well as indirectly depending on the driver, influencing the occurrence of road accidents, are considered. Recommendations are given to ensure the reliability of the driver's work. The necessity of psychophysiological selection of the driver of a motor vehicle is substantiated. Among the types of professional selection, psychophysiological selection occupies a special place. This is due to the fact that psychophysiological studies make it possible to quickly and objectively measure a large number of psychophysiological properties. Psychophysiological characteristics of a person can quantitatively express professionally important qualities and for professions of the “man-machine” system have a fairly high prognostication. The need for the use of non-invasive measuring devices to determine the degree of reliability of the driver of a motor vehicle is also substantiated. The reliability of the driver's work is consistent with one of the main laws of psychophysiology - the success of work depending on mental stress. The article also discusses measuring devices for determining the psychophysiological state of a non-invasive driver.

Keywords: car, driver, driver's reliability, driver's psychophysiology, traffic safety, traffic accident.

**A. M. Zhandarbekova¹, *A. V. Mukhametzhanova²,
K. A. Murzabekova³, A. A. Kulmurzina⁴**

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana

²Eurasian National University named after L. N. Gumilyov,
Republic of Kazakhstan, Astana

³Almaty Management University, Republic of Kazakhstan, Almaty

⁴«Universal tech decisions» LLP, Republic of Kazakhstan, Astana

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-4005>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3577-3831>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4906-8976>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5549-8446>

*e-mail: mukhametzhanova.v@gmail.com

ON THE COMPETITIVENESS OF THE TRANS-CASPIAN INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR

Geopolitical turbulence in the world continues to impact freight logistics and provides growth opportunities for alternative transport corridors and infrastructure facilities. The process of changing the global logistics map has accelerated since the pandemic and subsequent Russian-Ukrainian and Israeli-Palestinian conflicts. All these events, along with the crisis in the Red Sea, have led to the emergence of international logistics contradictions aimed at manipulating the trade potential of the region.

Euro-Asian inland transport corridors form one of the largest channels of global goods movement logistics. The Trans-Caspian International Transport Route (Middle Corridor) is considered to be one of these competitive channels. For Euro-Asian countries, the Trans-Caspian International Transport Route plays a more significant role than just a bridge between China and Europe. This transport route primarily allows us to diversify the logistics of goods distribution and update the transport infrastructure of the countries of Central Asia and the South Caucasus. In the context of the destabilization of the geopolitical situation in the world, Kazakhstan, which has large reserves of energy resources and a developed transport and logistics infrastructure, has become a key country in trade relations between Europe and China.

The analysis and ranking of Euro-Asian inland transport corridors supporting cargo transportation in the direction China-Europe-China is carried out. Geopolitical, economic and transportation factors determining the role of competitiveness of the Trans-Caspian international transportation route in global logistics are considered.

Keywords: Kazakhstan, Global logistics, Euro-Asian corridors, TITR, Middle corridor.

Introduction

Given the current realities and disappointing forecasts of the geopolitical situation, China and the European Union (EU) countries are considering alternative routes, primarily through the Caspian Sea. Under these conditions, the Trans-Caspian International Transport Route (TITR) is being actualized to ensure timely and reliable delivery of goods while maintaining the competitiveness of products.

Scientists studying the potential impact of TITR on the global economy are looking at a wide range of factors, including energy policy, geopolitical situation, infrastructure, transport links, and environmental aspects, to consider them when developing strategies for sustainable and economically beneficial development of the region [1, p. 84], [2, p. 2]. According to some analysts and scientists, it is TITR that represents a key area of interest and an important link in the overall global logistics [2, p. 2].

Kazakhstan and its neighboring countries are making great efforts to develop the transit potential of internal Euro-Asian transport corridors [3, 4]. In 2017, at the initiative of Kazakhstan, the International Association of the Trans-Caspian International Transport Route was created with the participation of railway, maritime administrations, and logistics operators of countries such as China, Azerbaijan, Georgia, Turkey, Ukraine, Romania, and Poland [3]. TITR is designed to coordinate the interaction of all participants in the process of transporting goods along the route from Asia to Europe and back, providing the necessary information support [3]. Contributing to simplification of administrative procedures, creating a competitive environment, and ensuring maximum efficiency for companies from different countries, including those not geographically located directly on TITR [3].

TITR promotes the country's integration into global transport corridors and the restoration of Kazakhstan's historical status as a link between Asia and Europe. In this regard, the need for infrastructure development of all types of transport is a priority.

The intensification of cooperation between Kazakhstan and the EU countries and China has influenced the improvement of logistics for the movement of goods through TITR and support for commercial exchange and investment inflow.

The most important instruments promoting the development of TITR are the interests of the EU and China, which are reflected in the «Agreement between the European Union (EU) and Kazakhstan «On Enhanced Partnership and Cooperation» [5], «Agreement between the Government of Kazakhstan and the Government of the People's Republic of China (PRC) on the development of the Trans-Caspian international transport route» [6]. It should be noted that the «Concept for the development of transport and logistics potential of the Republic of Kazakhstan, 2022» [7], «Road map for 2022–2027 aimed at increasing the efficiency of TITR, as well as synchronously eliminating bottlenecks along the entire route» [4] and «Agreement «On the creation of a unified logistics company TMTM» [3] ensure the expansion of TITR's potential.

Main objective – The main objective is to investigate the competitiveness of TMTM in the global supply chain in the direction of China-Europe-China.

In this context the object of this study is the routes of the Euro-Asian inland transport corridors.

The subject of the study is a comparison of routes of Euro-Asian internal transport corridors.

The scientific novelty of the research consists of:

- in a comprehensive analysis of freight turnover by TITR;
- in a comparative analysis of the infrastructure potential of the TITR and the Southern route.
- Hierarchical structure of transportation corridor selection indicators;
- Ranking of indicators for assessing the competitiveness of transport corridors.

Materials and methods

Scientific research, periodical publications, and statistical data were used as the main information sources for the study. International association «Trans-Caspian international transport route» [3], NC Kazakhstan temir zholy JSC (TMJL) [8].

Methods of data collection and analysis were used, statistical methods to determine route congestion, and methods of comparative analysis of corridors. The method of expert evaluations and decision-making theory were used to evaluate and select the main indicators of route competitiveness.

Results and discussion

The implementation of the TITR development project in Kazakhstan and its transformation into a transport and logistics hub is influenced by the relations between China and the EU, which are the largest trading partners, the dynamically developing economies of the countries located along the Silk Road Economic Belt (SREB). TITR previously did not have much potential for economically viable trade between China and Europe [1, p. 84]. However, as an intra-regional political defense, it has value not only for China, but also for Turkey, as well as for the economies of Central Asia and the Caucasus.

The length of the TITR is about 9400–11000 km, includes about 4250 km of railway tracks and about 500 km of sea routes [3] (table 1). Cross-cutting tariff rates have been formed and services throughout the entire route are provided in a «single window» mode [3].

The city of Lianyungang on the Yellow Sea marks the beginning of the TMTM, while one of the European endpoints is Rotterdam in the Netherlands [3]. From the main points of consolidation of cargo flows in China, cargo is sent to European countries, Russia, the Caucasus, Turkey, Central Asia, and Iran [9]. This is facilitated by the successfully functioning Kazakh-Chinese terminal in the port of Lianyungang.

In addition to the TITR, there are several alternative infrastructure transport routes between Asia and Europe, such as the Northern Route (via Russia), the Sea Route (via Iran) and the Southern Corridor (via Central Asia and the South Caucasus) (table 1). These transport routes are organized based on a unified technical, managerial, and legal infrastructure and are important from the point of view of the socio-economic development of the territories, promoting national interests and determining the geopolitical landscape. The infrastructure of the above routes has different throughput, carrying capacity, and also different development potential.

Table 1 - Comparison of routes of Euro-Asian inland transport corridors in the direction China – Europe – China

Transport routes	Length, km	Delivery time, days	Factors constraining the operation of the route
TITR (multi-intermodal railway, sea transport): China - Kazakhstan - Azerbaijan - Georgia - EU countries / Turkey Requires increased bandwidth	9400-11000	18-23	Delays associated with insufficient infrastructure development, administrative barriers, complex control procedures, including customs
Northern route (railway transportation): China – Kazakhstan – Russia – Belarus – EU countries. Fully functional	about -11000	19	Military conflict in Ukraine, economic sanctions imposed on Russia
Southern route (railway, road, sea transportation): China – Kyrgyzstan – Uzbekistan – Turkmenistan – Azerbaijan – Georgia – EU countries/ Russia/ Afghanistan/ Iran - Planned/not operational	about 13000 km	No data	Numerous border crossings, mountainous terrain, requires multiple cargo transshipments, investments to create infrastructure
Sea route (sea) – China – Suez Canal – Türkiye – EU countries Fully functional	about 20000 km (11 000 nautical miles)	35-45 (22-37)	Crisis on the Red Sea, delivery times increased, delivery costs increased

Source: table compiled by the authors based on data [3, 18]

Along with the fact that cargo transportation along the sea route is problematic due to sanctions against Iran in the crisis-ridden Middle East, there are also problems with sanctions along the Northern route. TITR not only reduces transit time (up to 12 days), but also solves sanctions compliance problems by bypassing Russia, making it an attractive option for businesses looking for new trade routes and markets [3, 8]. The TITR is the shortest route between western China and Europe compared to the Northern Route (approximately 2,500 km) via Russia and the Suez Canal sea routes [10]. But at the same time TITR includes unpredictable time frames that can range from 14 to 45 days, but can take up to 60 days depending on the circumstances, say analysts at the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) [11].

Thus, at present, there are two alternative directions to the Server route of the Euro-Asian internal transport corridors: TITR and the Southern route (via China - Kyrgyzstan – Uzbekistan – Turkmenistan), whose extreme supply points are the EU countries and China.

Before the military conflict in Ukraine, the Northern Route provided stable cargo transportation between China and Europe. During this period, TITR was less of a priority. Sanctions against Russia and a growing reluctance to use the Northern Route have led to a significant decline in traffic volumes on this route. During 2023, traffic volumes on the Northern route decreased by 51% compared to the previous year [12]. At the same time, cargo flow through the Suez Canal against the backdrop of the military

conflict in the Red Sea decreased by 40% [13], as a result of which maritime imports to Europe fell to record lows.

As for the use of TITR, it is one of the promising and alternative routes in trade relations between the countries of the EU, Central Asia, and China, with a steadily growing trade turnover (Figure 1) [3].

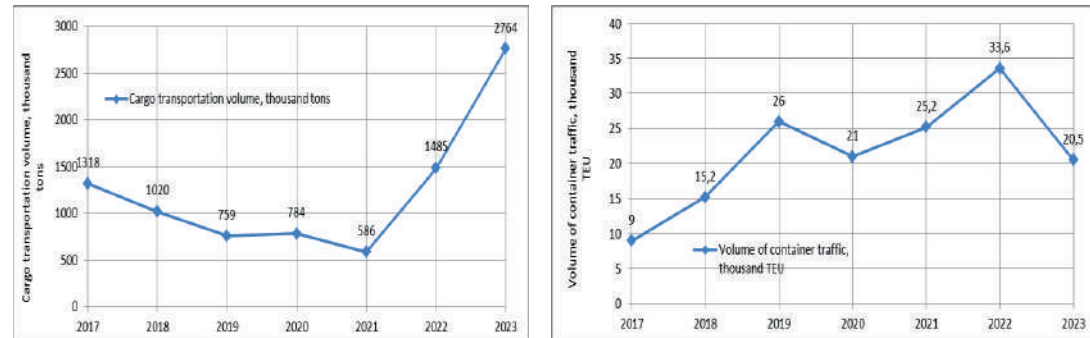


Figure 1 – Dynamics of cargo transportation volume and TITR workload for 2017–2023

Source: compiled from data of Middle Corridor Trans-Caspian International Transport Route [3, 8]

On the one hand, Kazakhstan's interest in cooperation with China is due to the expansion of China's presence in Central Asia and Europe. On the other hand, this is due to the efforts of the countries participating in the TITR (Kazakhstan, Azerbaijan, Georgia and Turkey), which signed the Roadmap, to improve the efficient operation of the route [4]. It is the TITR that now seems to be a really working route, and taking into account the intentions of Kazakhstan and Azerbaijan to expand the tanker fleet in the Caspian Sea and the possibility of increasing the capacity of the Baku-Tbilisi-Ceyhan oil pipeline to 2.2 million barrels per day from 1.2 million barrels per day, the growth of transshipment significant volumes of oil through Baku are promising [4].

During the period from 2017 to 2023, 8.7 million tons of cargo were transported via TITR, 150.4 thousand TEU [3]. Indicators for 2023 indicate that transport companies from both China and the EU are paying close attention to this area today [12]. Unlike the «Northern Corridor», which runs from Europe through Russia in the direction of Japan with branches to Kazakhstan, Mongolia, and China, last year the TITR showed a serious increase in cargo turnover: 2 million 750 thousand tons of cargo, which is 64 % more than a year earlier [9].

A strategic point to increase trade turnover within the project is to increase container traffic. This component is largely focused on attracting traffic from China, which is quite natural given the «Belt and Road» initiative announced by Beijing.

TITR's performance in recent years has shown clear progress in terms of eliminating bureaucratic barriers and increasing the efficiency of the logistics system. The parties have also made significant progress on the issue of agreeing on competitive tariffs for transit. Moreover, aspects of the development of TITR infrastructure facilities are

included in the national transport strategies of the corridor participants, which is an additional incentive for realizing the potential of container transportation between East and West in the Caspian direction. In particular, an Agreement was concluded between the Governments of the Republic of Kazakhstan and the PRC on the development of the Trans-Caspian International Transport Route, which reflects China's participation and support in expanding transport infrastructure in Kazakhstan.

At the same time, the EU has identified 33 areas for investment in the physical infrastructure of TITR segments, ranging from modernizing railways to increasing the capacity of ports in the Caspian Sea and updating the fleet [14].

Consequently, following the approach of the TITR development project, the role of Kazakhstan in the context of TITR primarily allows solving transit issues. According to the Ministry of Transport of the Republic of Kazakhstan, Kazakhstan will first of all become an infrastructure base providing transit to other target points in Central Asia (Azerbaijan, Turkmenistan) and Georgia through a well-developed network of routes. This will be an important component of TITR's development plan and as part of a wider network of connections between China and Europe. Azerbaijan and Uzbekistan have already joined their customs systems to the international system eTIR [15]. Currently, Kazakhstan, Kyrgyzstan and Turkmenistan have submitted a request to join the international system eTIR [15].

According to the latest study by the European Bank for Reconstruction and Development, the investment required to modernize the TITR infrastructure is estimated at approximately 18.5 billion euros [9, 14], highlighting its significant scale and potential impact. The World Bank supported the development policy of TITR in Kazakhstan.

Investments made in TITR will allow us to complete the construction of the «missing links» and eliminate the «bottlenecks» of the transport infrastructure that impede the growth of international cargo transportation. Thanks to such actions, the volume of transportation along the TITR may triple by 2030 compared to 2021, and transportation time will be halved.

This article identifies a number of factors that can contribute to the development of TITR in Kazakhstan as a transport and logistics hub in Central Asia. This does not yet mean that TITR will shortly become the main one for transportation on the Euro-Asian continent, since here too there are many problems of its own. However, in recent years it was he who began to take away significant volumes of cargo turnover from the northern route, and in the context of strengthening anti-Russian sanctions, this trend is likely to intensify [16].

At the same time, an analysis of the situation in the region shows that during the development of the TITR, Kazakhstan may face competition from neighboring countries Kyrgyzstan, Uzbekistan, and Turkmenistan (Southern Route), which also have an interest in attracting investment for the construction of railways. The national interests of Kyrgyzstan in the implementation of the SREB are to make money on transit and gain access to world markets and, thus, globalize [17]. This direction suggests some potential due to the important role of Uzbekistan in trade between the EU and China.

At the same time, the functioning of transport corridors between countries that are members of integration associations and shared territories with increased risks is critically important.

Considering TITR as a separate institution, it is necessary to mention that the predecessor to its separation into a separate corridor was the Transport Corridor Europe – Caucasus – Asia (TRACECA) program, supported and funded by the European Union and the European Commission [18].

It should be taken into account that the TITR project (2014), being commercial, is more pragmatic and specific in contrast to the TRACECA project, the motives for the creation of which initially included a political context (1993) [3, 18]. TRACECA has not stopped its development, since in addition to TITR, the organization’s network of corridors also includes other directions, for example, the Southern route. The strategy until 2026 includes among the priority goals “efforts to increase the role and function of the TRACECA corridor in international trade outside the TRACECA region as an important alternative to other corridors”.

When considering the TITR and the Southern Route, it is important to note their priority goals. The goal of the TITR is to increase cargo flow in the direction China - Europe - China, for the achievement of which the institutional structure of the corridor is responsible (table 2) [3].

Comparing the goals of the two routes, one should note the strategic focus of TITR on increasing freight traffic, while the goal of TRACECA, which also applies to the Southern route and TITR, has competing implications.

Table 2 – Comparison of TITR and Southern Route

Priority indicators	TITR	Southern route one of the directions (part) of the TRACECA IPC
Institutional structures	International Association	Intergovernmental Commission
Members of MA/IPC	Leading enterprises in the field of maritime and rail transport of the participating countries (railway, maritime administrations, and logistics operators)	Ministries of the transport industry of the participating countries
Aim	increase in cargo traffic on this route	increasing the role and function of the TRACECA corridor in international trade outside the TRACECA region as an important alternative to other corridors.
Implemented programs	Roadmap for the simultaneous elimination of bottlenecks and the development of the Middle Corridor for 2022-2027. accepted Kazakhstan, Azerbaijan, Georgia, Türkiye	The strategy of the IGC TRACECA for the development of the international corridor Europe-Caucasus-Asia for 2016-2026, developed based on the TRACECA Master Plan and proposals of the Parties

Tools to Promote Transport Route Development	Enhanced Partnership and Cooperation Agreement between the EU and Kazakhstan” Agreement between the Governments of Kazakhstan and China on the development of the Trans-Caspian international transport route Establishment Agreement	Multilateral Agreement (MLA) TRACECA; Agreement on the development of multimodal transport TRACECA
--	---	---

Source: Compiled from data [4, 18]

While determining the purpose of the creation and operation of the Southern route is a difficult task due to the lack of a separate regulatory institution and the geographical complexity of the route (mountainous terrain), it requires investment to create infrastructure. Although accompanied by investment risk due to the instability of the Afghan border. There are also fears of a brewing water conflict between the countries of Central Asia and Afghanistan. A potential chain of conflict could first affect the Afghan-Uzbek border, and then develop into a Central Asian internal conflict between the remaining countries due to water connectivity and dependence on each other. Also, the Southern Corridor affects Iran, which has had rather strained relations with the United States since 2019. The significance of this fact also affects the assessment of the priority of investment flows of Western countries.

The above-mentioned uncertainties and risks of the global transportation market necessitate the establishment and assessment of key corridor competitiveness indicators that ultimately influence route choice.

This study proposes the following hierarchical structure of route choice indicators (Figure 2), where:

- the 1st, upper level, includes five main indicators: delivery cost, delivery time, delivery reliability, throughput capacity, and freight transportation volume;
- the 2nd level includes the following indicators: cost of initial and final operations, cost of traffic operations, length, route speed, duration of initial and final operations, time of technological operations on the route, processing capacity of infrastructure, level of digitalization of traffic control system, throughput capacity of key transport hubs, processing capacity of transport-technological systems, level of capacity of cargo-loading and cargo-absorbing facilities, as well as geopolitical, and social risks;
- Level 3 includes the following indicators: type of rolling stock, type of shipment, type of train traction, number of separate points, number of main tracks, level of automation system, terrain characteristics, number of consolidation and distribution centers, etc.

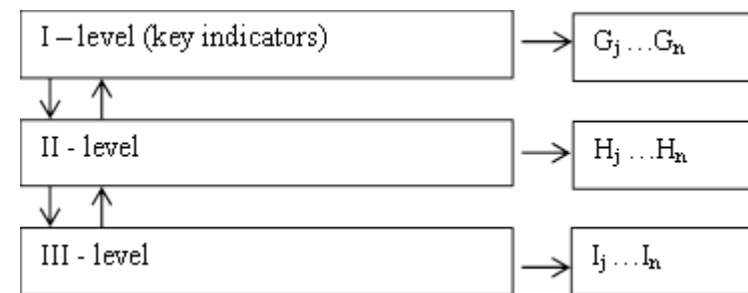


Figure 2 – Hierarchical structure of transport corridor selection indicators

In order to assess the competitiveness of transport corridors, 7 experts from the industry were involved. When selecting experts, much attention was paid to the consistency of their opinions. Kendall's concordance coefficient [19, p. 304-305] was used as a measure of the consistency of experts' opinions, since all experts involved in the assessment distinguished between related factors and did not assign them the same ranks:

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)} \quad (1)$$

where S is the sum of squares of deviations of the sum of ranks of each indicator from the arithmetic mean of ranks; n is the number of experts; m is the number of indicators under consideration.

Depending on the degree of consistency of experts' opinions, the concordance coefficient can take a value from 0 (in the absence of consistency) to 1 (with complete unanimity).

To assess the significance of the concordance coefficient, when all experts found differences between related factors and did not assign the same ranks, it is necessary and sufficient that the found, $x_\infty^2 = (m-1) \cdot nW$ would be greater than the tabulated x^2 , determined by the number of degrees $\nu = (m-1)$ of freedom confidence level P . As a rule, the confidence probability in such cases is taken as 0.90÷0.99. For this case, we used $P = 0,90$, $\nu=4$. Tabular value $x^2 = 7,78$.

The ranking consists of placing the competitiveness indicators in order of preference in terms of importance or weighting, i.e., the higher the rank, the more preferable the competitiveness indicator. In this case, the ranking was done to determine the weighting coefficients g_j for the five competitiveness indicators:

$$g_j = \sum_{i=1}^n G_{ij} / \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij} \quad (2)$$

where is the weighting G_{ij} - coefficient of the j-th indicator in points given by the i-th expert. It should be noted that $\sum_{j=1}^5 g_j = 1$.

The estimated and final parameters for the assessment of the competitiveness indicators of TITR and the Southern Route by industry experts are summarized in Table 3.

Table 3 – Calculated and tabulated values of parameters for cargo groups under consideration

Parameters	TITR	Southern route
Arithmetic mean of ranks, G_{ij}^{cp}	20	20
The sum of squares of deviations of the sum of ranks of each of the sum of ranks of each factor from the arithmetic mean rank, S.	164,9	46,6
Coefficient of Concordance, W	0,34	0,1
Tabular value of x^2 at $\nu=5$	9,52	2,8
Significance of the coefficient of concordance, x^2 , $\nu = 5$	significant	

Analyzing the competitiveness of the considered transport routes, it should be noted that the importance of the indicators has differences (Table 4).

Table 4 – Values of weighting coefficients and importance of route competitiveness indicators

Indicators of Route Competitiveness	Weighting coefficients, g		Importance of indicators	
	TITR	Southern route	TITR	Southern route
Delivery reliability	0,28	0,15	1	5
Shipping costs	0,22	0,21	2	3
Delivery time	0,21	0,22	3	2
Throughput	0,19		4	4
Southern route	0,10	0,23	5	1

Therefore, at present, the competitiveness of TITR is determined by the first three priority indicators: reliability, cost and delivery time. At the same time, the competitiveness of the Southern route, according to experts' assessment, may be determined by the volume of cargo transportation, time and cost of delivery.

In the fourth place of the competitiveness indicators of the routes under consideration is the capacity, showing the same importance of infrastructure for the TITR and the Southern route.

The fifth level of importance for TITR according to experts is the volume of cargo transportation, but at the moment increasing the volume of cargo traffic through TITR is no less a priority, although the importance of this indicator was rated by experts at 0.10.

In the hierarchy of importance of indicators, the experts ranked the reliability of cargo delivery for the Southern route fifth, which is explained by the lack of a steady cargo flow.

Thus, the Southern route requires the creation of infrastructure, which implies a much more nuanced financing system, and also leads to much greater risks, including macro-fiscal.

From a World Bank study it follows that TITR, although it requires capital investments to expand capacity, it operates mainly due to the existing infrastructure.

Accordingly, in a technical sense, it is difficult for corridors to compete with each other due to the lack of the above facts.

Conclusions

This study shows the strategic role of TITR in the global supply chain in the current geopolitical environment. Since a comprehensive analysis and assessment of trade dynamics between the EU and China, the EU and Kazakhstan, Kazakhstan and China in 2022-2023 reflects the importance of TITR in global logistics.

A comparative analysis and expert assessment of the competitiveness of the potential of TITR and the Southern Route shows that the strategic focus of TITR is to increase cargo traffic, while the objective of the Southern Route is to create a separate regulatory institution and attract investment to build infrastructure.

According to research by the European Bank for Reconstruction and Development, investments made in TITR will allow us to modernize and eliminate bottlenecks in transport infrastructure that impede the increase in freight traffic.

While the Southern route needs to create infrastructure, given the great risks associated with regional geopolitics, it requires a more nuanced investment system.

REFERENCES

- 1 **Kenderdine, T., Press, H.** Reimagining Trade Routes: China's Eurasia Hedge Amid the War in Ukraine// Global Asia 2022. – Vol.17. – № 3. – 2022.9. – P. 84–90. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE11136982>.
- 2 **Muratova, M., Sadri, H., Medeubayeva, Z., Issayeva, A.** The EU and Kazakhstan in the latest geopolitical and geoeconomic conditions: New dimensions of partnership// Journal of Eurasian Studies. – 2023. – Vol.0(0)1–12. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1177/18793665231215799>
- 3 «TITR» Association. TITR–Trans-Caspian International Transport Route. Available online: [Электронный ресурс]. – <https://middlecorridor.com/en/> (Accessed: February 2, 2024)
- 4 Подписанная в Актау «Дорожная карта» ускорит развитие Транскаспийского маршрута. – [Электронный ресурс]. – https://forbes.kz/news/2022/11/27/newsid_289613 (Accessed: April 12, 2024)
- 5 Enhanced partnership and cooperation agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and the Republic of Kazakhstan, of the other part. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A22016A0204%2801%29> (Accessed: April 2, 2024)
- 6 О подписании Соглашения между Правительством Республики Казахстан и Правительством Китайской Народной Республики по развитию Транскаспийского

международного транспортного маршрута. Постановление Правительства Республики Казахстан от 14 октября 2023 года № 911. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000911>

7 Об утверждении Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 г. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2022 года № 1116 Available at: [Электронный ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116>

8 АО НК Қазақстан темір жолы. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://www.railways.kz/ru/investoram/godovye-otchety/> (Accessed: February 09, 2024)

9 Закрепляя позиции транзитного лидера. Available online: [Электронный ресурс]. – https://www.utlc.com/press-center/detail/zakrepyaya-pozitsii-tranzitnogo-lidera/?sphrase_id=20056 (Accessed: April 2, 2024).

10 Middle trade and transport corridor. Policies and investments to triple freight volumes and halve travel time by 2030 © 2023. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, Available at: [Электронный ресурс]. – www.worldbank.org (Accessed: February 07, 2024)

11 European Bank of Reconstruction and Development. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://www.ebrd.com/home> (Accessed: March 07, 2024)

12 Центральная Азия в центре логистических интересов глобальной торговли. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://globalnews.kz/ca-v-centre-logisticheskij-interesov-globalnoj-torgovli/> (Accessed: April 1, 2024)

13 Грузопоток через Суэцкий канал резко снизился. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://www.gazeta.ru/business/news/2024/01/20/22153525.shtml>. (Accessed: April 10, 2024).

14 EU identifies key areas for investment in the Middle Corridor infrastructure. Available online: <https://news.day.az/economy/1633766.html/> (Accessed: February 20, 2024).

15 Roadmap for digitalization of multimodal exchange of data and documents along the trans-Caspian transport corridor. Available at: [Электронный ресурс]. – https://unece.org/sites/default/files/202404/Roadmap%20for%20the%20Digitalization%20of%20the%20Trans-Caspian%20Corridor_final_v3_RU.pdf. (Accessed: February 19, 2024).

16 Сухопутный транспортный мост в Евразии – настоящее и перспективы. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://e-cis.info/news/566/115479/> (Accessed: April 1, 2024)

17 Политический аспект сопряжения ЕАЭС и Великого Шелкового пути: Интересы и роль Кыргызстана. Available online: [Электронный ресурс]. – <https://kabar.kg/news/politicheskii-aspekt-sopriazheniia-eaes-i-velikogo-shelkovogo-puti-interesy-i-rol-kyrgyzstana/> (Accessed: March 20, 2024)

18 TRACECA. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://traceca-org.org/ru/glavnaja/> (Accessed: April 15, 2024)

19 Batarlienė, Nijolė, and Raimondas Šakalys. Criteria impacting synchronization of transport flows along international transport corridor// Promet-Traffic&Transportation. - 2020.-399-408. Available at: <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i3.3322>

REFERENCES

1 **Kenderdine, T., Press, H.** Reimagining Trade Routes: China's Eurasia Hedge Amid the War in Ukraine// Global Asia 2022. – Vol.17. – № 3. – 2022.9. – P. 84–90. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE11136982>.

2 **Muratova, M., Sadri, H., Medeubayeva, Z., Issayeva, A.** The EU and Kazakhstan in the latest geopolitical and geoeconomic conditions: New dimensions of partnership// Journal of Eurasian Studies. – 2023. – Vol.0(0)1–12. Available at: <https://doi.org/10.1177/18793665231215799>

3 «TITR» Association. TITR–Trans-Caspian International Transport Route. Available online: [Электронный ресурс]. – <https://middlecorridor.com/en/> (Accessed: February 2, 2024)

4 Podpisannaya v Aktau «dorozhnaya karta» uskorit razvitie Transkaspiskogo marshruta [The roadmap signed in Aktau will accelerate the development of the Trans-Caspian route]. [Электронный ресурс]. – https://forbes.kz/news/2022/11/27/newsid_289613 (Accessed: April 12, 2024)

5 Enhanced partnership and cooperation agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and the Republic of Kazakhstan, of the other part. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A22016A0204%2801%29> (Accessed: April 2, 2024)

6 O podpisanii soglasheniya mezhdunarodnogo transportnogo marshruta» Postanovlenie ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 14 oktyabrya 2023 g. № 911 [On signing an Agreement between the Government of the Republic of Kazakhstan and the Government of the People's Republic of China on the development of the Trans-Caspian International Transport Route Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 14, 2023 No. 911]. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000911>.

7 Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya transportno-logisticheskogo potentsiala Respubliki Kazakhstan do 2030 goda. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 30 dekabrya 2022 goda № 1116. [On approval of the Concept for the development of the transport and logistics potential of the Republic of Kazakhstan until 2030 Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2022 No. 1116] Available at. – [Электронный ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116>.

8 AO NK Qazaqstan temir zholy [Joint Stock Company National Company KazakhstanRailways]. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://www.railways.kz/ru/investoram/godovye-otchety/> (Accessed: February 09, 2024)

9 Zakreplyaya pozicii tranzitnogo lidera [Consolidating the position of a transit leader]. Available online: https://www.utlc.com/press-center/detail/zakreplyaya-pozitsii-tranzitnogo-lidera/?sphrase_id=20056 (Accessed: April 2, 2024).

10 Middle trade and transport corridor. Policies and investments to triple freight volumes and halve travel time by 2030 © 2023. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, Available at: [Электронный ресурс]. – www.worldbank.org (Accessed: February 07, 2024)

11 European Bank of Reconstruction and Development. Available at: <https://www.ebrd.com/home> (Accessed: March 07, 2024)

12 Central'naya Aziya v centre logisticheskikh interesov global'noj trgovli [Central Asia at the center of logistical interests of global trade]. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://globalnews.kz/ca-v-centre-logisticheskij-interesov-globalnoj-torgovli/> (Accessed: April 1, 2024)

13 Gruzopotok cherez Sueckij kanal rezko snizilsya [Cargo traffic through the Suez Canal has dropped sharply] Available at: [Электронный ресурс]. – <https://www.gazeta.ru/business/news/2024/01/20/22153525.shtml>. (Accessed: April 10, 2024).

14 EU identifies key areas for investment in the Middle Corridor infrastructure. Available online: [Электронный ресурс]. – <https://news.day.az/economy/1633766.html/> (Accessed: February 20, 2024).

15 Roadmap for digitalization of multimodal exchange of data and documents along the trans-Caspian transport corridor. Available at: [Электронный ресурс]. – https://unece.org/sites/default/files/202404/Roadmap%20for%20the%20Digitalization%20of%20the%20Trans-Caspian%20Corridor_final_v3_RU.pdf. (Accessed: February 19, 2024).

16 Nazemnyj transportnyj most v Evrazii - nastoyashchee i perspektivy [The land transportation bridge in Eurasia - present and prospects]. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://e-cis.info/news/566/115479/> (Accessed: April 1, 2024)

17 Politicheskij aspekt sopryazheniya EAES i Velikogo Shelkovogo puti: Interesy i rol' Kyrgyzstana [The Political Aspect of the EAEU and the Great Silk Road Unification]. Available online: [Электронный ресурс]. – <https://kabar.kg/news/politicheskii-aspekt-sopriazheniia-eaes-i-velikogo-shelkovogo-puti-interesy-i-rol-kyrgyzstana/> (Accessed: March 20, 2024)

18 TRACECA. Available at: [Электронный ресурс]. – <https://traceca-org.org/ru/glavnaja/> (Accessed: April 15, 2024)

19 Batarlienė, Nijolė, and Raimondas Šakalys. Criteria impacting synchronization of transport flows along international transport corridor// Promet-Traffic&Transportation. – 2020. – P. 399–408. – Available at: – <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i3.3322>

Received 31.12.24.

Received in revised form 22.01.25.

Accepted for publication 28.01.25.

*А. М. Жандарбекова¹, *А. В. Мухаметжанова²,
К. А. Мурзабекова³, А. А. Кулмурзина⁴*

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³Алматы менеджмент университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁴«Universal tech decisions» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

31.12.24 ж. баспаға түсті.

31.12.25 ж. түзетулерімен түсті.

28.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТРАНСКАСПИЙ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ КӨЛІК БАҒДАРЫНЫҢ ЖАҢАНДЫҚ ЛОГИСТИКАДАҒЫ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ ТУРАЛЫ

Әлемдегі геосаяси турбуленттілік жүк тасымалы логистикасына әсер етуді жалғастыруда және баламалы көлік дәліздері мен инфрақұрылымдық объектілердің өсуіне мүмкіндік береді. Жаһандық логистикалық картаны өзгерту үрдісі пандемиядан және одан кейінгі Ресей-Украина және Израиль-Палестина қақтығыстарынан кейін жеделдеді. Осы оқиғалардың барлығы Қызыл теңіздегі дағдарыспен бірге аймақтың сауда әлеуетін басқаруға бағытталған халықаралық логистикалық қайшылықтарға әкелді.

Еуроазиялық ішкі көлік дәліздері тауарларды таратудың жаһандық логистикасының ең ірі арналарының бірін құрайды. Олардың бірі - Транскаспий халықаралық көлік бағдары (Орта дәліз) бәсекеге қабілетті арналар болып саналады. Бұл көлік бағдары бірінші кезекте тауар қозғалысының логистикасын әртараптандыруға және Қазақстан мен Оңтүстік Кавказдың көлік инфрақұрылымын өзектілендіруге мүмкіндік береді. Әлемдегі геосаяси жағдай ахуалында энергетикалық ресурстардың үлкен қорлары мен дамыған көліктік-логистикалық инфрақұрылымы бар Қазақстан Еуропа мен Қытай арасындағы сауда қатынастарындағы басты елге айналды.

Қытай – Еуропа – Қытай бағыты бойынша жүктерді тасымалдауды қолдайтын Еуроазиялық ішкі көлік дәліздеріне талдау және саралау жүргізілді. Жаһандық логистикадағы Транскаспий халықаралық көлік бағдарының бәсекеге қабілеттілігінің ролін анықтайтын геосаяси, экономикалық және көлік факторлары қарастырылады.

Кілтті сөздер: Қазақстан, жаһандық логистика, Еуроазиялық дәліздер, ТХКБ, Орта дәліз.

*А. М. Жандарбекова¹, *А. В. Мухаметжанова²,
К. А. Мурзабекова³, А. А. Кулмурзина⁴*

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²Евразийский университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

³Алматы менеджмент университет, Республика Казахстан, г. Алматы

⁴ТОО «Universal tech decisions», Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 31.12.24.

Поступило с исправлениями 22.01.25.

Принято в печать 28.01.25.

О КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТРАНСКАСПИЙСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА В ГЛОБАЛЬНОЙ ЛОГИСТИКЕ

Геополитическая турбулентность в мире продолжает оказывать влияние на логистику грузоперевозок и дает возможность роста альтернативным транспортным коридорам и инфраструктурным объектам. Процесс изменения глобальной логистической карты ускорился после пандемии и последующих российско-украинской и израильско-палестинской конфликтов. Все эти события, наряду с кризисом в Красном море, привели к появлению международных логистических противоречий, нацеленных на манипулирование торговым потенциалом региона.

Евроазиатские внутренние транспортные коридоры формируют один из крупнейших каналов глобальной логистики товародвижения. Одним из них конкурентоспособных каналов считается Транскаспийский международный транспортный маршрут (Средний коридор). Данный транспортный маршрут в первую очередь позволяет диверсифицировать логистику товародвижения и актуализировать транспортную инфраструктуру Казахстана и Южного Кавказа. В условиях геополитической ситуации в мире Казахстан, обладающий большими запасами энергетических ресурсов и развитой транспортно-логистической инфраструктурой, стал ключевой страной в торговых отношениях между Европой и Китаем.

Проведен анализ и ранжирование Евроазиатских внутренних транспортных коридоров, поддерживающих перевозку грузов по направлению Китай – Европа – Китай. Рассмотрены геополитические, экономические и транспортные факторы, определяющие роль конкурентоспособности Транскаспийского международного транспортного маршрута в глобальной логистике.

Ключевые слова: Казахстан, Глобальная логистика, Евроазиатские коридоры, ТМТМ, Средний коридор.

***К. С. Касымжанова¹, А. М. Шарипова², А. Б. Увалиева³,
О. Ш. Оразов⁴, И. Қ. Саукенова⁵**

^{1,2,4}Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ.

^{3,5}Алматы Менеджмент университеті, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0701-8951>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1518-9910>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-2563>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9327-6940>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4834-1408>

*e-mail: kasymzhanovak@mail.ru

ЖҮРГІЗУШІНІҢ ЖҰМЫС ҚАБІЛЕТТІЛІГІ МЕН ЖОЛДАҒЫ ҚАУІПСІЗДІК ШАРАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада дамыған елдердің көпшілігінде тиісті ұйымдар мен мекемелер жол көлік оқиғаларына талдау жасайтыны және оларды тудырған себептерді анықтайтыны, сонымен қатар әр елдің әртүрлі аймақтарында ЖАЖО жүйесінің жұмыс істеу қабілеті жол, қоршаған орта және басқа шарттармен ерекшеленетіні, бірақ бәрінің белгілі жалпы заңдылықтары бар екені жайында айтылады.

Жүргізушілер келіп түскен ақпаратты талдау негізінде қозғалыс режимін таңдайды. Қозғалыс процесінде оның көлемі кең ауқымда өзгереді. Жүргізуші жұмысының сенімділігі мен оның жұмысқа қабілеттілігі, егер оған түсетін ақпарат көлемі оңтайлы шектерде болса ғана, қажетті деңгейде сақталуы мүмкін. Жүргізушінің «жүргізуші – автомобиль – жол – орта» жүйесінің операторы ретіндегі жұмысының сенімділігін арттыру қозғалыс қауіпсіздігін арттыру саласында басым болып табылады.

Жұмыс қабілеттілігіне әсер ететін негізгі факторлар: шаршау, ұйқының жетіспеушілігі, стресстік жағдайлар, сондай-ақ ұзақ уақыт көлік жүргізу. Зерттеу барысында жүргізушінің жұмыс қабілетін қалпына келтіруге көмектесетін шаралар (демалыс режимін дұрыс ұйымдастыру, үзілістер, физикалық жаттығулар) қарастырылды. Сонымен қатар, жолдағы қауіпсіздікті қамтамасыз ететін техникалық және ұйымдастырушылық шаралар да зерделенді: жол белгілері мен таңбалау, жылдамдықты шектеу, қауіпті аймақтарды бақылау. Зерттеу жүргізушілерге арналған қауіпсіздік шараларын жетілдіруге және олардың денсаулығын сақтауға бағытталған ұсыныстарды қамтиды. Бұл жүргізушінің жұмыс қабілеттілігін арттыру арқылы апаттық жағдайлардың алдын алуға ықпал етеді.

Кілтті сөздер: жүргізуші, автомобиль, психофизиология, жол жүру ережелері, жол оқиғалары, адами фактор.

Кіріспе

Жүргізуші жол жағдайларын объективті және тез қабылдауға, олардың өзгерістерін бағалауға және оларға жауап беруге ғана емес, сонымен қатар көлікті басқаруға қажетті барлық әрекеттерді орындауға міндетті. Жолдардағы қозғалыс қауіпсіздігі «жүргізуші - автомобиль - жол - орта» кешенінің барлық буындарының үздіксіз жұмысына байланысты.

ЖАЖО жүйесінің ең аз сенімді элементі адам екендігі анықталды деп санауға болады. Кейбір мәліметтер бойынша, жүргізуші мен жаяу жүргіншінің қателіктеріне байланысты апаттың 80 % – дан астамы орын алады.

Инженерлік психологияда адам операторының сенімділігі туралы түсінік бар, жүргізушіге қатысты - бұл көлікті дәл басқару мүмкіндігі.

Жүргізушінің алдында пайда болатын объектілерді қабылдау оларды еркін тексеруден басталады, бұл шамамен 15 түрлі ақпараттың 20 % ғана береді, содан кейін ол әрқайсысына егжей-тегжейлі танумен назар аударады және бұл тағы 70–80 % ақпарат береді. Алынған ақпаратқа сүйене отырып, жүргізуші өзінің санасында қоршаған кеңістіктің динамикалық ақпараттық моделін жасайды, оны бағалайды, дамуын болжайды және оған динамикалық модельдің дамуына сәйкес келетін әрекеттерді жасайды [1]. Жүргізушінің оператор ретіндегі қызметі уақыт бойынша қатаң шектелген. Ол қоршаған орта туралы ақпаратты байқап, жедел жадқа сүйене отырып, қажетті және маңызды ақпаратты жалпы ақпарат ағынынан бөліп, ағымдағы оқиғаларды есте сақтап, оларды бір тізбекке байланыстырып, олардың болжамды оқиғалармен байланысын дайындауы керек. Жүргізушіге келіп түскен ақпаратты өңдеу кезеңдерінің әрқайсысында ЖКО-ға әкелетін нақты қателер болуы мүмкін [2].

Материалдар мен әдістер

Автокөлікте қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету – бұл жол қауіпсіздігінің жалпы мемлекеттік проблемасының бөлігі, ол кешенді және көп қырлы болып табылады, сондықтан оны шешу үшін әртүрлі білім салалары мен халық шаруашылығы секторларының өкілдерінің белсенді қатысуын талап етеді [3].

Психофизиология - өзгертін психологиялық жағдайлардағы физиологиялық реакциялардың барысы туралы ғылым. Физиология адам ағзасының мүшелері мен жүйелерінің жұмысын зерттейді [4].

Еңбек психофизиологиясы – бұл адамның жұмысындағы психикалық және физиологиялық процестердің барысы және олардың жағдайы мен жұмысына әсері туралы ғылым [5].

Жыл сайын шамамен 263 мың адам жүргізуші куәлігін алады. Бұл елдің жүргізуші құрамын сандық түрде толықтыру ғана емес сонымен қатар көлік құралдарын басқаруда тәжірибесі мен тәжірибесі жоқ және жасы төменгі шегіне қарай тартылатын жас бастаушы жүргізушілердің үлес салмағының айтарлықтай өсуі.

Статистика жүргізушінің қателіктеріне байланысты жол-көлік оқиғаларының (ЖКО) 70 % – дан 90 % – ға дейін болатынын көрсетеді. Себебі жүргізушілердің

20 % – ы өздерінің психофизиологиялық сипаттамалары бойынша осы жүргізуші мамандығының талаптарына сәйкес келмейді.

Автокөлікті психофизиологиялық сенімді жүргізушілермен қамтамасыз етудің өзектілігін ескере отырып, жүргізушілерге заманауи ақпараттық технологияларды қолдану арқылы жүзеге асу мүмкін.

Көлік психологиясы және компьютерлік психодиагностика бойынша материалдарды талдаумен, жүргізушілермен тестілеу өткізу, жаңа ақпараттық технологияларды қолдану жүргізушінің кәсіби шеберлігі мен техникалық дағдыларын ғана емес, сонымен қатар жол-көлік жағдайларын талдауға, олардың қауіптілік дәрежесін анықтау мүмкіндік береді [6].

Психофизиологиялық тестілеудің аппараттық әдісі (психологиялық тест-сауалнамалардан айырмашылығы) орталық жүйке жүйесінің жағдайын сипаттайтын физиологиялық көрсеткіштерді объективті бағалайды.

Тестілеу кезінде алынған нәтижелер нормативтік көрсеткіштермен салыстырылады. Бұл жағдайда оның ағымдағы сипаттамаларын мәртебемен салыстыруға және олардың ауытқу тенденцияларын уақытында анықтауға болады. Әр жүргізушіде жеке әдістер мен әрекеттер жүйесі, сондай-ақ көп жағдайда жағдайды дұрыс бағалауға, қажетті шешімдерді уақтылы қабылдауға және жүзеге асыруға мүмкіндік беретін білім, бейнелер, ұғымдар жүйесі бар. Қауіпті сындарлы жол-көлік жағдайларының, жол-көлік оқиғаларының пайда болуы жағдайлардың басым көпшілігінде жол қозғалысына қатысушылардың әр түрлі орынсыз әрекеттерінен туындайды. ЖКО статистикалық зерттеу нәтижелері бойынша ЖКО туындауының себеп факторларының 97 %-ы жол қозғалысына қатысушылардың бұзушылықтарымен немесе қате әрекеттерімен байланысты (олардың жалпы саны бойынша, жекелеген себептер мен факторлардың салмағын есепке алмағанда) және ЖКО тудырған себептер мен факторлардың тек 3 %-ы көлік құралдарының техникалық жай-күйіне байланысты екені анықталды[7].

Нәтижелер мен талқылау

Адамның кәсіби қызметінің сенімділігі мәселесін зерттеудің теориялық тәсілдерін талдау - техникалық жүйелер операторы-адамның кәсіби талаптары мен психологиялық ресурстары арасында субъектінің сенімділігі мен динамикалық тұрақтылығының функцияларын қамтамасыз ететін байланыс бар екенін көрсетеді. Бұл іс-әрекеттің сапасына әсер ететін психофизиологиялық және жеке параметрлердің ерекшеліктерін практикалық зерттеу саласындағы негізгі міндеттерді анықтайды.

Біз «ПАКПФ-02» психофизиологиялық зерттеулерге арналған бағдарламалық-аппараттық кешеннің көмегімен әртүрлі жыныстағы және әртүрлі жас аралығындағы жүргізушілердің сенімділік көрсеткіштеріне зерттеу жүргіздік, 18 жастан 30 жасқа дейінгі 30 жүргізуші, экспериментке қатысушылардың орташа жасы – 25 жас қатысты. Субъектілердің арасында 10 қыз бала мен 20 ұл бала бар [8].

Нәтижелерді талдау ұл балалар мен қыз балалардың үлгілері арасында қыз бала жүргізушілерінің тұрақсыздығы мен сенімсіздігін анықтауға мүмкіндік беретін айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін анықталды (кесте. 1).

1-кесте – жүргізуші – қыз балалар мен ұл балалар топтарындағы қозғалатын объектіге реакция деректеріне салыстырмалы талдау нәтижелері.

Жалпы көрсеткіш	Сараланған көрсеткіш	Қыздар	Ұлдар	«р «мәні	t - мәні.
Қозғалатын объектіге реакция	Кідірістер саны	11,06 ± 4,14	9,43 ± 3,96	p ≤ 0,05	2,33
	Нақты реакциялар саны	4,31 ± 2,43	5,08 ± 2,56	p ≤ 0,07	– 1,80
	Кешігу уақыты, мс	378,57 ± 203,87	322,13 ± 178,36	p ≤ 0,09	1,68
	Әрекет ету белгісін ескере отырып, қате әрекет етудің орташа уақыты, створ-2, мс	11,77 ± 13,91	7,70 ± 13,50	p ≤ 0,08	1,72
	Дәлдік коэффициенті, к-т дәлдігі	0,22 ± 0,12	0,25 ± 0,13	p ≤ 0,07	– 1,80

Алынған мәліметтерге сәйкес топтар арасындағы сенімді айырмашылықтар мынадай көрсеткіштер бойынша белгіленеді:«кідірістер саны » (p ≤ 0,05) – параметр мәндері қыз балаларда көбірек; «нақты реакциялар саны» (p ≤ 0,07) – ер жүргізушілер тобында жоғары мән; «кідіріс уақыты» (p ≤ 0,09) – топта жоғары мән «белгіні ескере отырып, қате әрекет етудің орташа уақыты » (p ≤ 0,08) – қыз балалар жүргізушілерінде параметр мәндері жоғары, «дәлдік коэффициенті» (p ≤ 0,07) – ер жүргізушілер тобында мән жоғары [9].

Әрине компьютерлік тесттерге жауап беру жүргізушілердің нақты көлік жүргізу процесі кезіндегідей шешімдерді қабылдауға мүмкіндік бермейді, бірақта кей жағдайларға психофизиологиялық тұрғыдан қарағанда жол ережесін бұзбауға мүмкіндік береді. Тесттілеуге дұрыс жауап беру, жүргізушілердің қауіп-қатер сезімін бағалау, олардың жас ерекшеліктері мен түсіну қабілетіне тікелей байланысты.

Статистикаға жүгінсек әйел адамдардың автомобильді игеру тұрғысынан өзін нашар көрсететінін көрсетті. Ер адамдардан айырмашылығы, әйел адамдар көлікті өз жалғасы ретінде сезінбейтіндігінде, ал ер адамдарда (әсіресе үлкен тәжірибесі бар кәсіби жүргізушілерде) мұндай тәжірибе байқалды.

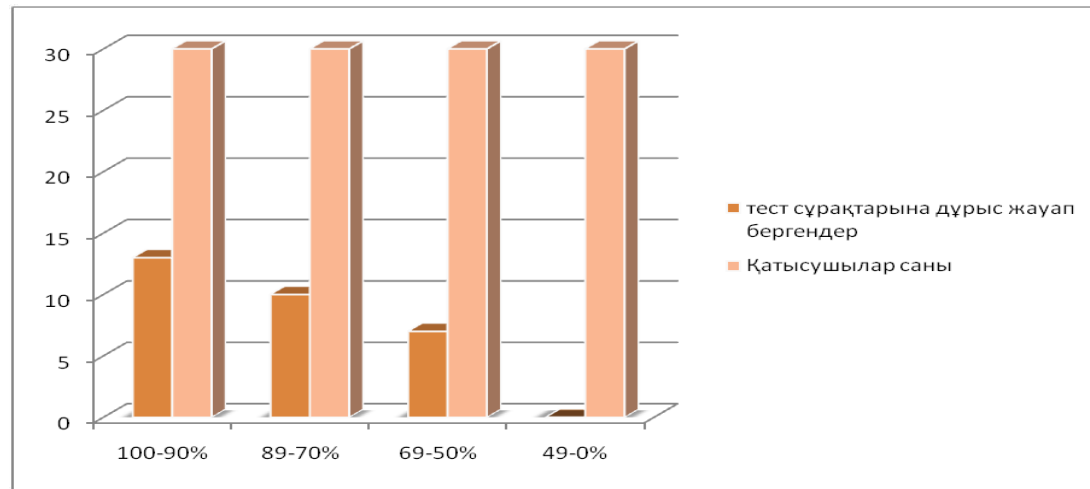
Эксперименттің көмегімен келесі компоненттерін бағалау керек болды:

Теориялық тұрғыдан тест сұрақтарына дұрыс жауап беру, яғни жас екершеліктері, қыз балалар мен ер балалар айырмашылығы. 1 -ші диаграммада көрсетілген.

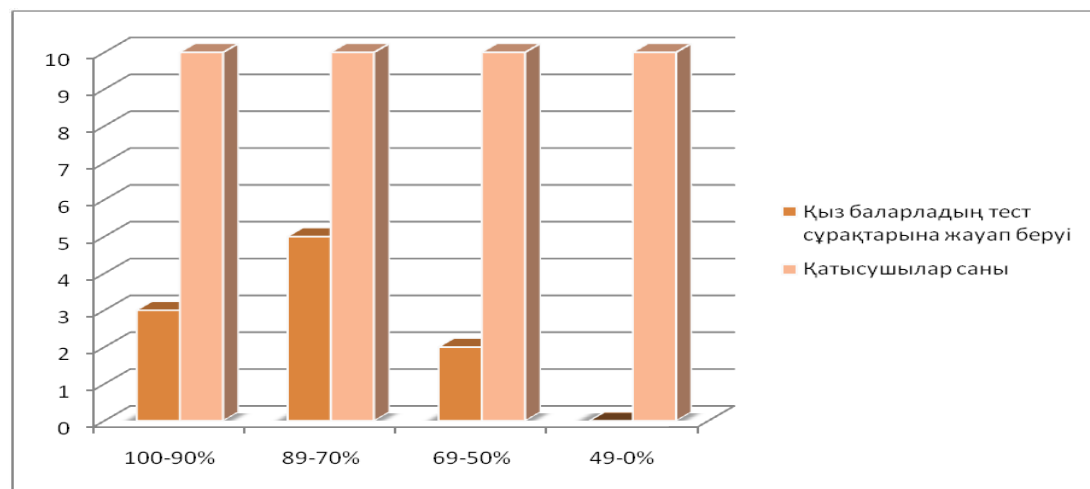
Компьютерлік тесттілеу жүргізу шарттары келесідей болды: ЖЖЕ бойынша 20 сұраққа 30 минут ішнде жауап беру.

Нәтижелер және оларды талқылау

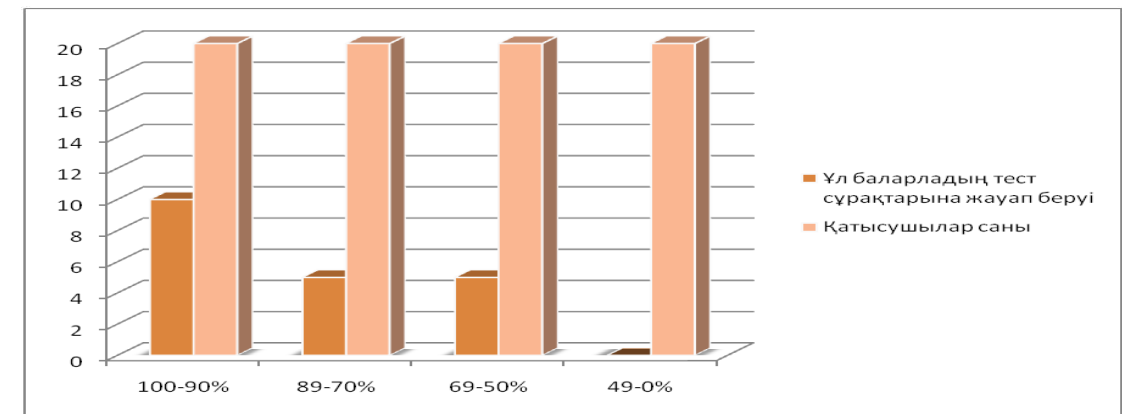
Компьютерлік тестілеуге 30 адам қатысты, оның ішінде 20-ұл бала, 10 қыз бала, соның ішінде жиырма жастан асқан - 10 бала, қалған 20 - бала жиырма жасқа дейінгі балалар.



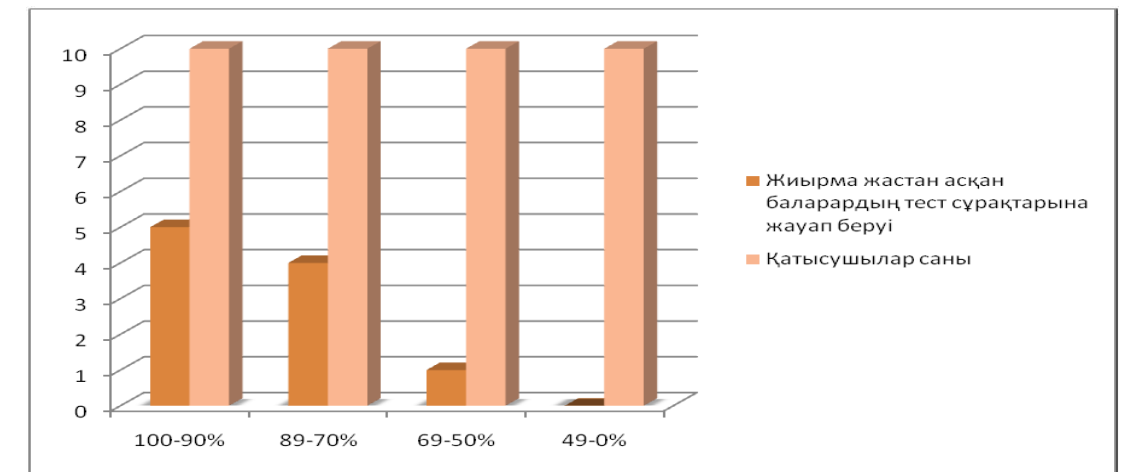
1-Диаграмма – Тест сұрақтарына жауап беру



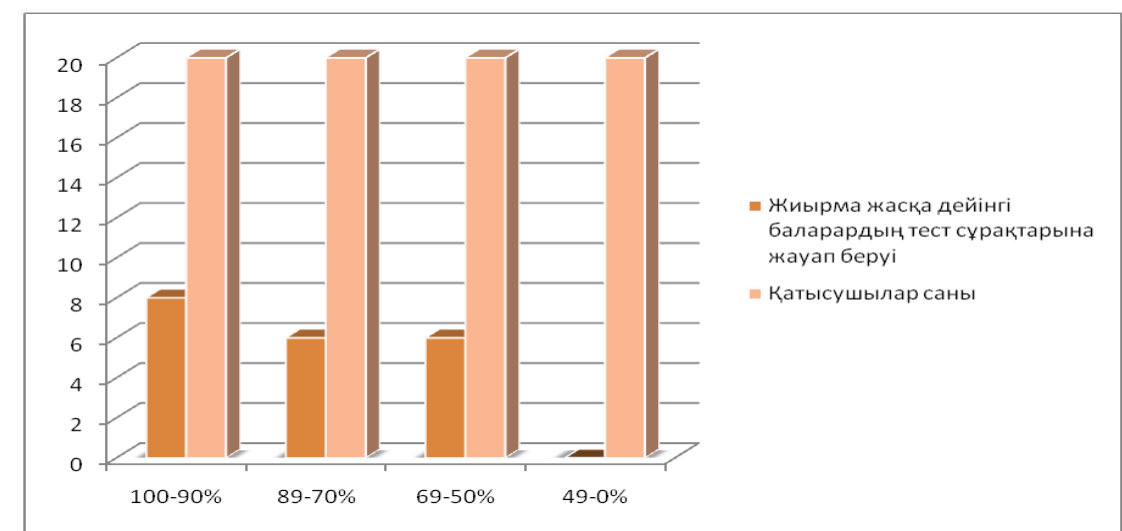
2-Диаграмма – Қыз балардың тест сұрақтарына жауап беруі



3-Диаграмма – Ұл балардың тест сұрақтарына жауап беруі



4-Диаграмма – жиырма жастан асқан балардың тест сұрақтарына жауап беруі



5-Диаграмма – жиырма жасқа дейінгі балардың

тест сұрақтарына жауап беруі

«ПАКПФ-02» психофизиологиялық зерттеулерге арналған бағдарламалық-аппараттық кешеннің көмегімен әртүрлі жыныстағы және әртүрлі жас аралығындағы жүргізушілердің сенімділік көрсеткіштеріне компьютерлік тестілеу жүргізіліп, қатысушылардың жалпы ЖЖЕ теориялық білімі анықталып, сонымен қатар сол тест сұрақтарына қалай және қандай деңгейде жауап беретінін байқалды.

Келтірілген диаграмма бойынша көріп отырғанымыздай жас ерекшеліктері мен физиологиялық меңгеру критерийлері бағаланып анықталды. Алынған критерийлер негізінде субъектілердің кәсіби маңызды қасиеттері мен дайындық деңгейінің дамуын ескере отырып, олардың психофизиологиялық ерекшеліктерін бағалауға болады.

Қорытындылар

Біздің зерттеуіміздің міндеттерінің бірі барлық жүргізушілерге қажет жас ерекшеліктеріне қарай психофизиологиялық жағдайларын анықтау болды (жүргізушінің белгілі бір әлеуметтік-психологиялық сипаттамалары бар топқа жататындығына қарамастан) [10].

«ПАКПФ-02» психофизиологиялық зерттеулерге арналған бағдарламалық аппараттық кешені арқылы тест зерттеуінің көрсеткіштерінің мәндеріндегі топтар арасындағы сенімді айырмашылықтар параметрлердің едәуір саны бойынша алынды. Салыстырмалы талдау нәтижелері бойынша ұл балалар мен қыз балалар жағдайға байланысты зейіннің жоғары тұрақтылығын және тапсырманы орындау дәлдігін көрсететіні анықталды.

Осылайша, ұл балалармен салыстырғанда қыз балалар жүргізушілерінде стресске төзімділіктің төмендігі және жүйке жүйесінің теңгерімсіздігі үрдісі байқалады.

Болашақта психофизиологиялық ерекшеліктеріне байланысты әр түрлі факторларды зерттеу, ең алдымен, жеке жас ерекшеліктерімен және психофизиологиялық сипаттамаларымен байланыстыру керек. Осы бағытта зерттеу жұмыстарын жүргізу болашақта жол-көлік оқиғаларының алдын алуға белгілі бір үлес қосуға мүмкіндік береді деген үміт бар.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Волков, Б. С., Волкова, Н. В., Губанов, А. В. «Методология и методы психологического исследования» – М. : Академический проект; Фонд «Мир», 2015. – 352 с.

2 Буйленко, В. Я., Жанказиев, С. В., Дементенко, В. В., Короткова, Ю. А., Гаврилюк, М. В. Психологические особенности человека при управлении автомобильным транспортом: учебное пособие. – М. : МАДИ, 2017. – 172 с.

3 Мишурин, В. М., Романов, А. Н. Надежность водителя и безопасность движения. – М. : Транспорт, 2014. – 260 с.

4 Чванов, В. В. Методы оценки повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. – М. : ИНФРА-М, 2010. – С. 60.

5 Червинская, К. Р. «Компьютерная психодиагностика». – СПб. : Издательство речь, 2013. – 336 с.

6 Приходько, В. М. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно дорожном комплексе. – М. : ООО «МЭЙЛЕР», 2011. – 487 с.

7 Романов, А. Н. «Автотранспортная психология» - М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 224 с.

8 Ильин, Е. П. Дифференциальная психофизиология мужчины и женщины. – СПб., 2003. – 544 с.

9 Небылицын, В. Д. Надёжность работы оператора в сложной системе управления // Хрестоматия по инженерной психологии / Под ред. Душкова Б. А. – М., 1991. – С. 238–249.

10 Выготский, Л. С. Учение об эмоциях / Л. С. Выготский. – М. : Книга по Требованию. – 2012. – 160 с.

REFERENCES

1 Volkov, B. S., Volkova, N. V., Gubanov, A. V. «Metodologiya i metody psihologicheskogo issledovaniya» [Methodology and methods of psychological research]. – М. : Akademicheskij projekt; Fond «Mir», 2015. – 352 p.

2 Buylenko, V. Ya., Zhankaziev, S. V., Dementienko, V. V., Korotkova, Yu. A., Gavriluk, M. V. «Psihologicheskie osobennosti cheloveka pri upravlenii avtomobilny'm transportom»: uchebnoe posobie [Psychological characteristics of a person in the management of motor transport: a textbook]. – М. : MADI, 2017. – 172 p.

3 Mishurin, V. M., Romanov, A. N. Nadezhnost' voditelyu i bezopasnost' dvizheniya [Driver reliability and traffic safety]. – М. : Transport, 2014. – 260 p.

4 Chvanov, V. V. «Metody ossenki povycheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s uchetom uslovij raboty' voditelya » [Methods for assessing road safety improvements taking into account the driver's working conditions]. – М.: INFRA-M, 2010. – P. 60.

5 Chervinskaya, K. R. «Komp'yuternaya psihodiagnostika» [Computer psychodiagnostics] - St. Petersburg: Publishing House speech, 2013. – 336 p.

6 Prihodko, V. M. «Intellectual'nye transportnye sistemy v avtomobilno dorozhnom komplekse» [Intelligent transport systems in the automobile and road complex] – М. : MAILER LLC, 2011. – 487 p.

7 Romanov, A. N. «Avtotransportnaya psihologiya» [Motor transport psychology] - М.: Izdatelskij center «Academya», 2012. – 224 p.

8 Il'in, E. P. «Differencial'naya psyhofiziologiya muzhchiny i zhenchiny» [Differencial'naja psihofiziologija muzhchiny i zhenshhiny]. SPb., 2003. 544 p.

9 Nebylicyn, V. D. «Nadyozhnost' raboty operatora v slozhnosti sisteme upravleniya» [Nadjozhnost' raboty operatora v slozhnoj sisteme upravlenija] // Hrestomatija po inzhenernoj psihologii / Pod red. Dushkova B.A. M., 1991. – P. 238–249.

10 Vygotsky, L. S. «Uchenie ob emotsiyah» [The doctrine of emotions] – М. : Book on Demand. – 2012. – 160 p.

14.10.24 ж. баспаға түсті.
11.11.24 ж. түзетулерімен түсті.
06.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**К. С. Касымжанова¹, А. М. Шарипова²,
А. Б. Увалиева³, О. Ш. Оразов⁴, И. К. Саукенова⁵*

Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, Казахстан, г. Кокшетау
Алматинский Университет Менеджмента, Казахстан, г. Алматы
Поступило в редакцию 14.10.24.
Поступило с исправлениями 11.11.25.
Принято в печать 06.02.25.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВОДИТЕЛЯ И МЕР БЕЗОПАСНОСТИ НА ДОРОГЕ

В этой статье говорится, что в большинстве развитых стран соответствующие организации и учреждения проводят анализ дорожно-транспортных происшествий и выявляют причины, их вызвавшие, а также что в разных регионах каждой страны способность системы жис отличается дорогами, окружающей средой и другими условиями, но все они имеют определенные общие закономерности.

Водители выбирают режим движения на основе анализа поступившей информации. В процессе движения его объем изменяется в широких пределах. Надежность работы водителя и его работоспособность могут поддерживаться на необходимом уровне только в том случае, если объем поступающей на него информации находится в оптимальных пределах. Повышение надежности работы водителя как оператора системы «водитель – автомобиль - дорога - среда» является приоритетным в области повышения безопасности движения.

Основными факторами, влияющими на работоспособность, являются: усталость, недостаток сна, стрессовые ситуации, а также длительное вождение. В ходе исследования были рассмотрены меры, помогающие восстановить работоспособность водителя (правильная организация режима отдыха, перерывы, физические упражнения). Также были изучены технические и организационные меры, обеспечивающие безопасность на дороге: дорожные знаки и разметка, ограничение скорости, контроль опасных зон. Исследование включает рекомендации, направленные на улучшение мер безопасности для водителей и поддержание их здоровья. Это способствует предотвращению аварийных ситуаций за счет повышения работоспособности водителя.

Ключевые слова: водитель, автомобиль, психофизиология, правила дорожного движения, дорожные происшествия, человеческий фактор.

**K. S. Kassymzhanova¹, A. M. Sharipova², A. B. Uvaliyeva³,
O. S. Orazov⁴, I. K. Saukenova⁵*

Abai Myrzakhetov Kokshetau University, Kazakhstan, Kokshetau,
Almaty Management University, Kazakhstan, Almaty
Received 14.10.24.

Received in revised form 11.11.24.

Accepted for publication 06.12.24.

INVESTIGATION OF THE DRIVER'S PERFORMANCE AND SAFETY MEASURES ON THE ROAD

This article says that in most developed countries, relevant organizations and institutions analyze road accidents and identify the causes that caused them, and that in different regions of each country, the ability of the GIS system differs in roads, the environment and other conditions, but they all have certain common patterns.

Drivers choose the driving mode based on the analysis of the received information. During the movement, its volume varies widely. The reliability of the driver's work and his efficiency can be maintained at the required level only if the amount of information received by him is within optimal limits. Improving the reliability of the driver's work as an operator of the driver – car - road -environment system is a priority in the field of improving traffic safety.

The main factors affecting performance are: fatigue, lack of sleep, stressful situations, as well as prolonged driving. During the study, measures were considered to help restore the driver's performance (proper organization of rest, breaks, physical exercises). Technical and organizational measures to ensure road safety were also studied: road signs and markings, speed limits, control of dangerous areas. The study includes recommendations aimed at improving safety measures for drivers and maintaining their health. This helps to prevent accidents by improving the driver's performance.

Keywords: driver, car, psychophysiology, traffic rules, traffic accidents, human factor.

*Г. К. Саменов¹, Ж. Р. Алимбаев², А. А. Каражанов³,
Б. У. Жаманбаев⁴, А. Б. Болатова⁵

^{1,2,3,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0509-5864>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8044-8846>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9027-9540>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8488-8155>

*e-mail: sgk_08@mail.ru

ТЕРЕҢ КАРЬЕРЛЕРДЕ КАРЬЕРЛІК ЖҮК КӨЛІКТЕРІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ЖҰМЫС ЖАҒДАЙЛАРЫН НЕГІЗДЕУ

Терең карьерлерде жүк көліктерін пайдалану тиімділігіне еңбек жағдайларының әсерін анықтау үшін зерттеулер жүргізілді. Карьердің тереңдегі бөліктерінен кенді тасымалдау кезінде карьерлік жүк көліктерін пайдалану ерекшеліктері ескерілді. Терең карьерлерде тау жыныстарын қазу және тасымалдау үрдістерін талдау көрсеткендей, осы аталған үрдістердің тиімділігін арттыру және шығындарын төмендету үшін үлкен әлеует бар. Кен қазбаларын өндіруге және карьерлердегі көлік үрдістеріне арналған шығындарды төмендетудің маңызды мүмкіндігі пайдаланымдағы технологиялық техниканың жалпы мөлшерін және ауысымға келетін жүк көліктерінің санын оңтайландыру тұрғысынан экскаваторлар мен жүк автомобильдерін тиімді ұйымдастыру болып табылады.

Карьердегі тау-кен-көлік жұмыстарының өзіндік құнын төмендетудің маңызды әлеуеті жалпы парк саны мен ауысымға шығатын жүк көліктер санын оңтайландыру тұрғысынан экскаватор-автомобиль паркінің жұмысын тиімді ұйымдастыру болып табылады. Жүк көліктерінің жай-күйін талдау және зерттеулер көрсеткендей, жылына 75 миллион тонна көлемінде жоспарланған автокөлік жұмыстарын қамтамасыз ету үшін 30 және одан да көп жүк көліктерінің паркін ұстаудың қажеттілігі жоқ, карьерде тиісті тау-кен жағдайлары сақталғанда Komatsu 630E маркалы жүк көліктері жеткілікті болып табылады.

Қосымша зерттеулерді талап ететін тау-кен көлік кешені жұмысының тиімділігін арттырудың ықтимал бағыттарының бірі «кенжар - тиеу қоймасы» бөлігінде құрамдастырылған автомобиль көлігін қолдану болып табылады. Бұл тәсіл қолданыстағы жағдайларға неғұрлым бейімделген, Komatsu 630E ірі габаритті автокөлігіне қайта жүктей отырып, БелАЗ-75135 жүк көліктерін төменгі деңгейликтерде пайдалануды көздейді.

Кілтті сөздер: карьер, автомобиль көлігі, жүк көлігі, жол, отын, кен.

Кіріспе

Қарастырылып отырған карьерде соңғы он жыл ішінде қазу-тиеу жабдықтары және көлік техникасы жаңартылды. Бұл карьерде технологиялық үрдісті іске асыру үшін жоғары өнімді гидравликалық экскаваторлар, оның ішінде Komatsu PC5500-6, Hitachi EX 3600, Terex RH 170 экскаваторлары, сонымен қатар БелАЗ-75135 және Komatsu 630E жүк көліктері пайдаланылады.

Қазылған кен автомобиль көлігімен тау-кен + 90м деңгейіндегі тиеу қоймасына дейін тасымалданады, аршу жынысы + 45м, + 60м, + 75м, + 90м деңгейлеріндегі тиеу қоймаларына дейін тасымалданады. Карьердің барлық төменгі орналасқан деңгейликтерінде автомобиль көлігінің құралдарына RH-170B, Hitachi 3600, Hitachi 5500 экскаваторлары тау жыныстарын тиеу жұмыстарын жүзеге асырады.

Қазіргі уақытта карьерде Komatsu 630E жүк көліктері ескірген БелАЗ-75135 машиналарымен бірге пайдаланылады. Қуаттылығы жоғары және жаңа болғандығына байланысты олар жүк бағытында неғұрлым жоғары жылдамдықпен қозғалады. Ал ескірген БелАЗ-75135 жүк көліктерінің трансмиссия ПӘК-і неғұрлым төмен, бұл жылдамдықтың төмендеуіне және отын шығынының ұлғаюына себепші болады. Еніс бойынша жоғары қарай қозғалғанда, ұзаққа созылған еңістерде БелАЗ-дардан кейін көтерілетін Komatsu 630E жүк көлігі мезгіл-мезгіл жылдамдықты төмендетуге және екпіндеуге мәжбүр болады, бұл рейс уақыты мен отын шығынын едәуір ұлғайтады. Карьерде автокөлік саны көбейген кезде осы фактордың әсері күшейеді. Қосымша жылдамдық шығындары көлік бермаларының тарлығымен, карьердегі қозғалыс бағыттарын ауыстырған кезде кері бұрылыс алаңдарымен қамтамасыз етіледі. Карьердің төменгі терең аймағы БелАЗ-75135 жүк көліктері үшін ыңғайлы болып келеді, себебі өз габариттері бойынша осы жағдайларға неғұрлым бейімделген.

Бір жолақты жолдар бойынша екіжақты қозғалыс кезінде төменгі деңгейликтерден кен тасымалдауды ұйымдастыру көлік құралының жүк бағытында жүруіне мүмкіндік беру үшін жоғары бағыттағы көлік құралын тоқтату қажет болады, бұл да қозғалыс жылдамдығының төмендеуіне және отын шығынының ұлғаюына алып келеді. Жүк көлігінің шығу уақытының ұлғаюы жағдайында тиеу кезінде экскаватордың жұмыс уақытының азаюы орын алады, көрсетілген факторлармен қатар жалпы тау-кен-көлік үрдістерінің құны төмендейді.

Материалдар мен әдістер

Жүргізілген тәжірибелік зерттеудің негізгі мақсаты - карьерлерде пайдалы кен қазбаларын тасымалдаудың ұтымды кешенін таңдау. Тау-кен жабдықтарының саны мен сандық арақатынасын пайдалана отырып, негізгі тау-кен көлік жабдығын таңдау нұсқалары, сондай-ақ пайдалану шарттары мен режимдерін негіздеу әдістері зерделенді.

Көлік құралының аталған түрін пайдалану үшін қажетті тау-кен геологиялық және тау-кен техникалық жағдайларды анықтау, тау-кен және көлік жұмыстарын ұйымдастыруды негіздеу, сондай-ақ автомобиль көлігін пайдалану режимі мен шарттарын негіздеу мәселелерін шешімін табу қажет.

Жүк көлігін пайдаланудың оңтайлы нұсқасын анықтау кезінде барлық көрсетілген факторлар көлік құралының сыртқы факторларымен (жол төсемінің сапасымен, жолдың құрылымы мен геометриясымен, тау-кен көлік техникасының санымен және оны пайдалану параметрлерімен) өзара тығыз байланысты. Осылайша, тиеу, тасымалдау және түсіру үрдістерінің барлық жекелеген факторлары мен параметрлері экскаватор-автомобиль кешенінің техникалық-экономикалық тиімділігінің жалпы көрсеткішіне біріктіріледі, бұл көлік құралының нақты түрін таңдаудың тиімділігін сенімді анықтауға мүмкіндік береді.

Тау-кен геологиялық және тау-кен техникалық факторларды зерттеу карьер кеңістігіндегі тау-кен жұмыстарының нақты немесе жоспарланған орналасқан жерін, кенді тиеу бөлігіндегі өндірілген жыныстың сапалық және физикалық-механикалық қасиеттерін анықтау жолымен жүргізілді.

Карьердегі жағдайлардың өзгеруіне қарай автомобиль жолдары үнемі түзетіліп отырады. Зерттеулер үшін алынған трассаның соңғы электрондық нұсқасы пайдаланылды, сондықтан оның сенімділігі жоғары. Автотрасса тау-кен жұмыстары жоспарында әртүрлі техникалық мақсаттағы, геометриялық сипаттамалары бар бөліктерге бөлінген, бұл зерттеу үлгісіне карьердегі нақты орналасқан жеріне жоғары дәлдікпен сәйкес келтіруге мүмкіндік береді.

Нәтижелер мен талқылау

Көлік құралының рейс уақытының ұлғаюына, жүк бағытындағы қозғалыс жылдамдығының төмендеуіне және отын шығысының ұлғаюына іс жүзінде жаңа Komatsu 630E жүк көліктерінің дайындық коэффициентін төмендететіндігімен қатар, жүк көліктерінің 15 пайыздан артық жүк (200 тоннаға дейін) тиеуге әкелуі мүмкін. Соның салдарынан, 2023 жылғы наурыз айында бес дана Komatsu 630E жүк көлігі жөндеуде болды, бұл жалпы кен тасымалдау жұмыстарының өзіндік құнын да арттырады.

Қазіргі жағдайда Komatsu 630E жүк көліктері жұмысының тиімділігін төмендетудің тағы бір факторы жүк тасымалдау кезінде 3–4 млн тонна қопсыған тау-кен қазындысын тасымалдауға пайдалану болып табылады, бұл олардың жүк көтергіштігі бойынша (төлқұжаттық жүк көтергіштігі 172 тонна болған кезінде 125-135 тонна) барынша толық тиелмеуіне әкеледі.

Карьерде автомобиль жолдары параметрлерінің төлқұжаттық параметрлерінен ауытқуы байқалады, сондай-ақ осындай жағдайларда әртүрлі типтегі (олардың габариттік өлшемдеріндегі, жүк көтергіштігіндегі, орташа қозғалыс жылдамдығындағы және т.б. айырмашылықтар) карьерлік жүк көліктерінің жұмыс істеуіне байланысты соңғыларының жоспарланбаған тұрып қалуы және тиісінше олардың өнімділігінің төмендеуі байқалады.

Терең карьерлерде тау-кен техникалық және тау-кен геометриялық параметрлері бойынша технологиялық автокөлік жұмысының тығыз жағдайларында БелАЗ-75135 және Komatsu 630E жүк көліктерінің үйлесімділігіндегі жылдамдық көрсеткіші бойынша жоғары өнімді Komatsu 630E жүк көліктерінің тежелуіне және тиімділігінің төмендеуіне алып келеді.

Автотрассаны геометриялық талдау еңіс жолдардың құжаттық бұрышы барлық жолдарда сақталмағанын көрсетті, ол іс жүзінде 80 % аспайды. Еністігі 110 % жоғары бөліктері бар, бұл жүк көлігі жұмысының тиімділігіне теріс әсерін тигізеді, өйткені барлық жүк көліктері үшін трассаның тік еңісті және көлденең бөліктерінде жүру бірдей тиімді бола бермейді. Сондай-ақ, автотрасса бойындағы көлденең жол бөліктерінің ұзындығы жеткіліксіз, жүк көлігі жоғары көтерілу үшін қажетті жылдамдығын жоғарылатып үлгермейді. Мұның бәрі карьерлік жүк көліктерінің пайдалану тиімділігін төмендетеді, өйткені қозғалыстың орташа техникалық жылдамдығы төмендейді және рейстердің орташа уақыты ұлғаяды. Мысалы, автотрассаның -180м белгісінен бастап -195м белгісіне дейін еністігі 110%, -195м белгісінен бастап -210 м белгісіне дейін - 100%, -120м белгісінен -135м белгісіне дейін - 105% құрайды.

Карьер жағдайындағы жүк көліктерінің жұмысының тиімділігін пайдалану жағдайларының сапасын арттыру арқылы арттырудың өзекті бағыттарының бірі көлік жолдарының жүріс бөлігінің жобалық нормаларын нақты сақтау болып табылады. Көлік жолдарының енінің тарылуы жылдамдықтың мәжбүрлі төмендеуіне, отынның жоғары шығынына және шиналардың тозуының артуына әкеледі.

Мысалы, -240м деңгейжиекке шығу ені 8м құрайды, -225м, -230 м белгілер бөлігінде 16м құрайды, -225м, -230м белгілер бөлігінде шығу ені 19м құрайды.

Komatsu 630E жүк көліктерін пайдалануға барынша қолайлы жағдай жасау үшін бұрылыстар параметрлері мен автожолдардың енін барынша мүмкіндігінше сәйкестендіру ұсынылады.

Көлік құралын және барлық техникалық кешенді пайдалануға әсер ететін маңызды факторлардың бірі көлік құралдары жүргізушілерінің ауысым жұмыстарын ұйымдастыру болып табылады. Бұл жағдайда ауыстыру пункті ауыстырып тиеу орнының жанындағы алаңда ұйымдастырылады. Жүк көлігі ауысым аяқталғанға дейін 30 минут бұрын ауысым орнына қарай қозғалысты бастайды және келесі ауысымға үлгеру үшін ауыстырылады.

Тиісінше жүк және бос бағыттағы жүк көліктері үшін жылдамдықты шектеу, іс жүзінде қабылданғандай, дәстүрлі түрде қабылданған. Осыған байланысты жоғары қуатты жүк көліктерінің өнімділігі айтарлықтай төмендейді, сондықтан қауіпсіздік шарттарының барынша мүмкін болатын мәні қабылданады.

Есептеулер нәтижелері 2023 жылға жоспарланған тау-кен-көлік жұмыстарын орындау қамтамасыз етілетін карьердің экскаваторлық-автомобиль кешенінің тау-кен және көлік жабдықтарының оңтайлы арақатынасы тиеу пункттерінде 5 экскаватор және 17 Komatsu 630E мен 5 БелАЗ-75135 жүк көліктерінің үйлесімі болып табылатынын көрсетті. Кешенде 15 Komatsu 630E және 6 БелАЗ-75135 жүк көліктері болатын нұсқа да экономикалық тұрғыдан қызықты болып саналады.

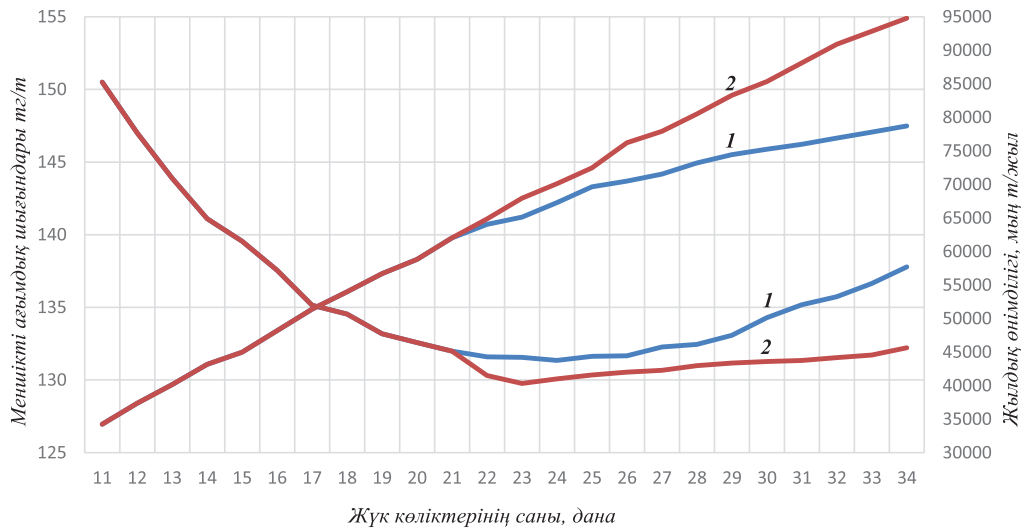
Жылдамдық шектеулері жоғары автотрасса қолданылатын технологиялық автокөлік жұмысын есептеу жүргізілген 2 нұсқа бойынша карьердің экскаватор-автомобиль кешенінің тау-кен және көлік жабдықтарының ұтымды арақатынасын таңдағанда бір кешенде 5 экскаватор мен 17 Komatsu 630E жүк көліктері болады,

бұл кезде тау-кен қазындысының 1 тоннасына меншікті ағымдағы шығындары 110 теңгені құрайды.

Komatsu 630E және БелАЗ-75135 жүк көліктерін бірлесіп пайдалану кезінде нұсқаларды зерттеу кезінде БелАЗ-75135 жүк көліктерінің тартымдық сипаттамалары бойынша Komatsu 630E жүк көліктерінен едәуір төмен екеніне көз жеткізуге болады, нәтижесінде автотрассада Komatsu 630E жүк көліктерінің қозғалысына кедергі келтіреді. Тарту сипаттамалары бойынша төмен көрсеткіш БелАЗ-75135 жүк көліктерінің орташа жасының жоғарылығымен және физикалық тозуымен түсіндіріледі. Шығындардың басым бөлігі БелАЗ-75135 жүк көліктеріне тиесілі. Бұл БелАЗ жүк көліктерінің көпшілігінің өзінің пайдалану ресурсын толық игергенімен түсіндіріледі, ал бұл отын шығынының артуына және шиналардың тозуына әкеледі. Komatsu 630E және БелАЗ-75135 жүк көліктерін бірлесіп пайдалану кезінде отынның меншікті шығыны да артады (1-кесте).

1-кесте – Komatsu 630E және БелАЗ-75135 жүк көліктерін бөлек пайдалану бойынша жасалған тәжірибелердің нәтижелерін салыстыру

Көрсеткіштер	Отын шығыны, мың литр		Отынды үнемдеу, мың литр		Экономикалық тиімділігі, мың тг	
	қаңтар	наурыз	айына	жылына	айына	жылына
Komatsu 630E	1 560	1 510	38 200	444 650	3 980	48 680
	жүк көлігінің отын шығыны 8,23 г/ткм аз болғанда наурыз айында тасымалданған тау-кен қазындысының көлемін ескере отырып				12 950	155 200
БелАЗ-75135	445 255	405 225	36 360	436 320	3 820	44 750
Жалпы	1 980	1 890	74 160	889 920	7 720	198 500



1 сурет. Карьердің экскаватор-автомобиль кешенінің меншікті ағымдық шығындары мен өнімділігінің жүк көліктерінің санына тәуелділігі: 1 нұсқа -

кешенде бірге Komatsu 630E және БелАЗ-75131, 2 нұсқа - кешенде тек Komatsu 630E.

Тау-кен көлік кешенінің жұмысын талдаудан алынған нәтижелеріне сәйкес, жүк көтергіштігі 120 тонна болатын БелАЗ-75135 ескі жүк көліктерін және жүк көтергіштігі 172 тонна болатын салыстырмалы жаңа Komatsu 630E жүк көліктерін пайдалана отырып, жұмыстарды ұйымдастыру бір қарағанда жеткілікті түрде өнімді қалыптасады, бірақ БелАЗ-75135 және Komatsu 630E жүк көліктерін бірлесіп пайдалану кезінде тау-кен істерінің нақты жағдайы бар нұсқаларды қараған кезде, тізбектегі ескі жүк көліктері неғұрлым жаңаларының жұмысын тежейді, бұл кейіннен олардың тиімділігіне және жалпы тау-кен көлік кешені жұмысының өнімділігіне әсер етеді. Осы міндетті шешу үшін жабық цикл бойынша жүк көліктердің бөлек жұмысын ұйымдастыру қажет. Бұл Komatsu 630E жоғары өнімді жүк көліктерінің әлеуетін едәуір арттырады, отын шығынын едәуір төмендетуді қамтамасыз етеді, экскаваторлардың тиеу және түсіру жұмысының тиімділігін арттырады, ал тұтастай алғанда, кен-көлік жұмыстарының өзіндік құнын төмендете отырып, карьердің экскаваторлық-автомобиль кешенінің өнімділігін арттыру нәтижесін береді.

Карьердің технологиялық автокөлігін тиімді пайдалану үшін экскаватор-автомобиль кешенінің жұмысын есептеудің алдын ала нәтижелері бойынша карьердің терең аймағында әртүрлі үлгідегі жүк көліктерінің қиылысуын барынша болдырмауды, атап айтқанда карьердегі жүк көліктері паркінің жұмыс шебін бөлу ұсынылады: төменгі терең аймағында Komatsu 630E жүк көліктері ғана жұмыс істейді; қопсыған аршыманы шығару үшін тек БелАЗ-75135 жүк көліктері пайдаланылады.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде әртүрлі нұсқалармен тәжірибелер жүргізу туралы шешім қабылданды. Базалық нұсқа ретінде карьердің терең аймағында Komatsu 630E жүк көліктерін пайдалану қабылданды.

Карьерде кенді-жартасты аймағының биіктігі 300 метрден асады, бұл тасымалдаудың орташа өлшенген қашықтығының және жыл бойы тау-кен қазындысын жоғары көтерудің орташа өлшенген биіктігінің күрт өзгеруіне себепші болады. Бұл экскаватор-автомобиль кешені бойынша салыстырмалы ағымдағы шығындар көрсеткішінің ауытқуын тудыруы мүмкін. Осыған байланысты тау қазындысының тасымалдаудың орташа өлшенген биіктігі 150м, 165м, 180м, 195м, 210м болатын нұсқалар қаралды.

Жол бойынша әртүрлі жылдамдық шектеулері және орташа өлшенген биіктігі кезінде карьердің экскаватор-автомобиль кешенінің жұмысын зерттеу нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

3-кесте – Экскаватор-автомобиль кешенінің жұмысын зерттеу нәтижелері

№	Нұсқалар	1	2	3	4
1	Жүк көліктерінің саны	21	20	19	18
2	Жүк бағытындағы рейстер саны	578	588	594	589
3	орташа өлшенген қашықтық, км	3,34	3,34	3,36	3,35
4	Тау-кен массасын көтерудің орташа өлшенген биіктігі, м	150	150	150	150
5	Бір жүк көлігінің орташа ауысымдық жүрісі, км/ауысым	184,68	196,79	210,69	219,93
6	Орташа техникалық қозғалыс жылдамдығы, км/сағ	20,85	22,82	27,05	28,49
7	Орташа пайдалану қозғалыс жылдамдығы, км/сағ	17,54	18,82	19,96	21,53
8	Отынның жалпы шығысы, л	47350	44218,77	40747,29	38144,42
9	Отынның меншікті шығыны, г/ткм	116,89	108,22	97,76	92,48
10	Отынға арналған шығындар, тг	6273954	5858986	5399015	5054135
11	Тау-кен көлік кешені бойынша шығындар, тг	13068912	12516442	11904878	11395096
12	- оның ішінде пайдалану шығындары	11060274	10507804	9896240	9386459
13	Тау-кен қазындысы бойынша кешеннің өнімділігі, мың м³	23166,51	23423,11	23829,31	23656,98
14	Тау-кен қазындысы бойынша кешеннің өнімділігі, мың т	62046,28	62754,89	63763,82	63227,09
15	Меншікті ағымдағы шығындар , тг/т	130,70	123,76	115,85	111,83
16	Экономикалық тиімділігі, мың тг/жыл	260 594	699 089	1 214 701	1 458 649

1* – маневрлеу учаскелерінде жылдамдықты шектеу – 5 км/сағ, виражда – 10 км/сағ, жүк бағыттарында - 20 км/сағ, бос бағытта – 30 км/сағ, көкжиектен төмен – 100 м тиісінше 10 және 20 км/сағ; 2* – маневрлеу учаскелерінде жылдамдықты шектеу – 10 км/сағ, жүк бағыттарында – 20 км/сағ, бос бағытта – 30 км/сағ; 3* – маневрлеу учаскелерінде жылдамдықты шектеу - сағатына 15 км, жүк бағыттарында - сағатына 20 км, бос бағытта - сағатына 40 км; 4* – маневрлеу учаскелерінде жылдамдықты шектеу – сағатына 15 км, жүк бағыттарында – сағатына 30 км, бос бағытта – сағатына 40 км;

Базалық нұсқада 21 дана көлемінде Komatsu 630E және БелАЗ-75131 жүк көліктерінің бірлескен жұмысы карьердің нақты тау-кен-техникалық жағдайларына барынша жақындатылған трасса бойынша нақты жылдамдық шектеулерімен зерттелді.

Келесі нұсқада 20 дана жүк көліктерінің жұмысын трассадағы нақты жылдамдық шектеулерімен зерттеу нәтижелері көрсетілген. Зерттеу нәтижелері Komatsu 630E автосамосвалдарын бөлек пайдалану кезінде анағұрлым жақсы көрсеткіштерге ие екенін көрсетеді. Базалық нұсқамен салыстырғанда қозғалыстың орташа техникалық жылдамдығы 4,6 % -ға ұлғаяды, отынның үлестік шығыны

5,6 % -ға азаяды, тау-кен көлік кешені бойынша шығындар 4% -ға азаяды, ағымдағы үлестік шығындар 3,1 % -ға азаяды. Бұл ретте жылдық экономикалық тиімділік 699,08 млн. теңгені құрайды.

Келесі нұсқаларда Komatsu 630E жүк көліктерінің жұмысын пайдаланудың жақсартылған жағдайларында (автомобиль жолдарының енін ұлғайту, жол жабындарының сапасын арттыру, жылдамдық шектеулерін арттыру және т.б.) зерттеу нәтижелері көрсетілген. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Komatsu 630E жүк көліктернһін пайдалану жағдайлары жақсарған кезде қозғалыстың орташа техникалық жылдамдығы 12–28 % -ға ұлғаяды, отынның үлес шығыны 12–24 % -ға азаяды, тау-кен көлік кешені бойынша шығындар 8–16% -ға азаяды, үлес ағымдағы шығындар 8–17 % -ға азаяды. Бұл ретте жылына 1 458,64 млн. теңге экономикалық тиімділікті алуға болады.

Қорытынды

Аталған карьердегі кен тасымалдау жұмыстарын талдау көрсеткендей, жүк көлігінің тиімділігін арттыруда және өзіндік құнын төмендетуде айтарлықтай мүмкіндіктер бар.

Карьердегі тау-кен-көлік жұмыстарының өзіндік құнын төмендетудің маңызды әлеуеті жалпы парк саны мен ауысымға шығатын жүк көліктер санын оңтайландыру тұрғысынан экскаватор-автомобиль паркінің жұмысын тиімді ұйымдастыру болып табылады. Жүк көліктерінің жай-күйін талдау және зерттеулер көрсеткендей, жылына 75 миллион тонна көлемінде жоспарланған автокөлік жұмыстарын қамтамасыз ету үшін 30 және одан да көп жүк көліктерінің паркін ұстаудың қажеттілігі жоқ, карьерде тиісті тау-кен жағдайлары сақталғанда Komatsu 630E маркалы жүк көліктері жеткілікті болып табылады.

Деректер көрсеткендей, карьерде өз ресурсын іс жүзінде пайдаланған БелАЗ-75135 жүк көлігі жұмыс істейді, ол өзінің тарту сипаттамалары бойынша карьерде бірлесіп пайдаланылатын Komatsu 630E жүк көліктерінің қуаттылығына толық сәйкес келмейді. Соңғылары сондай-ақ карьердегі тау-кен-техникалық параметрлерге (бір жолақты екі жақты көлік жолдары, нормадан тыс еңістер) сәйкес келмейді, мұны тау-кен жұмыстарының нақты жоспарлары да сипаттайды. Карьерге шөмішінің көлемі 30 м3 жоғары өнімді Komatsu PC5500-6 экскаваторларын алу дұрыс емес. Зерттеу нәтижелері бойынша экскаваторлар ауысым уақытының жартысынан астамында жұмыссыз тұрып қалады.

Сондай-ақ карьердегі жүк көліктердің пайдалы салмағының артуы жүк көліктердің тиімділігі мен техникалық жай-күйінің төмендеуіне алып келеді. Үлгідегі зерттеулер, сондай-ақ карьерлік жүк көліктерді пайдалану режимдерін талдау тәжірибесі көрсеткендей, 10%-ға артық жүк тиелген жүк көлігінің жылдамдығы 7-8%-ға төмендейді, ал бұл бір тонна- километрге жұмсалатын жоғары отын шығынымен қатар жүреді. Экскаваторлық-автомобильдік кешеннің өнімділігін уақытша (ауысым, тәулік, ай шеңберінде) арттыру отынның жоғары шығынымен және шиналардың, сондай-ақ жүк көлігінің жекелеген тораптарының тозуымен, оның техникалық жай-күйінің деңгейін, оның техникалық дайындық коэффициентін төмендетумен сүйемелденеді. Бұл сондай-ақ кейіннен қосалқы

бөлшектер мен материалдардың жоғары шығысына, жөндеу және қалпына келтіру жұмыстарына арналған шығындарға алып келеді.

Қосымша зерттеулерді талап ететін тау-кен көлік кешені жұмысының тиімділігін арттырудың ықтимал бағыттарының бірі «кенжар - тиеу қоймасы» бөлігінде құрамдастырылған автомобиль көлігін қолдану болып табылады. Бұл тәсіл қолданыстағы жағдайларға неғұрлым бейімделген, Komatsu 630E ірі габаритті автокөлігіне қайта жүктей отырып, БелАЗ-75135 жүк көліктерін төменгі деңгейжиектерде пайдалануды көздейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Ракишев, Б. Р., Молдабаев, С. К., Нургалиева, М. С., Саменов, Г. К.** Конструкция и оптимизация положения вскрышной зоны на угольных разрезах // Вестник Казахского национального технического университета. – Алматы : 2011. – № 4. – С. 143–149.

2 **Rakishev, B. R., Mahambetov, D., Samenov, G. K.** Optimal application of automobile transport by open cast development of the deep quarries // Transport Problems. Poland : Katowice, 2013. – Vol. 8. Issue 3. – P. 25–33

3 **Галиев, С. Ж., Саменов, Г. К.** Исследование влияния режима загрузки самосвалов и уклона дорог на эффективность работы горно-транспортных комплексов карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень / М. : Горная книга, - №10 (специальный выпуск 45-1). Материалы II между-народной научно-практической конференции «Открытые горные работы XXI века», Красноярск. – 2015. – С. 311–329.

4 **Bukeikhanov, D. G., Galiyev, S. Zh., Turdakhunov, M. M., Samenov, G. K.** Concept of analysis of operational efficiency of mining and transport complexes in opencast mining // Proceedings book of the 23rd International Symposium on Mine Planning & Equipment selection MPES 2015 – Smart Innovation in Mining / the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, 2015. – P. 323–329

5 **Галиев, С. Ж., Саменов, Г. К.** Промышленный эксперимент как эффективный подход в определении потенциала и направлений совершенствования организации работы экскаваторно-автомобильного комплекса карьера // Тезисы докладов научно-практической конференции: «Проблемы карьерного транспорта: Перспективные решения в технике и технологиях», VI-Уральский горнопромышленный форум – 2015, Екатеринбург, 2-4 декабря 2015г. – С. 82–84.

6 **Галиев, С. Ж., Саменов, Г. К., Сапар, К. С.** Методология экономической оценки эффектив-ности горно-транспортных комплексов карьеров на основе автоматизированной системы монито-ринга и имитационного моделирования // Тезисы докладов научной конференции: «Информа-ционные технологии в горном деле», VI-Уральский горнопромышленный форум – 2015, Екатеринбург, 2-4 декабря 2015г. – С.120–121.

7 **Galiyev, S. Zh., Zhusupov, K. K., Samenov, G. K., Galiyev, D. A.** Conception of automated management of geotechnological complex on an innovative base // Proceedings of the 24th World Mining Congress WMC 2016 - Mining in a World of Innovation / Innovation in Mining, Rio de Janeiro, Brazil, 2016, book papers 2, – P. 96–107.

8 **Sabitov, A. R., Galiyev, S. Zh., Samenov, G. K.** Estimation of influence of mining-technical and organizational conditions on efficiency of exploitation of trucks on open-pits // Proceedings of the 24th World Mining Congress WMC 2016 - Mining in a World of Innovation / Underground Mining, Rio de Janeiro, Brazil, 2016, book papers 3, – P. 204–214

9 **Саменов, Г. К., Бермухамбетов, В. А., Куттыбаев, А. Е., Турсынбеков, А. А.** Исследования влияния условий работы на эффективность эксплуатации карьерных автосамосвалов // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального сырья в условиях индустрии 4.0», Алматы, КазННТУ, 2019, С.210-213

10 **Саменов, Г. К., Алипбаев, Ж. Р., Каражанов, А. А., Жаманбаев, Б. У.** Изучение эффективности работы карьерных автосамосвалов в сложных высокогорных условиях. Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, № 1, Т. 146, 2024, – С. 177–188.

REFERENCES

1 **Rakishev, B. R., Moldabaev, S. K., Nurgalieva, M. S., Samenov, G. K.** Konstrukciya i optimizaciya polozheniya vskry'shnoj zony` na ugol'ny`x razrezax [Design and optimization of the position of the overburden zone in coal mines]. – Almaty : Bulletin of the Kazakh National Technical University, 2011. – № 4. – P. 143–149.

2 **Rakishev, B. R., Mahambetov, D., Samenov, G. K.** Optimal application of automobile transport by open cast development of the deep quarries // Transport Problems. Poland : Katowice, 2013. – Vol. 8. Issue 3. – P. 25–33

3 **Galiyev, S. Zh., Samenov, G. K.** Issledovanie vliyaniya rezhima zagruzki samosvalov i uklona dorog na e`ffektivnost` raboty` gorno-transportny`x kompleksov kar`erov [Study of the influence of the loading mode of dump trucks and the slope of roads on the efficiency of mining and transport complexes of quarries]. – Moscow: Mining Information and Analytical Bulletin/ Mountain Book. – № 10 (special issue 45–1). Materials of the II International Scientific and Practical Conference «Open Mining of the XXI Century» Krasnoyarsk, 2015. – P. 311–329.

4 **Bukeikhanov, D. G., Galiyev, S. Zh., Turdakhunov, M. M., Samenov, G. K.** Concept of analysis of operational efficiency of mining and transport complexes in opencast mining // Proceedings book of the 23rd International Symposium on Mine Planning & Equipment selection MPES 2015 – Smart Innovation in Mining / the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, 2015. – P. 323–329.

5 Galiev, S. Zh., Samenov, G. K. Promy`shlenny`j e`ksperiment kak e`ffektivny`j podxod v opredelenii potentsiala i napravlenij sovershenstvovaniya organizacii raboty` e`kskavatorno-avtomobil`nogo kompleksa kar`era [Industrial experiment as an effective approach in determining the potential and directions for improving the organization of the excavator and automobile complex of the quarry] //Abstracts of the scientific and practical conference: «Problems of quarry transport: Promising solutions in technology and technology» VI-Ural Mining Forum – 2015, Yekaterinburg, December 2–4, 2015. – P. 82–84

6 Galiev, S. Zh., Samenov, G. K., Sapar, K. S. Metodologiya e`konomicheskoy ochenki e`ffektivnosti gorno-transportny`x kompleksov kar`erov na osnove avtomatizirovannoj sistemy` monito-ringa i imitacionnogo [Methodology for economic assessment of the efficiency of mining and transport complexes of quarries based on an automated monitoring system and simulation modeling] //Abstracts of the scientific conference: «Information technologies in mining» VI-Ural Mining Forum – 2015, Yekaterinburg, December 2–4 2015. – P. 120–1217

7 Galiyev, S. Zh., Zhusupov, K. K., Samenov, G. K., Galiyev, D. A. Conception of automated management of geotechnological complex on an innovative base // Proceedings of the 24th World Mining Congress WMC 2016 – Mining in a World of Innovation / Innovation in Mining, Rio de Janeiro, Brazil, 2016, book papers 2, – P. 96–107

8 Sabitov, A. R., Galiyev, S. Zh., Samenov, G. K. Estimation of influence of mining-technical and organizational conditions on efficiency of exploitation of trucks on open-pits // Proceedings of the 24th World Mining Congress WMC 2016 – Mining in a World of Innovation / Underground Mining, Rio de Janeiro, Brazil, 2016, book papers 3, – P. 204–214.

9 Samenov, G. K., Bermukhambetov, V. A., Kuttybaev, A. E., Tursynbekov, A. A. Issledovaniya vliyaniya uslovij raboty` na e`ffektivnost` e`kspluatacii kar`erny`x avtosamosvalov [Studies of the influence of working conditions on the efficiency of operation of quarry dump trucks] // Collection of works of the international scientific and practical conference «Rational use of mineral raw materials in industry 4.0», Almaty, KazNITU, 2019, – P. 210–213.

10 Samenov, G. K., Alipbaev, Zh. R., Karazhanov, A. A., Zhamanbaev, B. U. Izuchenie e`ffektivnosti raboty` kar`erny`x avtosamosvalov v slozhny`x vy`sokogorny`x usloviyax [Study of the efficiency of quarry dump trucks in difficult alpine conditions]. Bulletin of the Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, № 1, Vol. 146, 2024, – P. 177–188.

03.06.24 ж. баспаға түсті.

07.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

28.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Г. К. Саменов¹, Ж. Р. Алипбаев², А. А. Каражанов³,
Б. У. Жаманбаев⁴, А. Б. Болатова⁵

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 03.06.24.

Поступило с исправлениями 07.11.24.

Принято в печать 28.01.25.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

В статье приведены результаты исследования влияния условий труда на эффективность эксплуатации карьерных самосвалов. При транспортировке руды с глубокого горизонта карьера учитывались особенности эксплуатации карьерных самосвалов. Анализ операций по добыче и транспортировке полезных ископаемых в карьерах показывает, что существует большой потенциал для повышения эффективности и снижения затрат операций по добыче и транспортировке полезных ископаемых. Важной возможностью снижения затрат на добычу полезных ископаемых и транспортные операции на карьерах является эффективная организация парка экскаваторов и автомобилей с точки зрения оптимизации общего количества парка и количества самосвалов в смену.

Важным потенциалом снижения себестоимости горнотранспортных работ на карьере является эффективная организация работы экскаваторно-автомобильного парка с точки зрения оптимизации общего количества парка и количества выезжающих в смену грузовых автомобилей. Анализ и исследования состояния грузового транспорта показывают, что для обеспечения планируемых автотранспортных работ в объеме 75 миллион тонн в год - нет необходимости содержать парк 30 и более грузовых автосамосвалов, достаточно грузовых автосамосвалов марки Komatsu 630E при соблюдении соответствующих горных условий на карьере.

Одним из возможных направлений повышения эффективности работы горно-транспортного комплекса, требующего дополнительных исследований, является применение комбинированного автомобильного транспорта в части «забой - загрузочный склад». Данный подход предполагает использование грузовых автосамосвалов Komatsu 630E на нижних горизонтах с перегрузкой на крупногабаритный автосамосвал БелАЗ-75135, наиболее адаптированный к существующим условиям.

Ключевые слова: карьер, автомобильный транспорт, самосвал, дорога, топливо, руда.

*G. K. Samenov, Zh. R. Alipbayev, A. A. Karazhanov,
B. U. Zhamanbayev, A. Bolatova

Eurasian National University named after L. N. Gumilev,
Republic of Kazakhstan, Astana
Received 03.06.24.

Received in revised form 07.11.24.

Accepted for publication 28.01.25.

JUSTIFICATION OF OPTIMAL WORKING CONDITIONS FOR DEEP OPEN PIT TRUCKS

Studies of the influence of working conditions on the efficiency of operation of mine dump trucks were carried out. The peculiarities of operation of mine dump trucks during ore transportation from deep quarry horizons are taken into account. As the analysis of mining and transportation operations in quarries shows, there is great potential to improve efficiency and reduce the cost of mining and transportation operations. An important opportunity to reduce the cost of mining and transportation operations in quarries is the efficient organization of a fleet of excavators and cars in terms of optimizing the total size of the fleet and the number of dump trucks that come into shift.

An important potential for reducing the cost of mining operations at the quarry is the efficient organization of the excavator and automobile fleet in terms of optimizing the total number of the fleet and the number of trucks leaving for shift. Analysis and studies of the condition of freight transport show that in order to ensure the planned motor transport operations in the amount of 75 million tons per year, it is not necessary to maintain a fleet of 30 or more truck dump trucks, enough Komatsu truck dump trucks 630E subject to the relevant mining conditions at the quarry.

One of the possible directions for increasing the efficiency of the mining and transport complex, which requires additional research, is the use of combined road transport in terms of «face - loading warehouse». This approach involves the use of Komatsu 630E truck dump trucks in lower horizons with overloading on a large-sized BelAZ-75135 dump truck, which is most adapted to existing conditions.

Keywords: quarry, road transport, dump truck, road, fuel, ore.

FTAMP 73.29.41

<https://doi.org/10.48081/HAWP6336>

*Р. С. Үстемірова¹, А. Т. Тұрдалиев², А. П. Карпов³,
Е. К. Майлыбаев⁴, Н. С. Камзанов⁵

^{1,2,3,4}Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁵Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2559-6899>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2697-1396>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>

*e-mail: raigul_1980@mail.ru

ЕКІНШІ САТЫДАҒЫ ПНЕВМАТИКАЛЫҚ ІЛУЛІ ЭКИПАЖДЫҢ БІР ОСЬТІ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ЕСЕПТЕУ

Бұл мақалада екінші сатыда пневматикалық ілулі экипаждың бір осьті құрылғысының тербелістерінің математикалық моделін талдау, құру және есептеу мәселелері қарастырылған. Пневматикалық ілу жайлылық пен қолайлы басқаруды қамтамасыз ету үшін көлік құралдарында кеңінен қолданылады. Екінші сатыдағы пневматикалық ілулі экипаждың бір осьті құрылғысы оның өнімділігін оңтайландыру үшін тербелістерін талдау қажет күрделі жүйе болып табылады.

Математикалық модельді талдау келесі сипаттамаларды анықтауды қамтиды:

– Тербелістердің меншікті жиіліктері мен формалары: Меншікті жиіліктер жүйенің бұзылғаннан кейін тербелетін жиіліктерін анықтайды. Тербелістердің меншікті формалары жүйенің әртүрлі бөліктеріндегі тербелістердің салыстырмалы амплитудасын сипаттайды.

– Беру функциясы: беру функциясы шығыс сигналының (шанақтың ығысуы) кіріс сигналына қатынасын сипаттайды. Бұл жүйенің әртүрлі жиіліктерге қалай жауап беретінін көрсетеді.

– Жайлылық деңгейі: жайлылық деңгейі шанақтың тербеліс амплитудасымен және оның туындыларымен бағаланады.

Математикалық модельді талдау үшін әртүрлі әдістерді қолдануға болады, мысалы:

– Аналитикалық әдістер: өзінің жеке жиіліктері мен тербеліс формаларын алу үшін дифференциалдық теңдеулерді аналитикалық жолмен шешу.

Математикалық модельді талдау демпферлік және қаттылық коэффициенттерін реттеу арқылы екінші сатыдағы пневматикалық ілулі экипаждың бір осьті құрылғысының тербеліс сипаттамаларын

оңтайландыруға мүмкіндік береді. Оңтайландыру мыналарға бағытталуы мүмкін:

- Шанақ тербелістерінің амплитудасының төмендеуі;
- Жайлылық деңгейін арттыру;
- Көлік құралын басқаруды жақсарту.

Кілтті сөздер: тепловоздың тербелісі, ілменің параметрлері, рессорлық ілме, дроссель, математикалық модель.

Кіріспе

Пайдалану жылдамдығының барлық диапазонында жолдың түзу және қисық сызықты учаскелері бойынша қауіпсіз қозғалысты сипаттайтын магистральдық жүк локомотивтерінің динамикалық қасиеттерін анықтау үшін есептеу схемасын таңдауды, локомотивтің кеңістіктік тербелістерінің тиісті математикалық моделін әзірлеуді, есептеудің компьютерлік бағдарламасын құруды, жаңа конструкцияларға теориялық, содан кейін эксперименттік зерттеулер жүргізуді қамтитын зерттеулердің тұтас кешені қажет [1, 162-б.] [2, 310-б.].

Үздік динамикалық көрсеткіштерге қол жеткізуге ықпал ететін ілудің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін біз тепловоздың тербелістеріне талдау жасаймыз.

Тепловоз экипаж құрылғысының жеңілдетілген бір осьтік схемасымен ұсынылады, онда рельс жолымен қозғалатын дөңгелектің массасы есепке алынбайды (1-суретті қараңыз) [3, 19-б.] [4. 10-б.] [5, 59-б.].

Бұл тұжырымдамада шанақ пен арбаның салмағы, сондай-ақ бірінші деңгейдегі рессорлы ілудің серпімді және диссипативті қасиеттері арбаның бір жағы үшін үлгі ретінде қолданылатын ТЭ33А (Evolution) тепловозының сипаттамаларына бейімделеді.

Рессорлы ілудің (пневматикалық) екінші сатысының құрамына төрт негізгі элемент кіреді: диафрагмалық пневморессор 1, қосымша ауа резервуары 2, дроссель жүйесі 3 және қосылатын құбыр 4 (1 суретті қараңыз). Бірінші сатыға екі элемент кіреді: бұрандалы цилиндрлік серіппе және гидравликалық тербеліс амортизаторы. Зерттелетін схемада пневморессор өзінің параметрлері бойынша И-708 типті резеңке қабықшасы бар ПР-220-115 пневматикалық серіппеге сәйкес келеді. Пневматикалық серіппенің бұл түрі жүк көтергіштігі 12232 кгс және биіктігі 220 мм негізінде таңдалады.

Материалдар мен әдістер

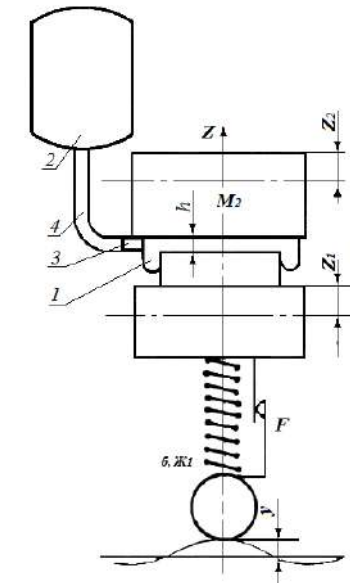
Зерттеу барысында И-708 пневматикалық серіппесінің көлемі мен тиімді ауданын екі есеге арттыру қажет. Сондай-ақ, қосымша резервуардың көлемін кеңейту және осы пневматикалық серіппеге жататын дроссельдің өту аймағын ұлғайту қажет. Бұл шаралар жүйенің функционалдық сипаттамаларын арттыруға бағытталған.

Ауаны пайдалана отырып, локомотивті ілу жүйесінде өтпелі қимасы 32 мм қысқа құбырды қолдану салдарынан жүйенің қаттылық дәрежесіне және диссипативтік көрсеткіштеріне әсері елеусіз деп танылады. Пневматикалық жүйе элементтері мен қосымша резервуар арасындағы ауа массасының ағынына төзімділік тек реттеуші құрылғының (дроссельдің) геометриялық ерекшеліктеріне

байланысты. Цилиндрлік арматуралық бағыттағыштары бар пневматикалық серіппенің тік деформациясы кезінде диафрагмалық пневматикалық серіппенің тиімді ауданы тұрақты болып саналады, яғни $S = \text{const}$. Екі массалық жүйенің тербелістерінің математикалық моделін құру үшін Даламбер принципі қолданылады [6, 48-б.].

Тербелмелі массалардың қозғалыс теңдеулері M_1 және M_2 келесі түрде болады:

$$M_2 \ddot{z}_2 + M_2 g - P_1 S_{\text{эф}} = 0, \quad (1)$$



1-сурет – Екінші сатыдағы пневматикалық серіппелерді орната отырып, тепловоздың екі массалы жүйесінің есептік схемасы

1-диафрагмалық пневматикалық серіппе, 2-қосымша ауа резервуары, 3-дроссель қондырғысы, 4-қосылатын құбыр

$$M_1 \ddot{z}_1 + P_1 S_{\text{эф}} + Ж(z_1 - Y) + F \text{sign}(\dot{z}_1 - \dot{Y}) = 0, \quad (2)$$

мұндағы $z_1 - z_2$ жалпыланған координаттар, массалардың статикалық тепе-теңдік жағдайынан ауытқуын көрсетеді;

P_1 – пневматикалық серіппедегі ауа қысымы;

$Ж_1$ – бірінші сатыдағы серіппенің қаттылығы;

Y – деформацияланбайтын рельстегі тегіс емес жерлердің биіктігі;

F – бірінші сатыдағы амортизаторда көрінетін құрғақ үйкеліс күші;

sign – белгіні белгілеу.

P_1 қысымының мәнін анықтау үшін біз термодинамикалық сипаттағы теңдеулерді жылу және масса алмасу процестеріне, сондай-ақ пневмасеріппе мен қосымша резервуар арасындағы кіріс және шығыс кезінде ауаны есепке алуға назар аударамыз. Жүйе элементтері арасында алмасатын жылу мөлшерін анықтау

үшін біз пневматикалық серіппе немесе қосымша резервуар болсын, қысымы жоғары болатын элементтің температурасын есептеуге қосамыз.

Жүйенің жұмысындағы өзгерістер нәтижесінде тепловоздың пневматикалық жүйесіндегі термодинамикалық процестерді сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер осы процестердің бағытына байланысты өзгерістерге ұшырайды. Бұл вариациялар әсіресе ауаның қысылуы мен кеңеюін қарастырғанда байқалады. P1 және P2 деп белгіленген пневматикалық серіппені қысу процесін қарастырайық.. Пневматикалық серіппеге қатысты энергияның сақталу заңы деп те аталатын термодинамиканың бірінші заңының теңдеуі:

$$C_v T_1 Dg_1 + C_v G_1 Dt_1 + P_1 dV_1 - C_p T_1 dG_1 + K_1 H_1 (T_1 - T_0) dt = 0, \quad (3)$$

$C_p - C_v = R$ осыны ескере отырып, былай жазамыз:

$$C_v dT_1 G_1 - RT_1 dG_1 + P_1 dV_1 + K_1 H_1 (T_1 - T_0) dt = 0. \quad (4)$$

Пневматикалық серіппеге арналған Менделеев-Клапейрон теңдеуі (ауа күйінің теңдеуі):

$$P_1 dV_1 + V_1 dP_1 - RT_1 dG_1 - RG_1 dT_1 = 0. \quad (5)$$

Пневматикалық серіппелі дроссель арқылы ауа ағынының теңдеуі:

$$dG_1 = -\varepsilon \omega \sqrt{2p_2(P_1 - P_2)} dt. \quad (6)$$

Қосымша резервуар үшін термодинамиканың бірінші заңының теңдеуі:

$$C_v T_2 dG_2 + C_v G_2 dT_2 + P_2 dV_2 - C_p T_1 dG_2 + K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0, \quad (7)$$

өйткені қосымша резервуардың көлемі $V_2 = \text{const}$, то $P_2 dV_2 = 0$, сондықтан

$$C_v T_2 dG_2 + C_v G_2 dT_2 - C_p T_1 dG_2 + K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0. \quad (8)$$

Қосымша резервуар үшін Менделеев-Клапейрон теңдеуі

$$P_2 dV_2 + V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0, \quad (9)$$

т.к. $P_2 dV_2 = 0$, содан кейін түпкілікті

$$V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0 \quad (10)$$

Дроссель арқылы қосымша резервуарға ауа ағынының теңдеуі:

$$dG_2 = \varepsilon \omega \sqrt{2p_2(P_1 - P_2)} dt. \quad (11)$$

Ауа массасының сақталу заңы:

$$-dG_1 = dG_2 \quad (15)$$

Кенейту процесін қарастырыңыз пневматикалық процессор: P_1 P_2 -ден аз. Кенейту кезіндегі термодинамикалық теңдеулер қысу кезіндегі теңдеулерге ұқсас болғандықтан, біз олардың атауларын бермейміз.

$$C_v T_1 dG_1 + C_v G_1 dT_1 + P_1 dV_1 - C_p T_2 dG_1 + K_1 H_1 (T_1 - T_0) dt = 0, \quad (13)$$

$$P_1 dV_1 + V_1 dP_1 - RT_1 dG_1 - RG_1 dT_1 = 0. \quad (14)$$

$$dG_1 = \varepsilon \omega \sqrt{2p_1(P_2 - P_1)} dt, \quad (15)$$

$$C_v T_2 dG_2 + C_v G_2 dT_2 + P_2 dV_2 - C_p T_2 dG_2 + K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0 \quad (16)$$

Себебі $P_2 dV_2 = 0$, $C_p - C_v = R$, то

$$C_v G_2 dT_2 - RT_2 dG_2 + K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0, \quad (17)$$

$$P_2 dV_2 - V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0, \quad (18)$$

т.к. $P_2 dV_2 = 0$ онда

$$V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0, \quad (19)$$

$$dG_2 = -\varepsilon \omega \sqrt{2p_1(P_2 - P_1)} dt, \quad (20)$$

$$dG_1 = -dG_2. \quad (21)$$

Теңдеулерге кіретін p_i ауа тығыздығы формула бойынша анықталады:

$$p_i = \frac{P_i}{RT_i}. \quad (22)$$

Демек, екі массалық жүйенің тербелісі кезінде қысу процесі үшін де, пневматикалық серіппенің кеңею процесі үшін де сегіз белгісіз (Z_1 , Z_2 , P_1 , P_2 , T_1 , T_2 , G_1 , G_2) мәндерді анықтау үшін (сызықтық емес дифференциалдық теңдеулердің бірдей саны жасалды.

Дифференциалдық теңдеулердің сандық интеграциясын орындау үшін 0,001 секундтық кадаммен Рунге-Кутта әдісі қолданылады. Сандық есептеулердің

нәтижелері және бағдарлама идентификаторларының мәндері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – Бағдарлама идентификаторларының сандық мәндері

Параметр	Модельдегі белгілер	Бағдарламадағы белгілер	Шама	Өлшем
Бір пневматикалық серіппенің жылу алмасу беті	H_1	H1	0,7	м²
Қосымша резервуардың жылу алмасу беті	H_2	H2	айнымалы	м²
Жылу беру коэффициенті металл	K_1, K_2	K1, K2	1000	Вт/м²гр
Бір пневматикалық серіппенің бастапқы ауа көлемі	V_1	V0	0,016	м³
Қосымша резервуардың көлемі	V_2	V2	айнымалы	м³
Дроссель шайбасының көлденең қимасының ауданы		S1	айнымалы	м²
Ауаның изохоралық жылу сыйымдылығы	C_v	CV	717	Дж/кг.гр.
Ауаның изобарлық жылу сыйымдылығы	C_p	CP	1004	Дж/кг.гр.
Газ константасы	R	R	287	Дж/кг.гр.
Қоршаған орта температурасының абсолютті мәндері.	T_0	T0	288(273+15)	град.
Ілмеге әсер ету контекстінде сүйреу жүйесінің күштік сипаттамалары, соның ішінде қарғыбаулардың (поводок) қаттылығы.	J_1	Ж	2850000	Н/м
Құрғақ үйкеліс күштері, сүйреу түйініндегі демпферлік процестің негізгі факторы ретінде	F	T	айнымалы	кг
Арбаның салмағы	M_1	M1	6500	кг
шанаққа әсер ететін дененің салмағы	M_2	M2	22000	-
Дроссельден ауаның шығуының тиімділік коэффициенті			0,75	
Қысым	P_0	P0	0,1	Н/м²

Параметр	Модельдегі белгілер	Бағдарламадағы белгілер	Шама	Өлшем
Эйлер әдісі бойынша қадам	dt	DTB	0,001	-
Рунге-Кутта әдісін қолдана отырып интеграция қадамын жүзеге асыру		H[1],[2]	0,001	-
Бір пневматикалық серіппенің тиімді аймағының сипаттамалары	$S_{эф}$	F_1	0,2	м²
Пневматикалық ілме жүйесіндегі бастапқы ауа қысымы	P_1, P_2	P[1], [2]	0,65	Н/м²
Бір пневматикалық амортизатордағы ауаның бастапқы жалпы мөлшері	G_1	G[1]	0,126	кг
Қосымша резервуарда жинақталған ауаның үлкен көлемі	G_2	G[2]	айнымалы	кг
Бастапқы жағдайдағы ауа температурасы бұл жүйеде абсолютті	$T_1 T_2$	T[1],T[2]	288	гр.
Жүйедегі ауаның бастапқы концентрациясы		S[1], S[2]	7,864	кг/м³

Бұл зерттеудің негізгі міндеттерінің бірі-қосымша резервуардың көлемін, сондай-ақ дроссель саңылауының диаметрін өзгерту арқылы пневматикалық ілменің оңтайлы параметрлерін анықтау. Тиімділікті бағалау критерийлері шанақта және арбада тұрақты тербеліс процесі бар қозғалыстар мен үдеулердің амплитудасын қамтиды.

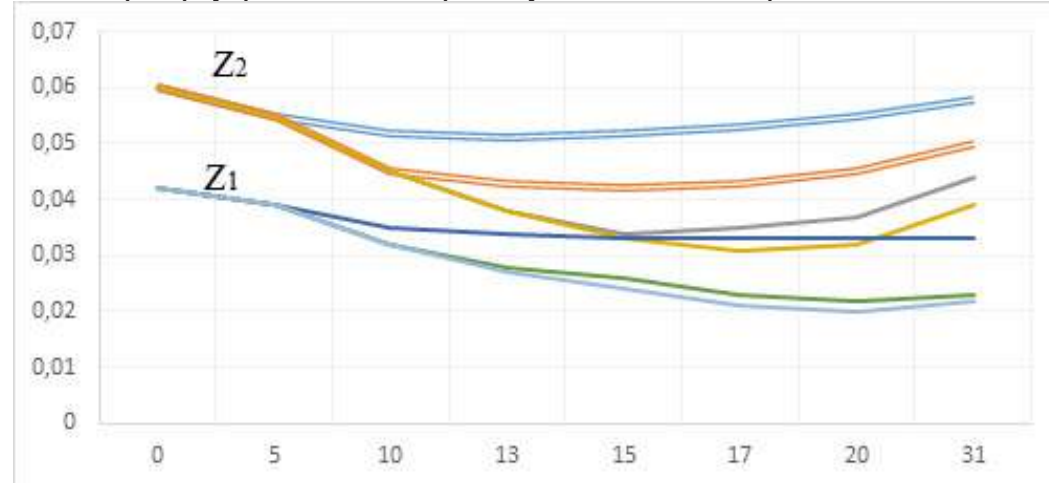
Зерттеулер бір ілмеге арналған қосымша резервуардың әртүрлі (0,01, 0,03, 0,06, 0,08 м³) шамаларында және реттеу саңылауының диаметрі (0, 5, 10, 13, 15, 17, 20, 32 мм) шамаларында жүргізілді. Бұл жағдайда реттеу саңылауының диаметрінің мәні $d_{др} = 0$ қосымша резервуарды пайдаланбай тепловоздың айдалатын ауа құрылымының тербеліс жағдайын білдіреді, ал $d_{др} = 32$ мм байланыстырушы құбырдағы реттеу саңылауының қажеттілігінің жоқтығын көрсетеді. Бұл жағдайда өту тесігі оның косылу нүктелеріндегі құбырдың диаметрімен анықталады.

Нәтижелер және талқылау

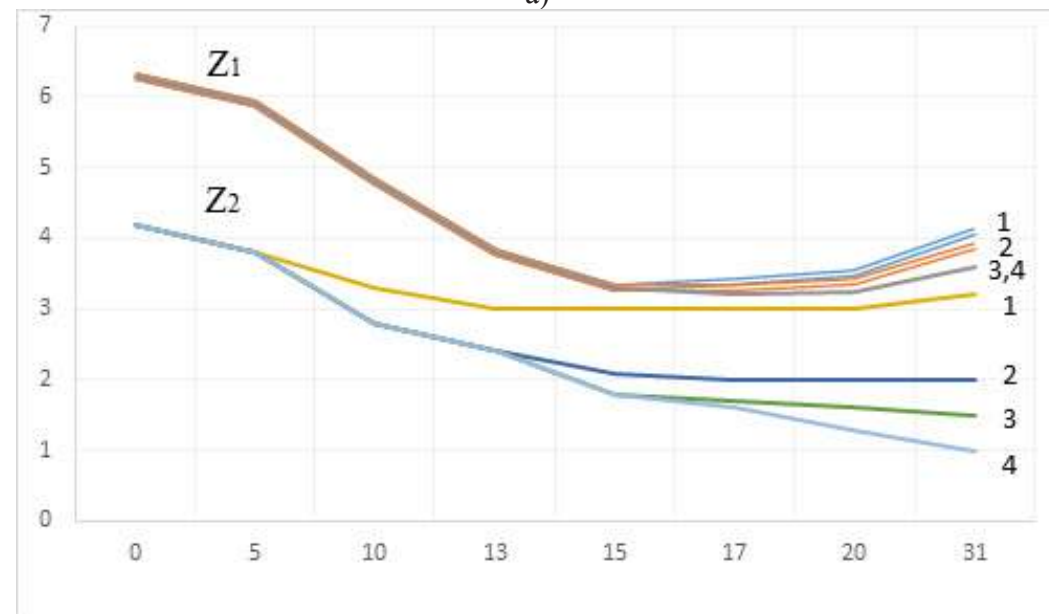
Локомотивтің букс сатысының сипаттамалары тұрақты болды, пружиналардың тұрақты статикалық ауытқуын 100 мм ($\delta=100$ мм) және амортизатордың тұрақты үйкеліс күшін ($F=570$ кН) ұстап тұрды. Экипаждың бір осьті құрылғысының 120 км/сағ жылдамдықтағы мәжбүрлі тербелістерін зерттеу жүргізілді. бұл жылдамдықты таңдау оның осы тепловоз үшін құрылымдық маңыздылығына негізделген. Берілген жылдамдықта жүйе басқа жылдамдықтармен салыстырғанда максималды динамикалық сипаттамаларды көрсетеді, бұл тербелістерді талдау кезінде расталады.

1. Зерттеу әрбір қосымша резервуар үшін тербеліс амплитудасын төмендетуге бағытталған шектеу құрылғысының (оңтайлы әлсіреу) өту қимасының белгілі бір оңтайлы параметрлері бар екенін анықтайды (2. а-суретті қараңыз).

2. Дроссель диаметрінің ұлғаюымен локомотив шанағы мен арбасының тік үдеу деңгейінің төмендеуі байқалады, 2 б-суретте көрсетілгендей. Бұл әсер қосымша резервуардың көлемін ұлғайту кезінде айқынырақ болады.



а)



б)

2-сурет – Дроссель диаметрінің қосымша резервуардың әртүрлі түрлеріндегі тепловоздың орын ауыстыру және үдеу амплитудасына әсерінің тәуелділігі.

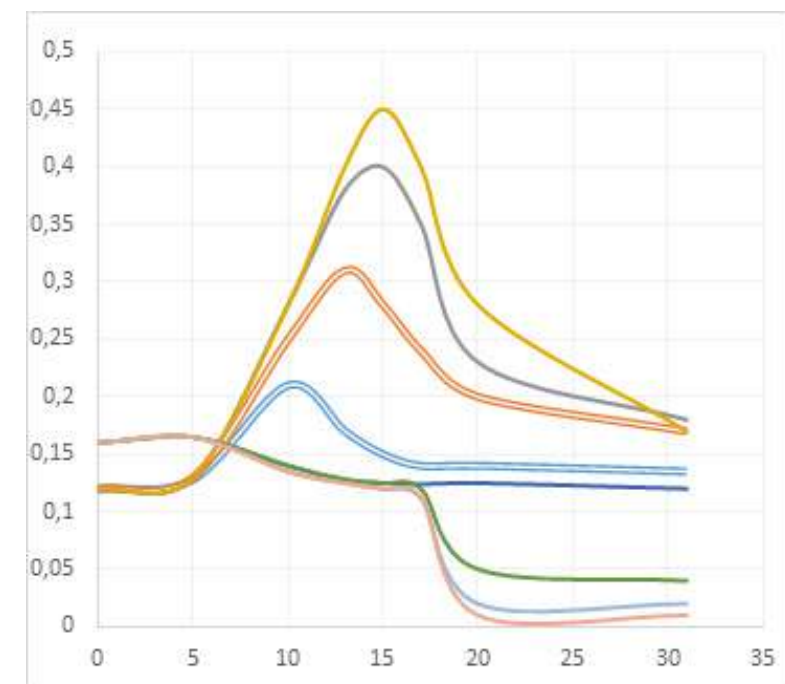
Көлденең қиманың белгілі бір диапазонында дроссельдің өтуін кеңейту 2.3-суретте көрсетілгендей жеке тербеліс жиіліктерінің төмендеуіне әкеледі. Осы

диапазоннан тыс параметрлердің өзгеруі тербеліс жиілігінің өзгеруіне әкелмейді. Жүйедегі өзіндік тербелістерді төмендетудің тиімділігі әлсіреу критерийін қолдану арқылы қарастырылды [7, 196-б.].

$$D = \frac{\ln r}{2\pi}, \quad (2.23)$$

«г» деп белгіленген тербелістерге арналған логарифмдік критерий жүйенің әр тербеліс кезеңіндегі позициясының амплитудалық өзгерістерінің оның тепе-теңдік күйіне қатынасының табиғи логарифмін білдіреді [8, 54-б.] [9, 154-б.] [10, 34-б.] .

3-суретте салыстырмалы демпферлік коэффициент пен дроссельдің өту қимасының диаметрі арасындағы байланыс айқын көрсетілген. Графиктерді талдау нәтижелері пневматикалық серіппенің және қосымша резервуардың нақты көлемдік мәндерінде салыстырмалы демпферлік коэффициент максималды болатын дроссельдің оңтайлы диаметрінің болуын көрсетеді. [11] [12, 135-б.] .



3-сурет – Дроссель диаметрінің демпферлік коэффициент пен қосымша резервуардың көлемі өзгерген кезде тепловоздың меншікті тербеліс жиілігінің арақатынасына әсері

Қосымша резервуар көлемінің ұлғаюымен салыстырмалы демпферлік коэффициенттің жоғарылауы байқалады, бұл пневматикалық серіппеден резервуарға және кері қарай қозғалатын ауа мөлшерінің ұлғаюына, сондай-ақ ілменің серпімділігінің артуына байланысты. Салыстырмалы демпферлеу коэффициентінің көлемі 0,01 м³-ден 0,06 м³-ге дейін айтарлықтай өсуі байқалады. Берілген диапазондағы қосымша резервуар көлемінің ұлғаюы салыстырмалы

демпферлік коэффициенттің максималды мәндерінің дроссель саңылауының диаметрлерін ұлғайту бағытында ығысуына әкеледі. Қосымша резервуардың көлемін одан әрі кеңейте отырып, демпфер іс жүзінде өзгеріссіз қалады. Бұл жүйеде көлемді одан әрі арттыру үшін пневматикалық серіппенің көлемін ұлғайту қажет екені анық.

Қорытындылар

Есептеулерді орындау барысында тепловоздың тербелмелі жүйесінің динамикасына қосымша резервуарлардың едәуір көлемін қолданудың оң әсерін атап өткен жөн. Дегенмен, дроссель диаметрінің өзгеруінің белгілі бір аралығын (1 – 5 мм) атап өткен жөн, оның ішінде қосымша резервуардың көлемі динамикалық көрсеткіштерге әсер етпейді. Бұл фактор дроссель саңылауының өткізу қабілеттілігіне байланысты, оның көлеміне қарамастан қосымша резервуардағы ауаның аз ғана бөлігі белсендірілуі мүмкін. Осылайша, пневматикалық серіппелі дроссель өлшемдерінің көрсетілген диапазонында қосымша резервуардың әсерінен іс жүзінде алынып тасталады.

Графиктердің көрсеткіштерінен резервуарлардың көлемі 0,06 м³ және 0,08 м³ болатын нұсқалар серпімді-диссипативті сипаттамалары бойынша ең жақын екенін көруге болады. Осы жағдайды және табиғи тепловозға қосымша резервуарлардың аз көлемін орналастырудың ыңғайлылығын ескере отырып, 0,06 м³ көлемі кейінгі есептеулер үшін негіз болып саналады.

Екінші сатыдағы пневматикалық ілулі экипаждың бір осьті құрылғысының тербелістерінің математикалық моделін талдау Көлік құралдарын жобалау мен онтайландыруда маңызды рөл атқарады. Тербеліс сипаттамаларын түсіну әзірлеушілерге көлік құралдарының жайлылығын, басқарылуын және қауіпсіздігін жақсартуға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Myamlin, S., Luchanin, M., Neduzha, L. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 2013, № 3. – P. 162–169.

2 Myamlin, S., Dailidka, S., Neduzha, L. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proc. of 16th Int. Conf. «Transport Means 2012». Kaunas, 2012. – P. 310–312.

3 Куценко, С. М., Елбаев, Э. П., Маслиев, В. Г., Кирпичников, В. Г., Рубан, А. Н. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 95 с.

4 Куценко, С. М., Плюшкин, С. Н., Адашевский, В. М., Шевченко Ю. Л. Пневматическое рессорное подвешивание узкоколейных тепловозов. – Промышленный транспорт, вып. 12, 1978. – С. 16.

5 Куценко, С. М., Кирпичников, В. Г. Колебания локомотива на сбалансированном пневматическом рессорном подвешивании. //Вестник ХПИ, вып. 3, 1977. – С. 57–61.

6 Лобачев, Н. А., Куценко, С. М., Рубан, А. Н. Исследование вертикальных колебаний тепловоза с пневморессорами во второй ступени рессорного подвешивания. //Труды ВНИТИ, вып. 53, 1981. – С. 48–58.

7 Манашкин, Л. А., Мямлин, С. В., Прихотько, В. И. Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели). – М: АРТ – ПРЕСС, 2007. – 196 с.

8 Маслиев, В. Г., Лобачев, Н. А. Параметры воздушного тракта пневматического рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ116. //Труды ВМИ, вып. 14, 1982. – С. 54–58.

9 Обморошев, А. Н. Введение в теорию колебаний. – М.: Наука, 1965. – 257 с.

Трехосная тележка с безззорным креплением. Т.1. Руководство по техническому обслуживанию. Редакция 1.02 / United Group Rail. – Гамильтон, 2008. – 34 с.

10 Каталог пневмоэлементов с резинокордной оболочкой АО «ФНПЦ «Прогресс». [Электронный ресурс]. – <https://www.progress-omsk.ru/constructor.php?act=group5>. Дата обращения: 22.08.2023г.

11 Горшков, А. Г., Трошин, В. Н., Шалашилин, В. И. Сопротивление материалов. – М.: МАИ, 2005. – 529 с.

REFERENCES

1 Myamlin, S., Luchanin, M., Neduzha, L. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 2013. – № 3. – P. 162–169.

2 Myamlin, S., Dailidka, S., Neduzha, L. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proc. of 16th Int. Conf. «Transport Means 2012». Kaunas, 2012, P. 310–312.

3 Kucenko, S. M., Elbaev, E. P., Masliev, V. G., Kirpichnikov, V. G., Ruban, A. N. Pnevmaticheskoe resornoe podveshivanie teplovozov [Pneumatic spring suspension of diesel locomotives] – Xar'kov: Vishha shkola, 1978. p. 95.

4 Kucenko, S. M., Plyushkin, S. N., Adashevskij, V. M., Shevchenko, Yu. L. Pnevmaticheskoe resornoe podveshivanie uzkokolejny`x teplovozov [Pneumatic spring suspension of narrow-gauge diesel locomotives] – Promy`shlenny`j transport, vy`p. 12, 1978. – P. 16.

5 Kucenko, S. M., Kirpichnikov, V. G. Kolebaniya lokomotiva na sbalansirovannom pnevmaticheskom resornom podveshivanii [Locomotive vibrations on balanced pneumatic spring suspension] //Vestnik XPI, vy`p. 3, 1977. P. 57–61.

6 Lobachev, N. A., Kucenko, S. M., Ruban, A. N. Issledovanie vertikal`ny`x kolebanij teplovoza s pnevmoressorami vo vtoroj stupeni resornogo podveshivaniya

[Investigation of vertical vibrations of a diesel locomotive with pneumatic springs in the second stage of spring suspension]. //Trudy` VNITI, vy`p. 53, 1981.– P. 48–58.

7 **Manashkin, L. A., Myamlin, S. V., Prixotko, V. I.** Gasiteli kolebanij i amortizatory` udarov rel'sovy`x e`kipazhej (matematicheskie modeli) [Vibration dampers and shock absorbers for rail carriages (mathematical models)] – Moscow: ART - PRESS, 2007. – P. 196.

8 **Masliev, V.G., Lobachev, H.A.** Parametry` vozdushnogo trakta pnevmaticheskogo ressnornogo podveshivaniya teplovoza 2TE`116 [Parameters of the air path of the pneumatic spring suspension of the 2TE116 diesel locomotive] //Trudy` VMI, vy`p. 14, 1982. – P. 54–58.

9 **Obmoryshev, A. N.** Vvedenie v teoriyu kolebanij [Introduction to the theory of oscillations]. – M. : Nauka, 1965. – p. 257.

10 Trexosnaya telezhka s bezzazorny`m krepleniem. T.1 [A three-axle trolley with a gas-free attachment.]. Rukovodstvo po texnicheskomu obsluzhivaniyu. Redakciya 1.02 / United Group Rail. – Gamil`ton, 2008. – P. 34.

11 Katalog pnevmoe`lementov s rezinokordnoj obolochkoj AO “FNPCz «Progress» [Catalog of pneumatic elements with a rubber cord shell of FNPC Progress JSC]. [Electronic resours]. – <https://www.progress-omsk.ru/constructor.php?act=group5>. Data obrashheniya: 22.08.2023g.

12 **Gorshkov, A. G., Troshin, V. N., Shalashilin, V. I.** Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. – Moscow.: MAI, 2005. – P. 529.

08.01.25 ж. баспаға түсті.

15.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

31.01.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

P. C. Устемирова¹, А. Т. Турдалиев², А. П. Карпов³,

Е. К. Майлыбаев⁴, Н. С. Камзанов⁵

^{1,2,3,4}Международный транспортно-гуманитарный университет путей сообщения, Республика Казахстан, г. Алматы

⁵Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 08.01.25.

Поступило с исправлениями 15.01.25.

Принято в печать 31.01.25.

РАСЧЕТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ОДНООСНОГО УСТРОЙСТВА ЭКИПАЖА С ПНЕВМОПОДВЕШИВАНИЕМ ВО ВТОРОЙ СТУПЕНИ

В данной статье рассмотрены вопросы анализа, построения и расчета математической модели колебаний одноосного устройства пневматического подвесного экипажа на втором этапе. Пневматическая подвеска широко используется в транспортных средствах для обеспечения комфорта и комфортного управления. Одноосное устройство пневматического подвесного

экипажа второй ступени представляет собой сложную систему, колебания которой необходимо анализировать для оптимизации ее производительности.

Анализ математической модели предполагает определение следующих характеристик:

– *Собственные частоты и формы колебаний: собственные частоты определяют частоты, на которых система колеблется после разрушения. Собственные формы колебаний характеризуют относительную амплитуду колебаний в различных частях системы.*

– *Передающая функция: передающая функция описывает отношение выходного сигнала (смещение кузова) к входному сигналу. Это показывает, как система реагирует на разные частоты.*

– *Уровень комфорта: уровень комфорта оценивается амплитудой колебаний кузова и его производными.*

Анализ математической модели позволяет оптимизировать колебательные характеристики одноосного устройства пневматического подвесного экипажа второй ступени путем регулирования коэффициентов демпфирования и жесткости. Оптимизация может быть направлена на:

– *Уменьшение амплитуды колебаний кузова;*

– *Повышение уровня комфорта;*

– *Улучшение управления транспортным средством.*

Ключевые слова: колебания теплового, параметры подвески, рессорное подвешивание, дроссель, математическая модель.

Ustemirova R.¹, Turdaliev A.²,

Karpov A.³, Mailybayev Y.⁴, Kamzanov N.⁵

^{1,2,3,4}International university of transport and humanities, Kazakhstan, Almaty

⁵Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

Received 08.01.25.

Received in revised form 15.01.24.

Accepted for publication 15.01.25.

CALCULATION OF A MATHEMATICAL MODEL OF VIBRATIONS OF A UNIAXIAL CREW DEVICE WITH AIR SUSPENSION IN THE SECOND STAGE

This article discusses the problems of analysis, construction and calculation of a mathematical model of oscillations of a single-axis device of a pneumatic suspended crew at the second stage. Pneumatic suspension is widely used in vehicles to ensure comfort and convenient handling. The single-axle device of the pneumatic suspension crew of the second stage is a complex system in which it is necessary to analyze its vibrations to optimize its performance.

Analysis of a mathematical model involves determining the following characteristics:

– *Specific frequencies and forms of oscillations: specific frequencies determine the frequencies that the system oscillates after a disturbance. Specific forms of*

oscillations characterize the relative amplitude of oscillations in different parts of the system.

– Transmission function: the transmission function describes the ratio of the output signal (body displacement) to the input signal. This shows how the system responds to different frequencies.

– Comfort level: the level of comfort is assessed by the oscillation amplitude of the bodywork and its derivatives.

The analysis of the mathematical model makes it possible to optimize the oscillation characteristics of a single-axle device of a pneumatic suspended crew of the second stage by adjusting the damping and stiffness coefficients. Optimization can focus on:

– Decrease in the amplitude of body vibrations;

– Increase the level of comfort;

– Improve vehicle handling.

Keywords: fluctuations of the locomotive, locomotive suspension parameters, spring suspension, throttle, a mathematical model.

ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МҰНАЙ-ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ

МРНТИ 61.01.11

<https://doi.org/10.48081/JDGX4489>

***Е. С. Егумбаев¹, С. Р. Масакбаева²,
А. А. Бакибаев³, Д. Н. Еремеев⁴**

^{1,2}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

³Томский государственный университет, Российская Федерация, г. Томск

⁴ТОО «Производственное объединение ASCOR»

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5756-4899>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3335-3166>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0227-0028>

*e-mail: erik_2pav@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В данной статье рассматривается реагентная обработка сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий с применением композитных коагулянтов - компании ТОО «ПО ASCOR». В статье приводятся основные требуемые показатели качества очищенной сточной воды, кратко перечислены этапы подготовки реагентной обработки. Представлены методологические и инструментальные аспекты лабораторных испытаний, их цель, мониторинг основных показателей качества очистки сточных вод, а также результат. В программе показаны, применяемый на предприятии химический реагент, предлагаемые ТОО «ПО ASCOR» химические реагенты для очистки сточных вод, кратко изложена методика проведения лабораторных исследований, применяемые приборы и оборудование, влияние выбранных химических реагентов; описаны поэтапные процессы изменений качества очистки сточных вод, в зависимости от реагентов и их дозировок. В разделе краткие результаты и их обсуждение предлагаются диаграммы различных программ реагентной обработки для очистки нефтесодержащих сточных вод в зависимости от влияния различных порошкообразных коагулянтов на осветление нефтесодержащих сточных вод. Сравнение программ реагентной обработки подразумевает под собой сопоставление полученных результатов по критериям оценки качества очищенной воды, наиболее эффективное применение на нефтеперерабатывающем предприятии порошкообразного композитного коагулянта. По полученным результатам лабораторных испытаний были построены графики и диаграммы, которые позволяют определить эффективность реализации программы реагентной обработки, снижение содержания нефтепродуктов и взвешенных веществ до требований установленных на предприятии.

Ключевые слова: реагентная обработка, очистка сточных вод, нефтеперерабатывающее предприятие, минеральный коагулянт, композитный коагулянт.

Введение

В связи с ростом нефтеперерабатывающей промышленности (увеличение объемов добычи и переработки нефтегазового сырья), возрастает расход потребления воды на технологические процессы, что требует постоянного мониторинга качества очищенной сточной воды.

К очищенным нефтесодержащим сточным водам, предъявляется ряд требований, согласно технологическому регламенту ТОО «ПНХЗ», одним из таких параметров является содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов. Для повышения эффективности водоочистки используются минеральные и композитные коагулянты.

Минеральные коагулянты используются во всем мире, и имеют ряд преимуществ (главным образом их относительная дешевизна). Помимо преимуществ, они имеют значительные недостатки [1–3]. Среди них можно отметить, зависимость эффективности работы коагулянта от водородного показателя (рН) и температуры очищаемой воды, образование значительного количества шлама, а также усиление процессов коррозии и другие негативные аспекты [4].

Композитные коагулянты не имеют перечисленных слабых сторон, что объясняет их высокие эксплуатационные характеристики. На рынке большинство таких коагулянтов представлены как катионные реагенты. Данные реагенты были произведены как замена устаревшим неорганическим коагулянтам, которые применяются в процессе очистки сбросных вод и подготовки воды.

Композитные коагулянты могут включать два и более компонентов (металлы и полимеры), которые улучшают эффективность осаждения или ускоряют флокуляцию, а также могут уменьшать количество используемых химических веществ по сравнению с традиционными коагулянтами.

Материалы и методы

Для исследования в лабораторных условиях были выбраны следующие марки коагулянтов ТОО «ПО ASCOR»: AS-C22223; EX1-C200J01; EX1-C200J02; EX1-C200J03; EX1-C200E05 (AS-C2005); EX1-C200E06; EX1-C200E07; EX1-C200M01; AS-C20445; AS-C21444; AS-C21555. Представленные коагулянты различались структурой и химическим составом. Выбор химической продукции, выпускаемой ТОО «ПО ASCOR», для испытаний был обусловлен тем, что ранее, в ходе двусторонней встречи между представителями предприятий были достигнуты устные договоренности о проведении обследования технологического участка МОС ТОО «ПНХЗ», с возможностью проведения последующих лабораторных испытаний. Кроме того, данная компания является участником Специальной экономической зоны (СЭЗ) «Павлодар», а также является единственным отечественным товаропроизводителем специальной химической продукции для водоочистки и водоподготовки. Необходимо отметить, что ТОО «ПО

ASCOR» обладает необходимыми сертификатами и документами в сфере технического регулирования и контроля, стандартизации и сертификации качества производимых товаров.

Эффективность коагулянта, продемонстрировавшего лучшие результаты в лабораторных испытаниях, была сравнена с эффективностью сульфата алюминия, который в настоящее время используется в качестве коагулянта.

При сравнении учитывались такие параметры, как дозировка коагулянта на единицу продукта (г/м³), фактические показатели и степень удаления (%) основных загрязнителей, включая взвешенные вещества, коллоидные частицы (мутность) и цветность.

Приготовление коагулянтов осуществлялось согласно стандартной методике [5]. Рабочий раствор коагулянтов готовили в одну стадию, с концентрацией 1%. Для разбавления использовалась дистиллированная вода. Лабораторные исследования проводились согласно регламентированной методике ТОО «ПО ASCOR» [6].

Величину рН исходной воды и воды после отстаивания измеряли при помощи карманного прибора модели «рН Tester 30». Удельную электрическую проводимость исходной воды и воды после отстаивания, измеряли при помощи карманного прибора модели «ЕС Tester 11». Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) исходной воды и воды после отстаивания, измеряли при помощи карманного прибора модели «ORP Tester 10».

Отстаивание в стаканах проводили на лабораторной установке «FP4 Portable Flocculation Tester» с четырьмя лопастными мешалками и регулируемой скоростью вращения. Пластиковые стаканы заполняли исходной водой в количестве 1000 мл, где поэтапно осуществлялась гомогенизация (быстрое и медленное перемешивание), добавлялось определенное количество реагента, после чего проводили отстаивание в стаканах.

По окончании процесса отстаивания, с помощью медицинского шприца, отбирали 20–25 мл осветлённой воды для установления качества. Концентрацию мутности, взвешенных веществ и цветности, измеряли на колориметре «DR 900». По указанной методике определяли только общую цветность. Содержание нефтепродуктов определялось стандартом (СТ ТОО) организации ТОО «ПНХЗ» по определению нефтепродуктов, на приборе спектрофотометре фотоэлектрическом КФК-3.

Результаты и обсуждение

Цель лабораторного тестирования заключалась в проверке влияния коагулянтов ТОО «ПО ASCOR», которые отличаются составом и структурой, на эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод ТОО «ПНХЗ» в условиях флотаторов, а также в подборе оптимальной программы реагентной обработки для флотаторов механической очистки стоков цеха № 8 ТОО «ПНХЗ».

В этой серии испытаний сравнивалась эффективность различных порошковых (сухих) коагулянтов ТОО «ПО ASCOR», которые отличаются составом и

структурой. Установили общую усредненную дозировку представленных коагулянтов равную 10 г/м3 (по товарному реагенту).

Согласно полученным данным, содержание взвешенных веществ в исходной воде составило 115 мг/л, концентрация мутности была равна 119 FAU, цветность составила 1600 °Pt-Co шкалы (таблица 1). В таблице 1 приведены значения анализируемых параметров до и после применения коагулянтов

Таблица 1 – Значения анализируемых параметров до и после применения коагулянтов

№ п/п	Наименование	Взвешенные вещества (мг/л)	Мутность (FAU)	Цветность (°Pt-Co шкалы)
1	Исходная вода	115	119	1600
2	AS-C20445	111	125	995
3	AS-C21444	111	120	950
4	AS-C21555	111	120	930
5	EX1-C200M01	110	117	930
6	EX1-C200J02	109	115	925
7	EX1-C200J03	109	115	915
8	AS-C22223	107	114	890
9	EX1-C200E06	85	93	700
10	EX1-C200J01	69	77	640
11	EX1-C200E07	52	60	615
12	EX1-C200E05 (AS-C2005)	38	42	350

По данным таблицы строим диаграммы (Рисунки 1–3). Из диаграмм видно, что наиболее эффективным из тестируемых коагулянтов является композитный реагент AS-C2005, так как при одинаковой дозировке (10 г/м³) использование данного коагулянта для очистки сточных вод ТОО «ПНХЗ» в лабораторных условиях обеспечило наилучшее качество осветлённой воды: содержание основных загрязняющих веществ (взвешенных частиц, мутности и цветности) снизилось, а эффективность их удаления значительно возросла.

По истечении 5 минут отстаивания в покое, при добавлении коагулянта AS-C2005, концентрация взвешенных веществ в исследуемой воде была равна 38 мг/л (Рисунок 3), что ниже не только установленных на ТОО «ПНХЗ» требований (не более 60 мг/л), но и соответствует средним значениям содержания взвешенных веществ в очищенной воде после флотации на НПЗ (30-40 мг/л), приведённым в литературе [7].

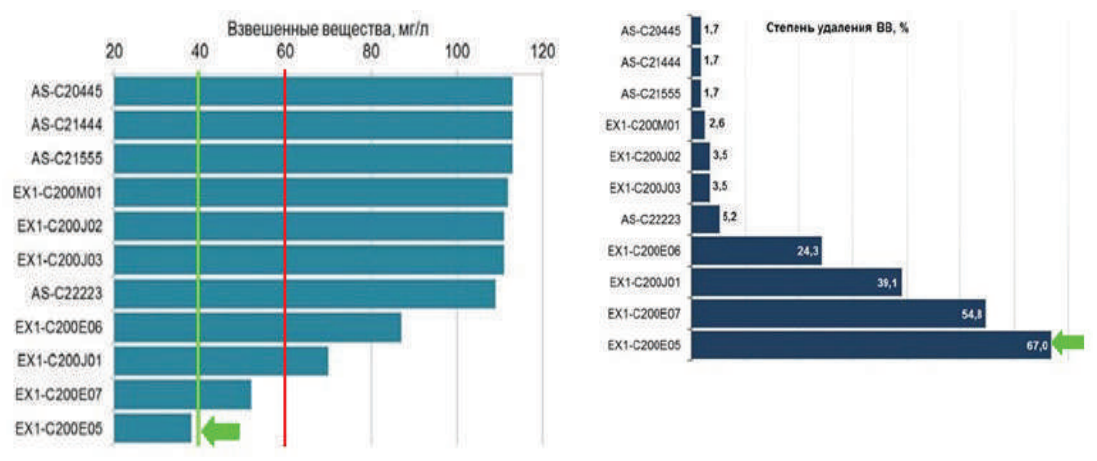


Рисунок 1 – Влияние различных коагулянтов ТОО «ПО ASCOR» (дозировка 10 г/м³) на содержание взвешенных веществ и на степень удаления взвешенных частиц в осветлённой воде через 5 минут отстаивания в покое

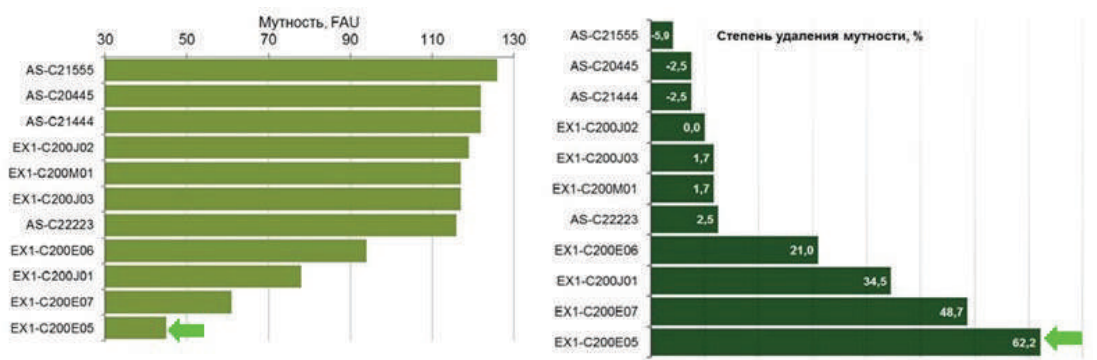


Рисунок 2 – Влияние различных коагулянтов ТОО «ПО ASCOR» (дозировка 10 г/м³) на концентрацию мутности и на степень удаления мутности осветлённой воды через 5 минут отстаивания в покое

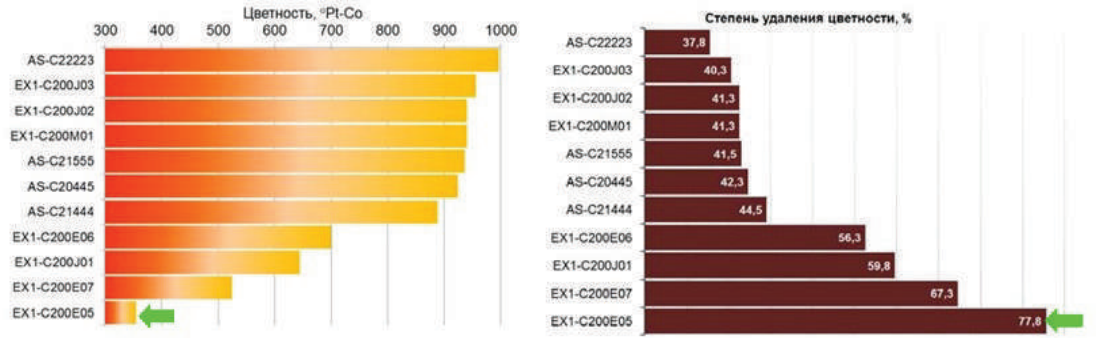


Рисунок 3 – Влияние различных коагулянтов ТОО «ПО ASCOR» (дозировка 10 г/м³) на цветность и на степень удаления цветности осветлённой воды через 5 минут отстаивания в покое

Выводы

Порошковый композитный коагулянт AS-C2005 эффективно очищает нефтесодержащие сточные воды ТОО «ПНХЗ» от основных загрязнений: нефтепродукты, взвешенные вещества, мутность и цветность. Коагулянт AS-C2005 может применяться взамен сульфату алюминию в качестве альтернативной программы реагентной обработки при очистке сточных вод.

Важно отметить тот факт, что дозировка используемого коагулянта будет снижена в 5 раз. Предлагаемый диапазон дозировки (по товарному продукту) коагулянта AS-C2005 составляет 10–20 г/м³ воды, поступающей на флотатор. Данный вывод подтверждается результатами анализа обработанной сточной воды на содержание основных загрязнений (взвешенных веществ, мутности и цветности) (Рисунок 3 – 8)

На основании вышеизложенного, следует ожидать, что экономичность и эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод ТОО «ПНХЗ» сульфатом алюминия, с дозировкой 71 г/м³ по товарному, будет весьма низкой. При аналогичном испытании с добавлением сульфата алюминия, с фиксированной дозировкой 71 г/м³ (по товарному), не получилось произвести очистку сточной воды до необходимой концентрации по взвешенным веществам 60 мг/л.

Таким образом, водоподготовительные и очистные станции сточных вод, стремящиеся улучшить качество очищенной воды, снизить расходы и повысить эффективность, получают преимущества от использования композитных коагулянтов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Хенце, М., Армоэс, П., Ля-Кур-Янсен, Й., Арван, Э.** Очистка сточных вод. – М. : Мир, 2004. – 480 с.
- 2 **Воронов, Ю. В., Яковлев, С. В.** Водоотведение и очистка сточных вод. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 704 с.
- 3 **Гетманцев, С. В., Нечаев, И. А., Гандурина, Л. В.** Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 272 с.
- 4 **Брэтби Дж.** Коагуляция и флокуляция при очистке воды и сточных вод. 3-е издание. – Издательство IWA, 2016. – 536 с.
- 5 IB-1-021-RU Процедура приготовления реагентов для лабораторного тестирования. 1. Коагулянты жидкие и порошкообразные. – ASCOR, 2018. – 1 с.
- 6 IB-1-025-RU Процедура лабораторного тестирования. Осветление жидкой фазы отстаиванием в стаканах (Jar Test). – ASCOR, 2017. – 4 с.
- 7 **Кичигин, В. И.** Водоотводящие системы промышленных предприятий. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 656 с.
- 8 **Хендрикс, Д. В.** Основы процессов на установках водоподготовки. Физические, химические и биологические. – Издательство IWA Publishing/CRC Press, 2011. – 927 с.

9 **Криттенден, Дж. С., Трусселл, Р. Р., Хэнд, Д. У., Хоу, К. Дж., Чобаноглоус, Г.** Водоподготовка: принципы и проектирование. (MHW, 3-е издание). – Джон Уайли и сыновья, 2012. – 2024 с.

10 Технологический регламент «Комплекс сооружений механической очистки промышленных стоков», ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», 2020. – 66 с.

11 FP4 Портативный флокулятор. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.velp.com/ru-ww/fp4.aspx> (Дата обращения: 18.02.2025).

REFERENCES

- 1 **Xence, M., Armoe's, P., Lya-Kur-Yansen, J., Arvan, E'.** Ochistka stochny`x vod [Wastewater treatment]. – Moscow: Mir, 2004. – 480 p.
- 2 **Voronov, Yu. V., Yakovlev, S. V.** Vodootvedenie i ochistka stochny`x vod [Wastewater disposal and treatment]. – Moscow: Publishing House of the DIA, 2006. – 704 p.
- 3 **Getmancev, S. V., Nechaev, I. A., Gandurina, L. V.** Ochistka promy`shlenny`x stochny`x vod koagulyantami i flokulyantami. [Treatment of industrial wastewater with coagulants and flocculants] – Moscow: Publishing House of the DIA, 2008. – 272 p.
- 4 **Bre`tbi Dzh.** Koagulyaciya i flokulyaciya pri ochistke vody` i stochny`x vod. [Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment] 3rd edition. – IWA Publishing House, 2016. – 536 p.
- 5 IB-1-021-RU Procedura prigotovleniya reagentov dlya laboratornogo testirovaniya. 1. Koagulyanty` zhidkie i poroshkoobrazny`e. [The procedure for preparing reagents for laboratory testing. 1. Coagulants, liquid and powdered] – ASCOR, 2018. – 1 p.
- 6 IB-1-025-RU Procedura laboratornogo testirovaniya. Osvetlenie zhidkoj fazy` otstaivaniem v stakanax (Jar Test). [Laboratory testing procedure. Clarification of the liquid phase by settling in glasses (Jar Test)] – ASCOR, 2017. – 4 p.
- 7 **Kichigin, V. I.** Vodootvodyashhie sistemy` promy`shlenny`x predpriyatij. [Drainage systems of industrial enterprises] – Moscow: Publishing House of the DIA, 2011. – 656 p.
- 8 **Xendriks, D. V.** Osnovy` processov na ustanovkax vodopodgotovki. Fizicheskie, ximicheskie i biologicheskie. [Fundamentals of processes at water treatment plants. Physical, chemical and biological] – IWA Publishing/CRC Press, 2011. – 927 p.
- 9 **Krittenden, Dzh. S., Trussell, R. R., Xe`nd, D. U., Xou, K. Dzh., Chobanoglous G.** Vodopodgotovka: principy` i proektirovanie. [Water treatment: principles and design] (MHW, 3rd edition). – John Wiley and Sons, 2012. – 2024 p.
- 10 Texnologicheskij reglament «Kompleks sooruzhenij mexanicheskoy ochistki promy`shlenny`x stokov», ТОО «Pavlodarskij nefteximicheskij zavod». [Technological regulations for the complex of facilities for mechanical treatment of industrial wastewater of Pavlodar Petrochemical Plant LLP]. – 2020. – 66 p.
- 11 FP4 Portativny`j flokulyator [FP4 Portable Flocculator]. [Electronic resource]. – URL: <https://www.velp.com/ru-ww/fp4.aspx> (Date of application: 18.02.2025).

Поступило в редакцию 31.05.24.
Поступило с исправлениями 17.01.25.
Принято в печать 24.02.25.

***Е. С. Егімбаев¹, С. Р. Масақбаева²,
Ә. Ә. Бәкібаев³, Д. Н. Еремеев⁴**

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³Томск мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Томск қ.

⁴«ASCOR өндірістік бірлестігі» ЖШС

31.05.25 ж. баспаға түсті.

17.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

24.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

МҰНАЙ ӨңДЕУ ЗАУЫТТАРЫНЫҢ АҒЫНДЫ СУЛАРЫН ТАЗАРТУ ҮДЕРІСІНЕ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ӘСЕРІ

Бұл мақалада композиттік коагулянттарды - «ASCOR өндірістік бірлестігі» ЖШС компаниясын қолдана отырып, мұнай өңдеу кәсіпорындарының сарқынды суларын реагентті өңдеу қарастырылады. Мақалада тазартылған ағынды су сапасының негізгі қажетті көрсеткіштері келтірілген, реагентті өңдеуді дайындау кезеңдері қысқаша келтірілген. Зертханалық сынақтардың әдіснамалық және аспаптық аспектілері, олардың мақсаты, ағынды суларды тазарту сапасының негізгі көрсеткіштерінің мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Бағдарламада кәсіпорында қолданылатын химиялық реагент, «ASCOR өндірістік бірлестігі» ЖШС ұсынатын ағынды суларды тазартуға арналған химиялық реагенттер көрсетілген, зертханалық зерттеулер жүргізу әдістемесі, қолданылатын аспаптар мен жабдықтар, таңдалған химиялық реагенттердің әсері қысқаша баяндалған; реагенттер мен олардың мөлшеріне байланысты ағынды суларды тазарту сапасының өзгеруінің кезең-кезеңімен жүретін процестері сипатталған. Қысқаша нәтижелер және оларды талқылау бөлімінде әртүрлі ұнтақ коагулянттардың құрамында мұнай бар ағынды суларды тазартуға әсеріне байланысты құрамында мұнай бар ағынды суларды тазартуға арналған реагентті өңдеудің әртүрлі бағдарламаларының диаграммалары ұсынылған. Реагентті өңдеу бағдарламаларын салыстыру тазартылған судың сапасын бағалау критерийлері бойынша алынған нәтижелерді салыстыруды, мұнай өңдеу зауытында ұнтақты композиттік коагулянтты тиімді қолдануды білдіреді. Алынған зертханалық сынақтардың нәтижелері бойынша реагентті өңдеу бағдарламасын іске асырудың тиімділігін анықтауға, мұнай өнімдері мен өшіенген заттардың құрамын кәсіпорында белгіленген талаптарға дейін төмендетуге мүмкіндік беретін Графиктер мен диаграммалар салынды.

Кілтті сөздер: реагентті өңдеу, ағынды суларды тазарту, мұнай өңдеу зауыты, минералды коагулянт, композиттік коагулянт.

***Y. S. Yegimbayev¹, S. R. Masakbayeva²,
A. A. Bakibaev³, D. N. Yermeev⁴**

^{1,2}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Tomsk State University, Russian Federation, Tomsk

⁴«ASCOR Production Association» LLP

Received 31.05.24.

Received in revised form 17.01.25.

Accepted for publication 24.02.25.

THE INFLUENCE OF CHEMICAL REAGENTS ON THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS OF OIL REFINERIES

This article discusses the reagent treatment of wastewater from oil refineries using composite coagulants from «ASCOR Production Association» LLP. The article provides the main required quality indicators of treated wastewater, briefly lists the stages of preparation of reagent treatment. The methodological and instrumental aspects of laboratory tests, their purpose, monitoring of the main indicators of wastewater treatment quality, as well as the result are presented. The program shows the chemical reagent used at the enterprise, chemical reagents for wastewater treatment offered by «ASCOR Production Association» LLP, briefly describes the methodology of laboratory research, the devices and equipment used, and the effect of selected chemical reagents; describes step-by-step processes of changes in the quality of wastewater treatment, depending on the reagents and their dosages. In the section summary results and discussion, diagrams of various reagent treatment programs for the purification of oily wastewater are proposed, depending on the effect of various powdered coagulants on the clarification of oily wastewater. The comparison of reagent treatment programs implies a comparison of the results obtained according to the criteria for evaluating the quality of purified water, the most effective use of powdered composite coagulant at an oil refinery. Based on the results of laboratory tests, graphs and diagrams were constructed that allow us to determine the effectiveness of the implementation of the reagent treatment program, reducing the content of petroleum products and suspended solids to the requirements established at the enterprise.

Keywords: reagent treatment, wastewater treatment, oil refinery, mineral coagulant, composite coagulant.

SRSTI 68.39.71

<https://doi.org/10.48081/EPCD3886>***Zh. I. Satayeva¹, E. D. Zhetimkarinov²**¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana²LLP «Pulse N», Republic of Kazakhstan, Astana,¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-3474>²ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2794-9982>*e-mail: julduz.kaynar@mail.ru**RESEARCH OF THE ANTLER OF THE REBLE DEER
(CERVUS ELAPHUS) XANTHOPYGUS**

It is known that reindeer antlers are recognized raw materials for obtaining medicines and the only complex of animal origin in the world with powerful preventive and health-improving effects. Scientists have extracted various biologically active compounds such as peptides, lipids, polysaccharides, proteins, nucleotides, glycoproteins, and trace elements from deer antlers. However, the nutrient composition of velvet deer antlers has received limited attention as a potential bioactive resource. The study of the bioactivity of blood and antlers is crucial for expanding their application in functional foods and nutraceuticals. Therefore, attention should be paid to in-depth scientific research of the unique compounds of domestic deer antlers to develop new high-quality and safe health products.

This article presents the results of a study to determine the chemical components of deer antlers from the Borovoye area of the Akmola region. The examined antlers revealed a high content of protein (16.45%), fat (26.01%), calcium (355 mg/100 g), phosphorus (5662 mg/100 g), and B vitamins. The safety of antlers is confirmed by the absence of pesticides, radionuclides, coliform bacteria, sulfite-reducing clostridia, Staphylococcus aureus, yeasts, and pathogens.

Keywords. reindeer, antlers, nutrients, vitamins, minerals, food safety.

Introduction

Sustainable development of deer farming and production of velvet or deer antlers is being studied to determine how to improve and expand the range of products that can be sold. Therefore, research into biologically active substances contained in antlers and deer blood, which have a beneficial effect on human health, is of interest and relevance.

Deer (Cervidae) are animals mainly found in Eurasia, North America, South America, and southwest Africa. Like caribou, antlers are found in male deer but not females, and they periodically shed and regenerate each year. This unique model of organ regeneration has attracted worldwide attention [1, p. 443; 2, p. 3].

New Zealand is the largest producer of deer velvet: 450–500 tons of deer velvet are produced annually. China produces 400 tons of deer velvet annually, mainly from spotted deer. Russia produces 80 tons annually, and the USA and Canada produce about 20 tons annually. Korea is the largest exporter of deer velvet, with sales of around 1.6 billion US dollars [3].

Deer velvet has been used in traditional Chinese medicine for at least 2000 years. It was recorded in «Shen Nong Ben Cao Jing» («Divine Farmer's Classic of Materia Medica»), the earliest text from the Eastern Han Dynasty (25–220 AD), which is a collection of 365 Chinese medicinal preparations. Deer velvet is used in traditional Chinese medicine to prevent diseases and is believed to have Yang properties that «tonify the kidneys, strengthen the spleen, strengthen bones and muscles, and promote blood circulation. Yang (positive, bright, masculine) and Yin (negative, dark, feminine). The base of the deer antler is the residual antler, which naturally falls off in the spring after ossification. This material is used in healthcare to boost immunity, strengthen bones, relieve stress, and for antioxidant activity, among others [4. p. 410].

The term «velvet» denotes the immature stage of antler growth. The entire antler structure is harvested for use, which in the velvet phase consists of a cartilaginous core covered with connective tissue and skin. Deer velvet represents soft, vascularized, and innervated tissue in the velvet stage [5].

The antlers of two types of deer – the spotted deer (Cervus nippon) and the red deer (Cervus elaphus) are used in Chinese, Japanese, and Korean pharmacopoeias [6].

In ancient Chinese medical commentaries, deer velvet was called Lurong and was considered a strong Yang tonic. «Ten Lectures on the Use of Medicinal Substances from Personal Experience» by Jiao Shude gives the following ideas: Lurong tonifies kidney Yang, strengthens tendons and bones, strengthens tendons and bone marrow, and nourishes blood. The «Expanded Textbook of Traditional Chinese Medicine and Pharmacology» states that Lurong is indicated for chronic diseases characterized by general lethargy and depression, lumbago, cold extremities, and polyuria with clear urine, among others.

Extrapolating this to veterinary medicine, deer velvet can be suitable for everything from lethargy associated with aging to immune modulation.

Velvet from red deer antlers has been used to treat male impotence and female infertility. The focus on sexual and reproductive function has led to deer velvet being classified as an aphrodisiac. However, in traditional Chinese medicine, an aphrodisiac is a means to enhance the reproductive capacity of men and women, not to increase their libido or sexual desire.

Members of the Cervidae family are the only animals with antlers and the only mammals that fully regenerate organized tissue within an annual cycle [7, p. 269]. Antler regeneration is a process based on stem cells [8, p. 235]. Antler regeneration is carried out by cells called stem cells, which typically develop bone growth from the antler tip and then from the cut part after antler removal [9, p. 443]. Velvet antlers grow at a rate of up to 2 cm per day, completing the entire cycle from cell differentiation to mature antler development in just 90 days [10, p. 191].

A review of the literature and research on deer velvet from 1980 to 2012 was conducted from ancient Chinese classical herbal books, pharmacopoeias, formularies, scientific journals, and books in print, as well as in PubMed, Google Scholar, Web of Science, Science Direct, and CNKI (in Chinese). The authors concluded: «Pharmacological studies in vitro and in vivo have shown that the deer antler base has immunomodulatory, anticancer, anti-fatigue, anti-osteoporosis, anti-inflammatory, analgesic, antibacterial, antiviral, anti-stress, and antioxidant properties and exerts hypoglycemic, hematopoietic, and modulating effects...» [4, p. 413].

Deer antlers have been used as a powerful tonic in Asian countries, especially for children's growth and development in pediatrics of Korean medicine [11, p. 270; 126 p.].

Traditional use of antlers for blood nutrition has been confirmed by recent studies identifying the active components responsible for this - monoacyldiglycerides [5]. Monoacyldiglycerides are small compounds that promote blood cell production by bone marrow stem cells.

According to the National Bureau of Statistics, in 2021, there were 86 thousand reindeer registered in Kazakhstan, raised in peasant farms. Of these, 94.4% or just over 8 thousand animals were in the East Kazakhstan region. The region has 18 deer farms engaged in breeding red deer. They produce 5 tons of antlers annually (53 tons in total across the republic) [13].

In Kazakhstan, each resident receives only 12 grams of reindeer products per year, while in Southeast Asia, the norm is 100 grams per year per person. The magical properties of various tinctures and baths based on boiled antlers are especially valued in Japan, China, and Korea. 70% of the products go to these countries [14].

Scientific research of useful elements contained in reindeer blood and antlers and the creation of enriched products and biologically active substances based on them is one of the promising directions. Reindeer blood in Kazakhstan is consumed, used for wraps, pant baths, balms, pant inhalations, and pantogematogen is taken. Deer antlers are boiled, dried, and used to make biologically active supplements. Kazakhstan has a developed deer farming industry, with a large number of raw materials for research, but lacks sufficient scientific confirmation. Therefore, our study is aimed at a detailed study of, first of all, safety indicators and toxicity, then physicochemical properties, and the determination of nutrients that have a beneficial effect on the human body.

Materials and methods

The objects of research are thawed antlers of red deer (*Cervus elaphus*) from 2023, processed by LLP «Pulse N» (Fig. 1). Deer are bred by the deer farm at the State National Natural Park Burabay in the village of Burabay, Akmola region. The red deer (*Cervus elaphus xanthopygus*) is an East Asian true deer, a subspecies of the red deer (Fig. 2).



Figure 1 – Antlers of Red Deer (*Cervus elaphus*) Xanthopygus



Figure 2 – Red Deer (*Cervus elaphus*)

The ash mass fraction in antlers was determined according to GOST 4227-76 «Conserved reindeer and red deer antlers» by the ashing method at a temperature of 450–500 °C.

To determine the mass fraction of moisture in antlers according to GOST 4224-76, a plate 2–3 mm thick is cut from the middle part of the antler shaft before analysis. The obtained plate is crushed, then a sample weighing 1–2 g is taken and placed in a test tube. A vacuum pump is used to remove air from the test tube. Then, the test tube with the antlers is immersed in a water bath heated to 65 °C. The samples are dried under vacuum over phosphorus(V) oxide P₄O₁₀ for 60 minutes. Without turning off the vacuum, the test tubes are cooled to room temperature and weighed.

The mass fraction of protein in antlers was determined according to GOST 25011-2017 using the Kjeldahl method. This method is based on the mineralization of organic substances in the sample, followed by the determination of nitrogen by the amount of ammonia formed.

To determine the mass fraction of fat, GOST 23042-2015 was used, which involves multiple extractions of fat with diethyl ether or petroleum ether from the dried sample of the antlers in a Soxhlet extractor, followed by the removal of the solvent and drying of the extracted fat to a constant mass.

The mass fraction of fiber in the antlers was determined according to GOST 31675-2012 using intermediate filtration. This method is based on the sequential treatment of the sample with HCl and NaOH solutions, followed by ash and quantitative determination of the organic residue by gravimetric analysis.

To determine the antioxidant activity of the antlers, an amperometry method was applied for determining the content of water-soluble antioxidants (total antioxidant activity) in the range of 0.2 to 4.0 mg/dm³ according to GOST R 54037-2010. This method involves measuring the electric current generated during the oxidation of the substance on the surface of the working electrode at a certain potential and comparing the obtained signal with the signal from a standard (quercetin) under the same measurement conditions.

The content of mineral elements was determined by atomic absorption method: calcium according to GOST R 55573-2013; potassium and magnesium according to GOST R 55484-2013; selenium according to GOST 31707-2012; and phosphorus by spectrophotometric method according to GOST 32009-2013.

Regarding the safety indicators of antlers, toxic elements were assessed: cadmium was determined by GOST 33426-2015 using electrothermal atomic absorption spectrometry; arsenic according to GOST 31707-2012 using atomic absorption spectrometry. To determine the content of pesticides HCH and DDT and its metabolites, a chromatographic method was used. Radiological safety was assessed by the content of potassium-40 and cesium-137 according to GOST 32161-2013.

Analyses of vitamin content, specifically B vitamins (B1, B2, B6, B5, B3) and vitamin C, were carried out according to GOST 31483-2012 using capillary electrophoresis.

Microbiological safety of the antlers was evaluated based on the following indicators:

The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAmM), CFU/g, was determined according to GOST 10444.15-94 by inoculating into agarized nutrient media;

Coliform bacteria (BGKP) were determined according to GOST 31747-2012 by inoculating into agarized selective diagnostic media;

Sulfite-reducing clostridia were determined according to GOST 29185-91 by inoculating into an agarized medium;

Staphylococcus aureus was determined according to GOST R 52815-2017 by inoculating into a liquid selective medium;

Yeast was determined according to GOST 10444.12-2013 by plating and further incubating in Petri dishes under aerobic conditions at 25°C for 5 days;

Pathogenic microorganisms, including salmonella, were determined according to GOST 31659-2012 (ISO 6579-2002).

Results and discussion

The determination of qualitative indicators and safety indicators of Red Deer antlers was carried out at the laboratories of the S.Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University and the Research Laboratory for Quality and Safety Assessment of Food Products of JSC «Almaty Technological University» (protocol No. 514 dated June 5, 2024).

Table 1 presents the results of the analysis of the physical and chemical indicators of the studied Red Deer antlers.

Table 1 – Comparative physical and chemical indicators of Red Deer antlers

Indicator name	Red Deer (Cervus elaphus)	Formosan sambar deer [15]	Antlers from wapiti [16]
Mass fraction of ash, %	4.91±0.06	17.6±0.7	39.87±0.60
Mass fraction of moisture, %	24.23±0.29	62.8±1.1	No data
Mass fraction of protein, %	16.45±0.19	18.3±0.2	57.13±0.41
Mass fraction of fat, %	26.01±0.31	1.5±0.2	1.02±0.05
Antioxidant activity, mg/g	1.03±0.003	No data	No data

If the data from Table 1 is compared with similar studies, in the work [15, p. 1280], the ash content was 11.0±0.8%, protein - 20.5±0.5%, fat - 0.9±0.1%, and moisture 67.2±0.6%. Scientists [16, p. 2847] studied the tip, top, middle part, base of deer antlers. We took the indicators of the middle part of the antlers for comparison. The data show that the ash content in our experimental samples 4.91% is much less than in studies 39.87 %; the lipid content is higher 26.01 % compared to 1.02 %.

As the antlers grow, their content of ash, calcium and phosphorus increases. The amount of organic substances, which include biologically active substances, decreases, therefore, when antlers are cut before technical maturity, they have a smaller mass; at a later stage, antlers of greater mass are obtained, but they are strongly ossified and of worse quality.

The chemical composition of red deer antlers can vary depending on the species of deer and factors such as age, diet, and environmental conditions.

The content of the most important minerals in red deer antlers is presented in Table 2.

Table 2 – Comparative mineral elements in red Deer antlers, mg/100 g

Name of mineral elements	Red Deer (Cervus elaphus)	The Altai antler powder [19]	The Sika deer antler [19]
Calcium	83.55±1.01	11.0	9.5
Potassium	7.11±0.08	5.25	5.00
Phosphorus	56.62±0.68	4.44	5.70
Magnesium	3.12±0.04	2.27	1.03
Selenium	0.002±0.0001	No data	No data

The table shows that the antlers contain a high amount of calcium (83.55±1.01) and phosphorus (56.62±0.68). The results of the mineral content analysis in the antlers are comparable to those reported by Russian and international authors.

According to [19, p. 82], Altai antler and Sika deer antler powder contain 11.0 and 9.5 mg/g of calcium respectively, 5.25 and 5.00 mg/g of potassium respectively, 4.44 and 5.70 mg/g of phosphorus respectively, 2.27 and 1.03 mg of magnesium respectively. In maral deer antlers, there are 113.233 mg/g of calcium, 4.086 mg/g of potassium, 55.577 mg/g of phosphorus, 2.378 mg/g of magnesium, and 0.0003 mg/g of selenium.

In the studies [17, p. 115046], the average calcium content in the antlers of deer was found to be 21.1–27.7 %, and phosphorus was 13 %. Our analysis results showed a high calcium content (3.55 %) and phosphorus (56.62 %). Some indicators are comparable with the results of Polish researchers, where calcium was found to be 82.040 mg per 100 g, potassium 0.575 mg, magnesium 3.637 mg, phosphorus 0.089 mg, and selenium 0.535 mg.

Calcium builds and maintains bones, teeth, and nerves; it plays an important role in muscle contraction, nerve transmission, blood pressure regulation, and blood clotting. Phosphorus is not only a key component in metabolic reactions but also strengthens the structure of bones and teeth and is important for heart and kidney function. Potassium is necessary for electrolyte balance, and the proper function of muscles and nerves. Magnesium helps cells in energy production and recovery, ensuring normal muscle and nerve function.

Table 3 presents the analysis results for the content of B group and C vitamins.

Table 3 – Comparative content of vitamins in Deer antlers, mg/100 g

Name of vitamins	Red Deer (Cervus elaphus)	The Sika Deer [19]	The Altai wapiti [19]
B ₁ (thiamine chloride)	6.73±1.346	0.62	0.48
B ₂ (riboflavin)	0.160±0.067	1.82	1.44
B ₆ (pyridoxine)	2.09±0.418	2.5	1.92
B ₅ (nicotinic acid)	54.91±10.98	49.27	38.00
B ₃ (pantothenic acid)	39.18±7.05	5.78	4.46
C (ascorbic acid)	Not found	No data	No data

The results of our research are comparable with the data in [19], where the antlers of northern deer contain 8.2 mg of vitamin B1, 0.13 mg of B2, 1.23 mg of B6, and 76.41 mg of B5. In the antlers we examined, as shown in Table 3, there is a high content of nicotinic acid (B5) at 54.91±10.98 mg and pantothenic acid (B3) at 39.18±7.05 mg.

Safety indicators are crucial, including the content of toxic elements, pesticides, radionuclides, and microbiological parameters. The results of the conducted studies are presented in Tables 4 and 5.

Table 4 – Comparative safety indicators of Deer antlers

Name of indicators	Red Deer (Cervus elaphus)	Antler products [18]
Toxic Elements, µg/kg		
– Cadmium	0.76±0.004	<0.004
– Arsenic	0.0073±0.00038	<0.001
Pesticides, mg/kg		
– HCH	Not found	Not found
– DDT and Its Metabolites	Not found	Not found
Radionuclides, Bq/kg		
– Potassium-40	Not found	Not found
– Cesium-137	13	No date

The data in Table 4 show very low levels of cadmium, arsenic, and cesium-137, and pesticides such as DDT and its metabolites, as well as the radionuclide potassium-40, are absent.

Research by Russian scientists [18. p. 61] indicated that northern deer antlers contained 0.46 өg/g of arsenic and 0.20 өg/g of cadmium. In another study of deer antler extracts, the cadmium content was <0.004 өg/g, and arsenic was <0.001 өg/g [19, p. 82]. Pesticides including isomers of HCH, DDT, aldrin, chloramphenicol, and heptachlor were not detected.

Many studies have demonstrated that velvet from deer antlers is non-toxic. For example, one study involved feeding rats a diet containing 10% moose velvet antlers for three months from birth, with no noted adverse effects on health, growth, or development [18, p. 62].

Another study administered a single mega dose of 2 g/kg of deer antler velvet to rats, followed by a daily dose of 1 g/kg for 90 days. No side effects were observed during the two-week observation period or at autopsy [20, p. 988]. No side effects of deer antler velvet as a nutraceutical ingredient, including nephrotoxicity or hepatotoxicity, were found in studies. This confirms that deer antler velvet is safe for use and in combination with other supplements and pharmaceuticals.

Table 5 – Comparative microbiological indicators of Deer antlers

Name of indicators	Red Deer (Cervus elaphus)	Antler products [18]
QMAFAnM, CFU/g	5*10 ²	40
Coliforms (coliforms) in 1.0 cm ³ of product	Not found	Not allowed
Sulfite-reducing clostridia, CFU/g	Not found	Not allowed
S.aureus, CFU/g	Not found	Not allowed
Yeasts, CFU/g	Not found	<10
Pathogens, including Salmonella in 25 cm ³ (g) of product	Not found	Not found

In the study of deer antler extracts [18, p. 62], mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms were found to be 40 CFU in 1 g of product; coliforms, mesophilic sulphite-reducing clostridia, yeasts, pathogens including Salmonella, S. aureus, E. coli, and mold were also not detected, consistent with our findings.

The results of experimental studies by both domestic and foreign scientists have established that biologically active substances contained in antler raw materials are non-toxic, have gonadotropic, hypotensive, monostimulating, lipotropic, adsorbing, reparative and antimutagenic effects.

Similar data from international researchers confirm the validity of our research actions. We will continue our research to determine the amino acid profile, fatty acid composition, hormone content, enzymes, and other biologically active substances in the blood and antlers of red deer, which positively impact health, have preventive effects, prevent the development of certain diseases, and extend life.

Conclusion

The data obtained on red deer antlers confirm their safety and suitability for therapeutic procedures. Antlers are promising for the development of dietary supplements or as a component for fortifying food products. The unique compounds that make this dynamic process possible are part of what makes deer antler velvet a valuable ingredient in human nutraceuticals. The shape, size of the horn and the number of shoots is important indicators of the quality of the antlers. Further research into the nutrient composition of red deer blood and antlers, depending on season and age, is needed to scientifically substantiate the list of positive benefits presented in the market and in many literature sources. It is also necessary to study the composition of the blood of domestic marals, which is used to prepare tinctures in medical and preventive institutions. The blood of antler deer contains various biologically active substances, enzymes, hormones, proteins, phosphatides, vitamins, and mineral salts. The morphobiological composition of blood in the seasonal and age aspects of marals and sika deer is of no small importance for assessing the effect of these preparations.

REFERENCES

- 1 Wang, D., Berg, D., Ba, H., Sun, H., Wang, Z., & Li, C. (2019). Deer antler stem cells are a novel type of cells that sustain full regeneration of a mammalian organ—deer antler. *Cell Death & Disease*, 10(6), 443.
- 2 Yao, B., Zhang, M., Liu, M., Lu, B., Leng, X., Hu, Y., ... & Zhao, Y. U. (2019). Identification of the miRNA-mRNA regulatory network of antler growth centers. *Journal of biosciences*, 44, P. 1–9.
- 3 Deer antler velvet overview. Deer antler velvet [Electronic resource]. – [www: https://deerantlervelvet.com/deer-antler-velvet-overview](http://www.deerantlervelvet.com/deer-antler-velvet-overview). (Access date 07/10/2024).
- 4 Wu, F., Li, H., Jin, L., Li, X., Ma, Y., You, J., ... & Xu, Y. (2013). Deer antler base as a traditional Chinese medicine: a review of its traditional uses, chemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(2), P. 403–415.
- 5 Flinn, E., Pierce, R. A., & Sumners, J. (2022). Antler development in white-tailed deer: implications for management.
- 6 Dharmananda, S. (2005). Deer antler to Nourish Blood, Bone, and Joints. ITM.
- 7 Jiang, C., Jin, Y., Zhao, X., Yuan, Y., Zhao, Y., & Huang, L. (2018). Rapid and robust authentication of deer antler velvet product by fast PCR-RFLP analysis. *Mitochondrial DNA Part A*, 29(2), P. 266–272.
- 8 Sui, Z., Zhang, L., Huo, Y., & Zhang, Y. (2014). Bioactive components of velvet antlers and their pharmacological properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 87, P. 229–240.
- 9 Deer Velvet Made by nature, supported by science. Technical manual. Version 6.3. Deer Products. Deer Industry New Zeland 2001-2009. P. 104.
- 10 Xie, W. Q., Zhao, Y. J., Li, F., Shu, B., Lin, S. R., Sun, L., ... & Zheng, H. X. (2019). Velvet antler polypeptide partially rescue facet joint osteoarthritis-like phenotype in adult β -catenin conditional activation mice. *BMC complementary and alternative medicine*, 19, P. 1–8.

- 11 Jiang C, Jin Y, Zhao X, Yuan U, Zhao Y, Huang L. Rapid and robust authentication of deer antler velvet product by fast PCR-RFLP analysis. *Mitochondrial DNA A DNA Mapp Seq Anal*. 2018; 29 (2): P. 266-272.
- 12 Kim, H. Y., Seo, H. S., Seo, H. A., Doh, T. Y., Chang, G. T., Lee, J. Y., & Lee, S. H. (2024). Safety of deer antler extract in children: A 12-week randomized controlled clinical trial. *Medicine*, 103(18), e37970.
- 13 How do they make money on maral horns in Kazakhstan and how profitable is this business? *Forbes Kazakhstan*. [Electronic resource]. – [www. https://forbes.kz/news/newsid_294337](https://forbes.kz/news/newsid_294337) (Published 3 February 2023).
- 14 Borovaya N. Kazakh without antlers *Forbes Kazakhstan*. [Electronic resource].. – [www.https://forbes.kz/articles/kazah_bez_pantov_1527597645](https://forbes.kz/articles/kazah_bez_pantov_1527597645). (Published 30 May 2018).
- 15 Kuo, C. Y., Cheng, Y. T., Ho, S. T., Yu, C. C., & Chen, M. J. (2018). Comparison of anti-inflammatory effect and protein profile between the water extracts from Formosan sambar deer and red deer. *journal of food and drug analysis*, 26(4), P. 1275–1282.
- 16 Sunwoo H. H. et al. Chemical composition of antlers from wapiti (*Cervus elaphus*) // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1995. – T. 43. – №. 11. – C. 2846–2849.
- 17 Landete-Castillejos, T., Kierdorf, H., Gomez, S., Luna, S., García, A.J., Cappelli, J., ... & Kierdorf, U. (2019). Antlers-evolution, development, structure, composition, and biomechanics of an outstanding type of bone. *Bone*, 128, 115046.
- 18 Dorn, G. A., Ageenko, D. D., Cherentsova, G. G., Lapina, V. Y., Poznyakovsky, V. M., & Tokhiriyon, B. (2022). Deer Antler Extracts: Extraction Methods and Functional Properties. *Journal of Biochemical Technology*, 13(2-2022), P. 60–63.
- 19 Dorn G. A. et al. A review of antler supplements: Benefits, trends, and potential // *Journal of Biochemical Technology*. – 2022. – T. 13. – № 1. –2022. – C. 81–85.
- 20 Zhang, H., Wanwimolruk, S., Coville, P. F., Schofield, J. C., Williams, G., Haines, S. R., & Suttie, J. M. (2000). Toxicological evaluation of New Zealand deer velvet powder. Part I: acute and subchronic oral toxicity studies in rats. *Food and chemical toxicology*, 38(11), P. 985–990.

Received 11.09.24.

Received in revised form 24.01.25.

Accepted for publication 15.02.25.

***Ж. И. Сатаева¹, Е. Д. Жетимкаринов²**

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²«Пульс N» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Поступило в редакцию 11.09.24.

Поступило с исправлениями 24.01.25.

Принято в печать 15.02.25.

(CERVUS ELAPHUS) ИЗЮБР АСЫЛ ТҰҚЫМДЫ МАРАЛДЫҢ ПАНТАСЫН ЗЕРТТЕУ

Марал панталары дәрі-дәрмек алу үшін танылған шикізат және күшті профилактикалық, сауықтыру әсері бар әлемдегі жалғыз жануарлардан алынатын кешен екені белгілі. Ғалымдардың зерттеулері бұғы панттарынан пептидтер, липидтер, полисахаридтер, ақуыздар, нуклеотидтер, гликопротеидтер және микроэлементтер сияқты әртүрлі биологиялық белсенді қосылыстарды бөліп алды. Алайда, маралдың мүйіздерінің қоректік құрамы әлеуетті биобелсенді ресурс ретінде шектеулі назар аударады. Бұғылардың қан мен панталарының биобелсенділігін зерттеу оның функционалды тағамдар мен қоректік заттарда қолданылуын кеңейту үшін өте маңызды. Сондықтан адам денсаулығы үшін жаңа сапалы қауіпсіз өнімдерді әзірлеу үшін отандық маралдардың панталары мен бірегей қосылыстарын терең ғылыми зерттеуге назар аударған жөн.

Бұл мақалада Ақмола облысының Бурабайында мекендейтін марал пантасының химиялық құрамдастарын анықтау бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Сонымен, зерттелген панталарда ақуыздың (16,45 %), майдың (26,01 %), кальцийдің (3,55 мг/100 г), фосфордың (56,62 мг/100 г), В дәрумендерінің жсогары мөлшері табылды. Пантаның қауіпсіздігі пестицидтердің, радионуклеотидтердің, E.coli тобының бактерияларының, сульфитредуктивті клостридиялардың, Staphylococcus aureus, ашытқылардың және патогендердің болмауымен расталады.

Кілтті сөздер: марал, панта, қоректік заттар, дәрумендер, минералдар, тамақ қауіпсіздігі.

***Ж. И. Сатаева¹, Е. Д. Жетимкаринов²**

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²ТОО «Пульс N», Республика Казахстан, г. Астана

11.09.24 ж. баспаға түсті.

24.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАНТЫ БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (CERVUS ELAPHUS) ИЗЮБР

Известно, что панты маралов — это признанное сырье для получения лекарств и единственный в мире комплекс животного происхождения, обладающий мощным профилактическим, оздоравливающим действием. Исследования ученых выделили из пантов оленя различные биологически активные соединения, такие как пептиды, липиды, полисахариды, белки, нуклеотиды, гликопротеины и микроэлементы. Однако нутриентному составу бархатных рогов маралов уделяется лишь ограниченное внимание как потенциальному биоактивному ресурсу. Изучение биоактивности крови и пантов маралов имеет важное значение для расширения его применения в функциональных продуктах питания и нутрицевтиках. Поэтому стоит уделить внимание глубоким научным исследованиям уникальных соединений, рогов отечественных маралов для разработки новых качественных безопасных продуктов для здоровья людей.

В этой статье приведены результаты исследования по определению химических компонентов панты маралов, обитаемых в Боровом акмолинской области. Так, в исследуемых пантах были обнаружены высокое содержание белка (16,45%), жира (26,01%), кальция (3,55 мг/100 г), фосфора (56,62 мг/100 г), витамины группы В. Безопасность пантов подтверждена отсутствием пестицидов, радионуклеотидов, бактерий группы кишечных палочек, сульфитредуцирующих клостридий, Staphylococcus aureus, дрожжей и патогенных.

Ключевые слова: марал, панты, нутриенты, витамины, минералы, пищевая безопасность.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алтынова Асем Ериковна, «Металлургиялық инженерия» мамандығы бойынша докторант, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: aasemaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9276-4531>

Алтынова Асем Ериковна, докторант по специальности «Металлургическая инженерия», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: aasemaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9276-4531>

Altynova Assem Yerikovna, Doctoral student in the specialty «Metallurgical Engineering», Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic Of Kazakhstan, e-mail: aasemaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9276-4531>

Аукенова Бекзат Қабыкенқызы, PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: bekzat89a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

Аукенова Бекзат Қабыкенқызы, PhD, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: bekzat89a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

Aukenova Bekzat, PhD, D.Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: bekzat89a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

Абдулина Сауле Амангельдыевна, PhD, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, <https://orcid.org/0000-0001-6328-8652>

Абдулина Сауле Амангельдыевна, PhD, ассоц. профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, <https://orcid.org/0000-0001-6328-8652>

Abdulina Saule Amangeldyevna, PhD, Associate Professor, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0001-6328-8652>

Абілберікова Айгерім Аманқосқызы, «Қара және түсті металдар металлургиясы» ББ бойынша докторант, «Металлургия және машина жасау» факультеті, Қарағанды индустриялық университет, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: abilberikova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

Абілберікова Айгерім Аманқосқызы, докторант ОП «Металлургия черных и цветных металлов», Факультет «Металлургия и машиностроения», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: abilberikova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

Abilberikova Aigerim Amankoskyzy, doctoral student of the EP «Metallurgy of ferrous and non-ferrous metals», Faculty of «Metallurgy and Mechanical Engineering», Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: abilberikova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

Абілқайыр Жасталап Наурызғали, PhD, қауымд. профессоры, Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: jastalap81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7568-1061>

Абілқайыр Жасталап Наурызғали, PhD, ассоц. профессор, Института Энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: jastalap81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7568-1061>

Abilkaiyr Zhastalap, PhD, Associate Professor Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbaev, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: jastalap81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7568-1061>

Адамова Гульден Хасеновна, «Металлургия» мамандығы бойынша докторант, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: guldenaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6933-6571>

Адамова Гульден Хасеновна, докторант по специальности «Металлургия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: guldenaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6933-6571>

Adamova Gulden, PhD student in Metallurgy, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: guldenaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6933-6571>

Адылканова Меруерт Адылканқызы, PhD, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: milka160281@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-116X>

Адылканова Меруерт Адылканқызы, PhD, ассоц. профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: milka160281@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-116X>

Adylkanova Meruert Adylkankyz, PhD, associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: milka160281@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-116X>

Аймұқанов Дамир Сапарғалиұлы, «Көлік, көліктехникасы және технологиясы» мамандығы бойынша докторанты, Көлік-жол факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалы куниверситеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ads-pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8816-9760>

Аймуханов Дамир Сапарғалиевич, докторант по специальности «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: ads-pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8816-9760>

Aimukhanov Damir Sapargalievich, Doctoral student in the specialty «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Road Engineering, Company Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ads-pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8816-9760>

Акбердин Александр Абдуллаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Борзертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: Akberdon_38@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2562-1132>

Акбердин Александр Абдуллаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Бор Химико-металлургического института имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: Akberdon_38@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2562-1132>

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, <https://orcid.org/0000-0002-2562-1132>

Алипбаев Жасулан Ратканұлы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8044-8846>

Алипбаев Жасулан Ратканович, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8044-8846>

Alipbayev Zhasulan Ratkanovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8044-8846>

Алипбаев Жусулан Ратканович, техника ғылыми кандидаты, «Көлік инженериясы» кафедрасының доцент м.а, Көлік және энергетика факультеті, Еуразиялық ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Alipbayev_zr@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Алипбаев Жасулан Ратканович, кандидат технических наук, и.о. доцент кафедры «Транспортная инженерия», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Alipbayev_zr@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Alipbayev Zhasulan Ratkanovich, Acting associate professor of «Transport engeneering» department, Faculty of Transport and energy, Eurasian national university named after Gumilyov, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Alipbayev_zr@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Алмағамбетов Марал Сарсенбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, пи рометаллургия менеджері, «ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: iic-aktobe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

Алмағамбетов Марал Сарсенбаевич, кандидат технических наук, менеджер по пи рометаллургии, ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: iic-aktobe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

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, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

Арбуз Александр Сергеевич, PhD, зерттеу инфрақұрылымының үйлестірушісі, Назарбаев университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: arbuz.alexandr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2081-0612>

Арбуз Александр Сергеевич, PhD, Координатор исследовательской инфраструктуры, Назарбаев университет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: arbuz.alexandr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2081-0612>

Arbuz Alexander Sergeevich, PhD, Coordinator of Research Infrastructure, Nazarbayev University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: arbuz.alexandr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2081-0612>

Аринова Сания Каскатаевна, PhD, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: sanya_kazah@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1977-8157>

Абишев Кайратолла Кайроллинович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Қазақстан Ғылым және технологиялар институты» ЖШС, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.kairatolla@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

Әбдірашит Асылбек Мирамханұлы, PhD, оқытушы, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdirashit.assylbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0718-3041>

Байбеков Шыңғыс Сейітмұратұлы, «Металлургия» мамандығы бойынша докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Машинажасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0736-9421>

Аринова Сания Каскатаевна, PhD, факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: sanya_kazah@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1977-8157>

Абишев Кайратолла Кайроллинович, кандидат технических наук, профессор, ТОО «Казахстанский институт науки и технологий», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: a.kairatolla@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

Әбдірашит Асылбек Мирамханұлы, PhD, преподаватель, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актобинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: abdirashit.assylbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0718-3041>

Байбеков Шыңғыс Сейітмұратұлы, докторант по специальности «Металлургия», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0736-9421>

Arinova Sania Kaskataevna, PhD., Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkaas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: sanya_kazah@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1977-8157>

Abishev Kairatolla Kairollinovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Kazakhstan Institute of Science and Technology LLP, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.kairatolla@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

Abdirashit Assylbek Miramkhamuly, PhD, Lecturer of the Department of Metallurgy and Mining, K. Zhubanov, Aktobe regional university, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: abdirashit.assylbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0718-3041>

Baibekov Shynggys Seiitmuratuly, doctoral student in «Metallurgy», Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0736-9421>

Байгереев Самат Ракимғалиевич, философия докторы (PhD), қауымд. профессор, Халықаралық инженерия мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: samat.baigereyev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>

Байғужина Гүлсезим Нурлановна, «Көлік инженериясы» кафедрасының докторанты, Көлік және энергетика факультеті, Еуразиялық ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gul_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9181-9186>

Байғушкарлова Айнаш Базаркановна, аға оқытушы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ainashmereke@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8615-9025>

Байгереев Самат Ракимғалиевич, доктор философии (PhD), ассоц. профессор, Международная школа инженерии, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: samat.baigereyev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>

Байғужина Гүлсезим Нурлановна, докторант кафедры «Транспортная инженерия», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: gul_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9181-9186>

Байғушкарлова Айнаш Базаркановна, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика» Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ainashmereke@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8615-9025>

Baigereyev Samat Rakimgalievich, doctor of Philosophy (PhD), associate professor, International School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: samat.baigereyev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>

Baiguzhina Gulsezim Nurlanovna, Doctoral student of «Transport engineering» department, Faculty of Transport and energy, Eurasian national university named after Gumilyov, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gul_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9181-9186>

Baiguchkarova Ainach Bazarkanovna, Senior lecturer, Department of «Transport Engineering and Technology», Toraigrov University, Faculty of Engineering, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ainashmereke@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8615-9025>

Басқанбаева Динара Жұмабайқызы, PhD, қауымд. профессор, Технологиялық машиналар және жабдықтар кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Бәкібаев Әбдіғали Әбдімананұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, жетекші ғылыми қызметкер, Томск мемлекеттік университеті, Томск қ., 634050, Ресей Федерациясы, e-mail: bakibaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3335-3166>

Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы, докторант, Машина жасау кафедрасы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 5112431@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

Бензесик Казан, PhD, профессор, Стамбұл техникалық университеті, Стамбұл қ., 34467, Түркия, e-mail: kaganbenzesik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0996-5151>, +90-506-570-43-30

Басқанбаева Динара Джумабаевна, PhD, ассоц.профессор, кафедра технологических машин и оборудования, Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Бакибаев Абдигали Абдимананович, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Томский государственный университет, г. Томск, 634050, Российская Федерация, e-mail: bakibaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3335-3166>

Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы, докторант, кафедра «Машиностроение», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: 5112431@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3281>

Бензесик Казан, PhD, профессор, Стамбульский технический университет, г. Стамбул, 34467, Турция, e-mail: kaganbenzesik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0996-5151>

Baskanbayeva Dinara Dzhumabayeva, PhD, Associate Professor of the Department of Technological Machinery and Equipment Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Bakibaev Abdigali Abdimanapovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Leading Researcher, Tomsk State University, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: bakibaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3335-3166>

Bekmyrza Zhumash Aitzhanuly, Doctoral student, Department of Mechanical Engineering, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 5112431@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3281>

Kagan Benzesik, PhD, Professor, Istanbul Technical University, Istanbul, 34467, Turkey, e-mail: kaganbenzesik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0996-5151>

Берг Александра Сергеевна, PhD, оқытушы, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kibeko_1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

Берг Андрей Алексеевич, оқытушы, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 22526633@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

Болатова Айнаш Болатқызы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bolatova_ainash@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8488-8155>

Берг Александра Сергеевна, PhD, преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: kibeko_1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

Берг Андрей Алексеевич, преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: 22526633@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

Болатова Айнаш Болатова, кандидат технических наук, ст.преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: bolatova_ainash@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8488-8155>

Berg Alexandra Sergeevna, PhD, Lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kibeko_1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

Berg Andrey Alekseevich, Lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 22526633@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

Bolatova Ainash, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bolatova_ainash@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8488-8155>

Бузауова Тоты Мейрбековна, профессор м.а., техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: toty_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

Букаева Амина Захаровна, қауымд. профессор м.а., Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

Булкбаева Гүлмира Жайбергеновна, қауымд. профессор м.а., Есенов университеті, Инжиниринг факультеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulmira.bulekbayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8467-0057>

Балтабекова Алмагуль Нурлыбековна, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» мамандығының докторанты, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: almagul_bn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0603-2463>

Бузауова Тоты Мейрбековна, И.о. профессора, кандидат технических наук, ассоц профессор, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: toty_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

Букаева Амина Захаровна, и.о. ассоц. профессора, Есенов университет, факультет Инжиниринга, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

Булкбаева Гүлмира Жайбергеновна, и. о. ассоц. профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: gulmira.bulekbayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8467-0057>

Балтабекова Алмагуль Нурлыбековна, докторант специальности «Транспорт, транспортная техника и технологии», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: almagul_bn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0603-2463>

Buzaouova Toty Meirbekovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: toty_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

Bukayeva Amina Zakharovna, Acting associate professor, Yessenov University, Faculty of Engineering, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, amina.bukayeva@yu.edu.kz <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

Bulekbayeva Gulmira Zhaibergenovna, Acting associate professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulmira.bulekbayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8467-0057>

Baltabekova Almagul Nurlybekovna, Doctoral student of the specialty Transport, transport equipment and technologies, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: almagul_bn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0603-2463>

Бухнер Петр, PhD, «Көлік техникасы» кафедрасы, Прагадағы Чехия техникалық университеті, Прага қ., 11000, Чехия Республикасы, e-mail: bouchner@lss.fd.cvut.cz, <https://orcid.org/0000-0002-8308-1656>

Васильков Дмитрий Сергеевич, жоғары кәсіптік білім берудің федералды мемлекеттік бюджеттік білім беру мекемесінің «Жол құрылыс машиналары» факультетінің аспиранты, Мәскеу автомобиль - жол мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу қ., 125319, Ресей Федерациясы, e-mail: dima.1206.vasan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5317-2503>

Гурьянов Георгий Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық инженерия мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: gguryanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3657-3735>

Бухнер Петр, PhD, кафедра «Транспортные средства», Чешский технический университет в Праге, г. Прага, 11000, Чешская Республика, e-mail: bouchner@lss.fd.cvut.cz, <https://orcid.org/0000-0002-8308-1656>

Васильков Дмитрий Сергеевич, аспирант факультета «Дорожно-строительные машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, 125319, Российская Федерация, e-mail: dima.1206.vasan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5317-2503>

Гурьянов Георгий Александрович, кандидат технических наук, профессор, Международная школа инженерии, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: gguryanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3657-3735>

Bouchner Petr, PhD, Professor, Department of Vehicles, Czech Technical University in Prague, Prague, 11000, Czech Republic, e-mail: bouchner@lss.fd.cvut.cz, <https://orcid.org/0000-0002-8308-1656>

Vasilkov Dmitry, postgraduate student, Faculty «road construction machines», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: dima.1206.vasan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5317-2503>

Guryanov Georgiy Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, professor of the International School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gguryanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3657-3735>

Ғабдолла Жалғас Жанболатұлы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасының оқытуша-ассистенті, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhalgas-zhandos@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0582-145X>

Ғабдолла Жалғас Жанболатұлы, ассистент-преподаватель кафедры «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhalgas-zhandos@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0582-145X>

Gabdolla Zhalgas Zhanbolatuly, Teaching assistant, Department of «Transport Engineering and Technology», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhalgas-zhandos@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0582-145X>

Дудкин Михаил Васильевич, техника ғылымдарының докторы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: MDudkin@ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

Дудкин Михаил Васильевич, доктор технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: MDudkin@ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

Dudkin Mikhail, Doctor of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: MDudkin@ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

Дүйсенбекова Оразкуль Оспановна, ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, А. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Roza.307@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6039-5173>

Дүйсенбекова Оразкуль Оспановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоц. профессор, Института Энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Roza.307@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6039-5173>

Duisenbekova Orazkul, Candidate of Agricultural Sciences, A. Burkitbaev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Roza.307@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6039-5173>

Дүйсенғали Ақбота Мұхтарқызы, «Аддитивтік өндіріс» мамандығы бойынша докторант, «Машинажасау» кафедрасы, Сәтбаев университеті, г. Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: Akaeva_akbota@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9476-237X>

Дүйсенғали Ақбота Мұхтарқызы, докторант по специальности «Аддитивное производство», кафедра «Машиностроения», Сәтбаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: Akaeva_akbota@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9476-237X>

Duisengali Akbota, Doctoral Student in «Additive manufacturing», Department of Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: Akaeva_akbota@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9476-237X>

Егімбаев Ерік Сейітқалиұлы, «Органикалық заттардың химиялық технологиясы» мамандығы бойынша магистрант, Торайғыров университеті, Химия және химиялық технологиялар факультеті, г. Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: erik_2pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5756-4899>

Егімбаев Ерик Сейітқалиевич, магистрант по специальности «Химическая технология органических веществ», Факультет химии и химических технологий, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: erik_2pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5756-4899>

Yegimbayev Yerik Seitkalievich, Master's student in the specialty «Chemical technology of organic substances», Faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: erik_2pav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5756-4899>

Елемесов Қасым Көптілеуұлы, техника ғылымының кандидаты, профессор, Энергетика және машина жасау институтының директоры, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Елемесов Касым Көптілеуевич, кандидат технических наук, профессор, директор Института энергетики и машиностроения, Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Yelemessov Kassym Koptleuevich, Candidate of Technical Sciences, professor, Director of the Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Ергешев Абдулкарим Анварович, магистрант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, 010027, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdulkarim.yergeshev@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9005-2309>

Ергешев Абдулкарим Анварович, магистрант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, 010027, Республика Казахстан, e-mail: abdulkarim.yergeshev@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9005-2309>

Yergeshsev Abdulkarim Anvarovich, Master's student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 010027, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdulkarim.yergeshev@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9005-2309>

Еремеев Дмитрий Николаевич, техника ғылымдарының кандидаты, техникалық жетекші, «ASCOR» өндірістік бірлестігі ЖШС, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: eremeev-kaz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0227-0028>

Ерік Әлішер Қайратұлы, «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» мамандығы бойынша магистрант, Технологіялық машиналар және жабдықтар кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: alisheryerik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0802-8470>

Есенғалиев Даурен Амангельдиевич, PhD, доцент, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dauralga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0792-0822>

Жаксалыков Куаныш Назмиденович, аға оқытушы, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: k.zhaxalykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1659-6051>

Еремеев Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, технический руководитель, ТОО «Производственное объединение «ASCOR», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: eremeev-kaz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0227-0028>

Ерік Әлішер Қайратұлы, магистрант по специальности «Цифровая инженерия машин и оборудования», кафедра Технологических машин и оборудования, Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: alisheryerik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0802-8470>

Есенғалиев Даурен Амангельдиевич, PhD, доцент, Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: dauralga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0792-0822>

Жаксалыков Куаныш Назмиденович, ст. преподаватель, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: k.zhaxalykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1659-6051>

Yeremeev Dmitry Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Technical Director, «ASCOR Production Association» LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: eremeev-kaz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0227-0028>

Yerik Alisher Kairatuly, Master's degree in «Digital engineering of machinery and equipment», Department of Technological Machinery and Equipment, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: alisheryerik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0802-8470>

Yessengaliyev Dauren Amangeldievich, PhD, Associate Professor Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: dauralga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0792-0822>

Zhaxalykov Kuanysh Nazhmidenovich, Senior Lecturer, Faculty of Natural Sciences, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan. e-mail: k.zhaxalykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1659-6051>

Жақан Армат Медетұлы, техника ғылымдарының магистрі, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: armat.01.01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

Жаманбаев Бауыржан Уалиханұлы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhaman78@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9027-9540>

Жандарбекова Асель Мерғазиновна, аға оқытушы, техника ғылымдарының кандидаты, техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4905-4005>

Жақан Армат Медетұлы, магистр технических наук, младший научный сотрудник лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: armat.01.01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

Жаманбаев Бауыржан Уалиханович, кандидат технических наук, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhaman78@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9027-9540>

Жандарбекова Асель Мерғазиновна, ст. преподаватель, кандидат технических наук, Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4905-4005>

Zhakan Armat Medetuly, Master of Technical Sciences, Junior researcher at the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: armat.01.01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

Zhamanbayev Bauyrzhan Ualichanovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhaman78@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9027-9540>

Zhandarbekova Asel Mergazinovna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4905-4005>

Жаркевич Ольга Михайловна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машина жасау факультеті Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: zharkevich82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

Жетимкаринов Ерлан Даулетханович, директор, «Pulse N» ЖШС, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: Erlan1266@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2794-9982X>

Жолдубаева Жумагуль Дюсенбаевна, PhD, доцент, Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Машинажасау факультеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhuma-77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5664-249X>

Жумағалиев Ерлан Уланович, техника ғылымдарының кандидаты, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: erlan_zhumagaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Жаркевич Ольга Михайловна, кандидат технических наук, профессор, Машиностроительный факультет Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: zharkevich82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

Жетимкаринов Ерлан Даулетханович, директор, ТОО «Пульс N», г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: Erlan1266@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2794-9982X>

Жолдубаева Жумагуль Дюсенбаевна, PhD, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Факультет машиностроения, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: zhuma-77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5664-249X>

Жумағалиев Ерлан Уланович, кандидат технических наук, заведующий кафедры «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: erlan_zhumagaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Zharkevich Olga Mikhailovna, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Mechanical Engineering Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: zharkevich82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

Zhetimkarinov Erlan Dauletchanovich, Director, «Pulse N» LLP, Astana, 0100017, Republic of Kazakhstan, e-mail: Erlan1266@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2794-9982X>

Zholdubaeva Zhumagul Diusenbaevna, PhD, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhuma-77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5664-249X>

Zhumagaliev Yerlan Ulanovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: erlan_zhumagaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Забиева Алия Батырбековна, техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік инженериясы» кафедрасының доцент м.а, Көлік және энергетика факультеті, Еуразиялық ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Zabiyeva_ab@enu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-8089-3693>

Ильясов Есжан Сейтұлы, «Машина жасау өндірісін цифрландыру» мамандығы бойынша докторант, «Машинажасау» кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: yeszhan.ilyassov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2375-2617>

Исаметова Мадина Есдаулетовна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Көлік инженериясы» бағыты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: isametova69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

Искакова Динара Алтынбековна, «Машина жасау» мамандығы бойынша докторант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: iskakovada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-4818>

Забиева Алия Батырбековна, Кандидат технических наук и.о доцент кафедры «Транспортная инженерия», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Zabiyeva_ab@enu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-8089-3693>

Ильясов Есжан Сейтұлы, докторант по специальности «Цифровизация машиностроительного производства», кафедра «Машиностроения», Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Республика Казахстан, e-mail: yeszhan.ilyassov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2375-2617>

Исаметова Мадина Есдаулетовна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, направление «Транспортная инженерия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 050013, Республика Казахстан, e-mail: isametova69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

Искакова Динара Алтынбековна, докторант по специальности «Машиностроение», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: iskakovada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-4818>

Zabiyeva Aliya Batyrbekovna, Acting associate professor of «Transport engeneering» department, Faculty of Transport and energy, Eurasian national university named after Gumilyov, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Zabiyeva_ab@enu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-8089-3693>

Yeszhan Ilyassov, Doctoral student in «Digitalization of machine-building production», Department of Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: yeszhan.ilyassov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2375-2617>

Madina Isametova, Candidate of technical sciences, associate professor, Transportation Engineering Directions, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: isametova69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

Iskakova Dinara Altynbekovna, PhD student in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: iskakovada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-4818>

Итыбаева Галия Тулеубаевна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд.профессор (доцент), Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galia-itibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6385-8627>

Итыбаева Галия Тулеубаевна, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: galia-itibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6385-8627>

Itymbayeva Galiya Tuleubayevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: galia-itibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6385-8627>

Кабылканов Султан Кайырбекович, Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан техникалық университетінің 8D07202–Металлургиябілім бағдарламасы бойынша 2-ші курс докторанты, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: kabyl_96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-2065>

Кабылканов Султан Кайырбекович, докторант 2 курса по образовательной программе 8D07202-Металлургия, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, младший научный сотрудник лаборатории «ферросплавы и восстановительные процессы», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: kabyl_96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-2065>

Kabylkanov Sultan Kaiyrbekovich, 2nd year doctoral student in the educational program 8D07202-Metallurgy, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Junior researcher at the laboratory «Ferroalloys and reduction processes», Chemical and Metallurgical Institute named after J. Abishev, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabyl_96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-2065>

Камзанов Нурбол Садыканович, PhD, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.kamzanov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>

Камзанов Нурбол Садыканұлы, PhD, Satbayev University, 050013, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: n.kamzanov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>

Kamzanov Nurbol, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.kamzanov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>

Камышева Наталья Алексеевна, аға оқытушы, техника ғылымдарының магистрі, М. Дулатұлы, Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nata00000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

Камышева Наталья Алексеевна, ст. преподаватель, магистр технических наук, Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: nata00000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

Kamysheva Natalya Alekseevna, Senior Lecturer, Master of Engineering Science, Kostanay engineering and economics university named after M. Dulatov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nata00000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

Карнов Александр Павлович, PhD, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, e-mail: sasha_karpov_7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>

Карнов Александр Павлович, PhD, Международный транспортно-гуманитарный университет, г. Алматы, 050063, Республика Казахстан, e-mail: sasha_karpov_7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>

Karpov Alexander, PhD, International university of transport and humanities, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan, e-mail: sasha_karpov_7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>

Касенов Асылбек Жумабекович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

Касенов Асылбек Жумабекович, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

Kassenov Assylbek Zhumabekovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Toraighyrov University, Faculty of Engineering, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

Касымжанова Куралай Советовна, техника ғылымдарының кандидаты, Жол қозғалысы мен тасымалдауды ұйымдастыру, көлікті пайдалану және кәсіптік оқыту кафедрасы, Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kasymzhanovak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-8951>

Касымжанова Куралай Советовна, кандидат технических наук, кафедра Организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта и профессионального обучения, Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан, e-mail: kasymzhanovak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-8951>

Kuralay Sovetovna Kassymzhanova, Candidate of Technical Sciences, Department of Organization of transportation, movement and operation of transport and vocational training, Abai Myrzakhmetov Kokshetau University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kasymzhanovak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-8951>

Касымова Динара Бекжановна, докторант, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinara_kassymova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0937-8477>

Касымова Динара Бекжановна, докторант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: dinara_kassymova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0937-8477>

Kassymova Dinara Bekzhanovna, Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinara_kassymova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0937-8477>

Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kelamanov-b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7646-9153>

Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы, кандидат технических наук, профессор, Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актөбе қ., 030000, Республика Казахстан, e-mail: kelamanov-b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7646-9153>

Bauyrzhan Satybaldyuly Kelamanov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: kelamanov-b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7646-9153>

Ким Александр Сергеевич, техника ғылымдарының докторы, Борзертханасының бас ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: boron_213@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0772-1268>

Ким Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лабораторией Бор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: boron_213@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0772-1268>

Kim Aleksandr, doctor of technical sciences, Chief Researcher of laboratory, Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-0772-1268>, boron_213@mail.ru, 87014214751

Ковалев Павел Валерьевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЗУ Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, Машина жасау, материалдар және көлік институты, Санкт-Петербург қ., 188544, Ресей Федерациясы, e-mail: kovalev_pv@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

Ковалев Павел Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, НИУ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, г. Санкт-Петербург, 188544, Российская Федерация, e-mail: kovalev_pv@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

Kovalev Pavel Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NRU Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport, St. Petersburg, 188544, Russian Federation, e-mail: kovalev_pv@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

Кузьминова Надежда Юрьевна, аға оқытушы, металл қалыптау кафедрасы, Қарағанды индустриалық университеті, 101400, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ., e-mail: n.kuzminova@tttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1705-0405>

Кузьминова Надежда Юрьевна, ст.преподаватель, кафедр «Обработка металлов давлением», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: n.kuzminova@tttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1705-0405>

Kuzminova Nadezhda Yuryevna, Senior Lecturer, Department of Metal Forming, Karaganda Industrial University, 101400, Republic of Kazakhstan, Temirtau, e-mail: n.kuzminova@tttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1705-0405>

Куленова Наталья Анатольевна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: 3007kulenova53@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7063-4899>

Куленова Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: 3007kulenova53@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7063-4899>

Kulenova Natalya Anatolievna, Candidate of Technical Sciences Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: 3007kulenova53@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7063-4899>

Куликов Виталий Юрьевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машинажасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: mlpikm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

Куликов Виталий Юрьевич, кандидат технических наук, профессор, Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: mlpikm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

Kulikov Vitalii Iurevich, Candidate of technical sciences, professor, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: mlpikm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

Кулмурзина Алуа Амангельдиевна, аға ғылыми қызметкер, «Universal tech decisions» ЖШС, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: office@utd.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5549-8446>

Кулмурзина Алуа Амангельдиевна, старший научный сотрудник, «Universal tech decisions» ТОО, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: office@utd.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5549-8446>

Kulmurzina Alua Amangeldiyevna, Senior Researcher, «Universal tech decisions» LLP, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: office@utd.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5549-8446>

Қадыров Әділ Суратұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Көлік техникасы және логистика жүйелері» кафедрасы, Көлік-жол факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, <https://orcid.org/0000-0001-7071-2300>

Кадыров Адиль Суратович, доктор технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, <https://orcid.org/0000-0001-7071-2300>

Kadyrov Adil Suratovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Transport Engineering and Logistics Systems», Faculty of Transport and Road Engineering, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0001-7071-2300>

Қаражанов Абдиқарим Алмаханұлы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akarazhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Каражанов Абдиқарим Алмаханович, кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akarazhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Karazhanov Abdikarim Almachanovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akarazhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1163-8929>

Қуанов Иса Серікұлы, «Механика және металлөңдеу» мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: isa_kuan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9827-5728>

Куанов Иса Серикович, докторант по специальности «Механика и металлообработка», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: isa_kuan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9827-5728>

Kuanov Isa, Doctoral student in the specialty «Mechanics and metalworking», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: isa_kuan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9827-5728>

Қуатбай Ербол Қуатбайұлы, PhD, доцент, «Металлургия және машина жасау» факультеті, Қарағанды индустриялық университет, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: kazakh_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8400-3537>

Қуатбай Ербол Қуатбайұлы, PhD, доцент, Факультет «Металлургия и машиностроения», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: kazakh_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8400-3537>

Kuatbay Yerbol Kuatbayuly, PhD, Associate Professor, Faculty of «Metallurgy and Mechanical Engineering», Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: kazakh_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8400-3537>

Құрманов Аяп Конлямжасайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kurmanov_ayap@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8147-5431>

Курманов Аяп Конлямжасевич, доктор технических наук, профессор, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: kurmanov_ayap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3281>

Kurmanov Ayap Konlyamzhayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kurmanov_ayap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3281>

Луб Татьяна Леонидовна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9861-7321>

Луб Татьяна Леонидовна, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9861-7321>

Lub Tatyana Leonidovna, Master of Technical Sciences, Senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9861-7321>

Лукаш Варгула, PhD, профессор, Машина жасау факультеті, Познань политехникалық университеті, Познань қ., Польша Республикасы, e-mail: lukasz.wargula@put.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3120-778X>

Лукаш Варгула, PhD, профессор, Факультет машиностроения, Познаньский политехнический университет, г. Познань, Республика Польша, e-mail: lukasz.wargula@put.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3120-778X>

Lukasz Wargula, PhD, Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Poznan Polytechnic University, Poznan, Poland, e-mail: lukasz.wargula@put.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3120-778X>

Лутченко Никита Александрович, магистр, Ғылыми қызметкер, Назарбаев Университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nikita.lutchenko@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0283-4642>

Лутченко Никита Александрович, магистр, Научный сотрудник, Назарбаев университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: nikita.lutchenko@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0283-4642>

Lutchenko Nikita Alexandrovich, Master, Researcher, Nazarbayev University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nikita.lutchenko@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0283-4642>

Мадиярова Альмира Саурбаевна, қауымд. профессор м.а., Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: almira.madiyarova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2236-4038>

Майлыбаев Ерсайын Курманбаевич, PhD, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, e-mail: ersind@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>

Мамбеталиева Гулсара Сапиевна, профессор ассистенті, Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulsara.mambetaliyeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0390-1886>

Манкешева Олимпиада Таукеевна, 8D07111 - «Машина жасау өндірісін цифрландыру» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, А. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mankesheva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3506-6264>

Мадиярова Альмира Саурбаевна, и.о. ассоц. профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: almira.madiyarova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2236-4038>

Майлыбаев Ерсайын Күрманбайұлы, PhD, Международной транспортно-гуманитарный университет, 050063, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: ersind@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>

Мамбеталиева Гулсара Сапиевна, ассистент профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: gulsara.mambetaliyeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0390-1886>

Манкешева Олимпиада Таукеевна, докторант по образовательной программе: 8D07111 - «Цифровизация машиностроительного производства», Институт Энергетики и машиностроения имени А. Бүркітбаева, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: mankesheva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3506-6264>

Madiyarova Almira Saurbayevna, Acting associate professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: almira.madiyarova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2236-4038>

Mailybayev Yersaiyn, PhD, International university of transport and humanities, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan, e-mail: ersind@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>

Mambetaliyeva Gulsara Sapiyevna, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulsara.mambetaliyeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0390-1886>

Mankesheva Olimpiada, Doctoral Student in the educational program: 8D07111 - «Digitalization of machine-building production», A. Burkitbaev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mankesheva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3506-6264>

Масақбаева Софья Русланқызы, химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия және химиялық технологиялар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы, «Металлургия» мамандығы бойынша PhD, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: makhambetovyerbolat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

Мендалиева Сауле Илинчна, техника ғылымдары кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: saule-decanuf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4819-8656>

Масакбаева Софья Руслановна, кандидат химических наук, доцент, Факультет химии и химических технологий, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы, PhD по специальности «Металлургия», заведующий лабораторией «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: makhambetovyerbolat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

Мендалиева Сауле Илинчна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: saule-decanuf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4819-8656>

Massakbayeva Sofya Ruslanovna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Makhambetov Yerbolat Nysanallyuly, PhD in the specialty – «Metallurgy», Head of the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: makhambetovyerbolat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

Mendaliyeva Saule Ilinichna, 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, <https://orcid.org/0000-0002-4819-8656>

Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна, техника ғылымдарының кандидаты, менеджмент мектебінің қауымд. профессоры, БҰ Алматы менеджмент университеті, Алматы қ., 50060, Қазақстан Республикасы, e-mail: mkaken@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4906-8976>

Мусина Жанара Керейовна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2233-4947>

Мухаметжанова Айжан Весмовна, техникалық ғылымдар докторы, профессор міндетін атқарушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mukhametzhanova.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3577-3831>

Мухитова Аделия Ержановна, 8D07101 Машина жасау білім беру бағдарламасы бойынша докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: adeliamukusheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5703-4737>

Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Школа менеджмента, УО Алматы менеджмент университет г. Алматы, 50060, Республика Казахстан, e-mail: mkaken@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4906-8976>

Мусина Жанара Керейовна, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2233-4947>

Мухаметжанова Айжан Весмовна, доктор технических наук, и.о. профессора, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mukhametzhanova.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3577-3831>

Мухитова Аделия Ержановна, докторант по образовательной программе 8D07101 Машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: adeliamukusheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5703-4737>

Murzabekova Kenzhegul Absultanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of Management, Almaty Management University, Almaty, 50060, Republic of Kazakhstan, e-mail: mkaken@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4906-8976>

Mussina Zhanara Kereyovna, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2233-4947>

Mukhametzhanova Aizhan Vesmovna, Doctor of Technical Sciences, acting professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mukhametzhanova.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3577-3831>

Mukhitova Adeliya Yerzhanovna, Doctoral student 8D07101 Mechanical Engineering, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: adeliamukusheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5703-4737>

Молдаханов Бекболат Аскерханович, PhD, «Европлюс-Восток» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., 070016, e-mail: bek_m78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

Муканов Руслан Батырбекович, PhD, қауымд. профессор, А. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: ruslangr82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

Найзабеков Әбдірахман Батырбекұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Рудный индустриалдық университеті, Рудный қ., 111500, Қазақстан Республикасы, e-mail: naizabekov57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-3482>

Нурғали Нуржан Зұлхайнарович, техника ғылымдарының кандидаты, пирометаллургия менеджері, «ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.nurgali@yandex.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

Молдаханов Бекболат Аскерханович, PhD, ТОО «Европлюс-Восток», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, 070016, e-mail: bek_m78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

Муканов Руслан Батырбекович, PhD, ассоц. профессор, Институт энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева, Сатпаев университет, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: ruslangr82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

Найзабеков Абдрахман Батырбекович, д.т.н., профессор, Рудненский индустриальный университет, г. Рудный, 111500, Республика Казахстана, e-mail: naizabekov57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-3482>

Нурғали Нуржан Зұлхайнарович, кандидат технических наук, менеджер по пирометаллургии, ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: n.nurgali@yandex.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

Moldakhanov Bekbolat, PhD, LLP «Europlus-Vostok», Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 070016, e-mail: bek_m78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

Mukanov Ruslan Batyrbekovich, PhD, Associate Professor, A. Burkitbaev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: ruslangr82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

Naizabekov Abdrakhman Batyrbekovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rudny Industrial University, Rudny, 111500, Republic of Kazakhstan, e-mail: naizabekov57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-3482>

Nurgali Nurzhan Zulkhainarovich, Candidate of Technical Sciences, Pyrometallurgy Manager, ERG Scientific Research Engineering Center LLP, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.nurgali@yandex.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0477-7867>

Нуржанова Оксана Амангельдыевна, PhD, м.а. қауымд. профессор, Машина жасау факультеті Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

Оразов Ондсын Шортанбаевич, ғылым магистры, аға оқытушы, Жол қозғалысы мен тасымалдауды ұйымдастыру, көлікті пайдалану және кәсіптік оқыту кафедрасы, Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ondassyn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9327-6940>

Орлов Алексей Сергеевич, PhD, қауымд. профессор, Борзертханасының аға ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: wolftailer@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7563-357X>

Olegas Černašėjus, PhD, Гедимин атындағы Вильнюс техникалық университетінің профессоры, Вильнюс, Литва, e-mail: olegas.cernasejus@vilniustech.lt, <https://orcid.org/0000-0003-2196-6392>

Нуржанова Оксана Амангельдыевна, PhD, и.о. ассоц. профессор, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

Оразов Ондсын Шортанбаевич, магистр наук, ст. преподаватель, кафедра Организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта и профессионального обучения, Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан, e-mail: ondassyn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9327-6940>

Орлов Алексей Сергеевич, PhD, ассоц. профессор, ст. научный сотрудник лабораторией Бор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: wolftailer@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7563-357X>

Olegas Černašėjus, PhD, профессор Вильнюсского технического университета имени Гедимина, Вильнюс, Литва, e-mail: olegas.cernasejus@vilniustech.lt, <https://orcid.org/0000-0003-2196-6392>

Nurzhanova Oksana Amangeldyevna, PhD, Acting Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

Ondassyn Shortanbayevich Orazov, Master of Science, Senior Lecturer, Department of Organization of transportation, movement and operation of transport and vocational training, Abai Myrzakhmetov Kokshetau University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ondassyn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9327-6940>

Orlov Alexey, PhD, associate professor, Chief Researcher of laboratory, Institute of Metallurgy Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: wolftailer@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7563-357X>

Olegas Černašėjus, PhD, Professor, Gediminas Vilnius Technical University, Vilnius, Lithuania, e-mail: olegas.cernasejus@vilniustech.lt, <https://orcid.org/0000-0003-2196-6392>

Onuralp Yucel, PhD «Металлургия» мамандығы бойынша PhD, Стамбул техникалық университеті, Стамбул қ., Түркия, e-mail: yucel@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3879-0410>

Поветкин Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, Физикотехникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: vv1940_povetkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Попов Федор Евгеньевич, магистр, ғылыми қызметкер, Назарбаев университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: fedor.popov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1204-9982>

Ракишев Асет Кариғұлович, PhD, «Технологиялық жабдықтар, машинажасау және стандарттау» кафедрасы доценті м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, 010027, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.rakishev@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9535-4108>

Onuralp Yucel, PhD по специальности «Металлургия», Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция, e-mail: yucel@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3879-0410>

Поветкин Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, Физикотехнический факультет, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: vv1940_povetkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Попов Федор Евгеньевич, магистр, научный сотрудник, Назарбаев университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: fedor.popov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1204-9982>

Ракишев Асет Кариғұлович, PhD, и.о. доцента кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 010027, Республика Казахстан, e-mail: a.rakishev@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9535-4108>

Onuralp Yucel, PhD in «Metallurgy», Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, e-mail: yucel@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3879-0410>

Povetkin Vitaly Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: vv1940_povetkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Popov Fedor Evgenievich, Master, Researcher, Nazarbayev University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: fedor.popov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1204-9982>

Rakishev Asset, PhD, Acting Associate Professor of «Technological equipment, mechanical engineering and standardization», Abylqas Saginov Karaganda Technical University, 010027, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.rakishev@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9535-4108>

Рзаева Камар Сисеновна, профессор ассистенті Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Актау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6322-6598>

Сағатбекова Акерке Бакытжановна, «Көлік техникасы және технологиялары» кафедрасының аға оқытушы, Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ako.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Сағитов Алмат Ардакович, «Машина жасау» мамандығы бойынша PhD, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: almat1990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

Сапинов Руслан Викторович, PhD, қауымд. профессор, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806>

Рзаева Камар Сисеновна, ассистент профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6322-6598>

Сағатбекова Акерке Бакытжановна, ст. преподаватель кафедры «Транспортная техника и технологии», Технический факультет, Казахский агротехнический университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: ako.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Сағитов Алмат Ардакович, PhD по специальности «Машиностроение», Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: almat1990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

Сапинов Руслан Викторович, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806>

Rzayeva Kamar Sisenovna, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6322-6598>

Sagatbekova Akerke Bakytzhanovna, Tutor of «Transport technical and technology» department, Faculty of technical, Kazakh agrotechnical university, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ako.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Sagitov Almat Ardakovich, PhD in Mechanical Engineering, Faculty of Technology, S.Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: almat1990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

Sapinov Ruslan Viktorovich, PhD, Associate Professor, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806>

Сариев Отеген Рафхатович, 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: rafhatsson@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-848X>

Сарсенғалиева Гүлзада Қайратқызы, магистрант, машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, г. Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulzada0101@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8454-6948>

Сатаева Жұлдыз Исаковна, қауымд. профессордың міндетін атқарушы, Философия докторы (PhD), Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: julduz.kaynar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8327-3474>

Сәменов Ғалымжан Қайыржанұлы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0509-5864>

Сариев Отеген Рафхатович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: rafhatsson@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-848X>

Сарсенғалиева Гүлзада Қайратовна, магистрант, машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: gulzada0101@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8454-6948>

Сатаева Жұлдыз Исаковна, и.о. ассоц. профессора, доктор философии (PhD), Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: julduz.kaynar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8327-3474>

Саменов Ғалымжан Қайыржанович, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0509-5864>

Sariev Otegen Rafkatovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: rafhatsson@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-848X>

Sarsengaliyeva Gulzada Kairatqyzy, Master's student, Faculty of Mechanical Engineering, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulzada0101@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8454-6948>

Satayeva Zhuldyz Isakovna, Acting Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD), Technical Faculty, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: julduz.kaynar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8327-3474>

Samenov Galymzhan Kaiyrzhanovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Eurasian National University named after L. N. Gumilev, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sgk_08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0509-5864>

Сембаев Нұрболат Сәкенұлы, техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасының меңгерушісі, қауымдастырылған профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.sembaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3032-1094>

Суйеуова Набат Базархановна, профессор ассистенті, Инжиниринг факультеті, Есенев университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nabat.suyeuova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7554-3902>

Сулейменов Ансаган Дюсембаевич, философия докторы (PhD), қауымд. профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: Ansar_muslim_91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

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, <https://orcid.org/0000-0002-3928-486X>

Сембаев Нурбулат Сакенович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Транспортная техника и логистика», ассоц. профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: n.sembaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3032-1094>

Суйеуова Набат Базархановна, ассистент профессора, Факультет Инжиниринга, Есенев университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: nabat.suyeuova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7554-3902>

Сулейменов Ансаган Дюсембаевич, доктор философии (PhD), ассоц. профессор, Факультет Инженерии, Торайгыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: Ansar_muslim_91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

Султангазиев Руслан Бауыржанович, PhD, и.о. доцента кафедры НТМ, Карагандинский Технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: sulrus83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3928-486X>

Sembayev Nurbulat Sakenovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of «Transport Equipment and Technologies», Associate Professor, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.sembaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3032-1094>

Suyeuova Nabat Bazarkhanovna, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nabat.suyeuova@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7554-3902>

Suleimenov Ansagan Dyusembaevich, Doctor of Philosophy (PhD), associate professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: Ansar_muslim_91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

Sultangaziev Ruslan, PhD, Acting Associate Professor of the Department NTM, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: sulrus83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3928-486X>

Старостина Жанна Анатольевна, Жол-кұрылыс техника кафедрасы, Мәскеу автомобиль - жол мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу қ., 125319, Ресей Федерациясы, e-mail: janstarostina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3248-513X>

Саукенова Индира Қазбекқызы, аға оқытушы, Алматы Менеджмент университеті, Алматы қ., 050008, Қазақстан Республикасы, e-mail: indi_karmakwy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4834-1408>

Табылов Абзал Утеуович, қауымд. профессор м.а. Инжиниринг факультеті, Есенев университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-4054-4504>

Таскарина Айжан Жумажановна, Машина жасау саласындағы PhD, қауымд. профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140012, Қазақстан Республикасы, e-mail: aya_taskarina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

Старостина Жанна Анатольевна, кафедра дорожно-строительной техники, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Российская Федерация, г. Москва, 125319, e-mail: janstarostina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3248-513X>

Саукенова Индира Қазбекқызы, ст. преподаватель, Алматинский Университет Менеджмента, г. Алматы, 050008, Республика Казахстан, e-mail: indi_karmakwy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4834-1408>

Табылов Абзал Утеуович, и. о. ассоциированного профессора, факультет Инжиниринга, Есенев университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-4054-4504>

Таскарина Айжан Жумажановна, PhD, ассоц. профессор в области машиностроения, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140012. Республика Казахстан, e-mail: aya_taskarina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

Starostina Zhanna, Department of Road Construction Machinery, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. Moscow, Russian Federation, 125319, e-mail: janstarostina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3248-513X>

Saukenova Indira Kazbekkyzy, Senior Lecturer, Almaty Management University, Almaty, 050008 Republic of Kazakhstan, e-mail: indi_karmakwy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4834-1408>

Abzal Tabylov Uteuovich, Acting associate professor Yessenov University, Faculty of Engineering, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-4054-4504>

Taskarina Aizhan Zhumazhanovna, PhD, Associate Professor in the field of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140012, Republic of Kazakhstan, e-mail: aya_taskarina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

Татыбаев Мухтарбек Калмурзаевич, педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, А. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Mukhtar_t.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

Тойлыбаев Асылбек Ермаханович, профессор, «Автокөлік құралдары және тіршілік қауіпсіздігі» кафедрасы, М. Тынышбаев атындағы Көлік және логистика академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek.toylybaev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Тусупова Саягуль Оралқызы, PhD, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: suleeva.s@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8920-4901>

Тұрдалиев Әуезхан Тұрдалыұлы, ректор, техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, e-mail: sabila.zhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2697-1396>

Татыбаев Мухтарбек Калмурзаевич, кандидат педагогических наук, ассоц. профессор, Институт энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Mukhtar_t.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

Тойлыбаев Асылбек Ермаханович, профессор, кафедра «Автотранспортные средства и безопасность жизнедеятельности», Академия логистики и транспорта имени М. Тынышпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: asylbek.toylybaev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Тусупова Саягуль Ораловна, PhD, ст. преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: suleeva.s@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8920-4901>

Турдалиев Әуезхан Турдалиевич, ректор, доктор технических наук, профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, 050063, Республика Казахстан, e-mail: sabila.zhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2697-1396>

Tatybayev Mukhtarbek Kalmurzaevich, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, A. Burkitbaev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Mukhtar_t.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

Toilybayev Asylbek Ermahanovich, Professor of «Motor vehicles and life safety», Transport and logistic academy named after Tynyshpayev, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek.toylybaev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0311-1827>

Tussupova Sayagul Oralovna, PhD, senior lecturer, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: suleeva.s@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8920-4901>

Turdaliev Auezkhan, Rector, Doctor of Technical Sciences, Professor, International university of transport and humanities, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan, e-mail: sabila.zhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2697-1396>, 87751542577

Тұрсынбаева Арайлым Нұртасқызы, «Аддитивтік өндіріс» мамандығы бойынша докторант, «Машинажасау» кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurtassovna.iqo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0249-4991>

Увалиева Асем Болатовна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Алматы менеджмент университеті, Алматы қ., 050008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Uvalieva.asem@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-2563>

Үстемірова Райгүл Серікқызы, PhD, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, e-mail: raigul_1980@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2559-6899>

Чажабаета Маржан Маликовна, қауымд. профессор м.а. Есенов университеті, Инжиниринг факультеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marzhan.chazhabayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2676-2807>

Шарипова Айгерим Маратовна, педагогика ғылымдарының магистры, аға оқытушы, Жолқозғалысы мен тасымалдауды ұйымдастыру, көлікті пайдалану және кәсіптік

Тұрсынбаева Арайлым Нұртасқызы, докторант по специальности «Аддитивное производство», кафедра «Машиностроения», Сәтбаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: nurtassovna.iqo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0249-4991>

Увалиева Асем Болатовна, кандидат технических наук, доцент, Алматинский университет менеджмента, г. Алматы, 050008, Республика Казахстан, e-mail: Uvalieva.asem@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-2563>

Устемірова Райгүл Серіковна, PhD, Международной транспортно-гуманитарный университет, г. Алматы, 050063, Республика Казахстан, e-mail: raigul_1980@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2559-6899>

Чажабаета Маржан Маликовна, и.о. ассоц. профессора, Есенов университет, факультет Инжиниринга, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: marzhan.chazhabayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2676-2807>

Шарипова Айгерим Маратовна, магистр педагогических наук, ст. преподаватель, кафедра Организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта

Tursynbayeva Arailym Nurtassovna, Doctoral student in «Additive manufacturing», Department of Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurtassovna.iqo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0249-4991>

Uvaliyeva Assem Bolatovna, Candidate of technical sciences, associate professor, Almaty Management University, Almaty, 050008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Uvalieva.asem@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-2563>

Ustemirova Raigul, PhD, International university of transport and humanities, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan, e-mail: raigul_1980@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2559-6899>

Chazhabayeva Marzhan Malikovna, Acting associate professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marzhan.chazhabayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2676-2807>

Sharipova Aigerim Maratovna, Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, Department of Organization of transportation, movement and operation of transport and vocational

оқыту кафедрасы, Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ajgerim.sharipova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1518-9910>

и профессионального обучения, Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан, e-mail: ajgerim.sharipova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1518-9910>

training, Abai Myrzakhmetov Kokshetau University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ajgerim.sharipova90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1518-9910>

Шеров Карибек Тагаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: shkt1965@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

Шеров Карибек Тагаевич, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: shkt1965@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

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, <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

Янюшкин Александр Сергеевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Машина жасау факультеті. И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, Чебоксары қ., 428015, Чуваш Республикасы, e-mail: yanyuishkinas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>

Янюшкин Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Факультет машиностроения. Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, 428015, Чувашская Республика, e-mail: yanyuishkinas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>

Yanushkin Alexander Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor. Faculty of Mechanical Engineering. I. N. Ulyanov, Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, e-mail: yanyuishkinas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»

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

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Квитанция об оплате предоставляется после принятия статей к публикации. Стоимость публикации в журнале составляет 20 000 тенге для направлений металлургия, машиностроение и транспорт, а для остальных направлений 1 000 тенге за страницу.**

***Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом*.

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*);

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (*при наличии*) (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (*жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре*) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (*см. образец*).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом*.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются):

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 01 февраля;
- второй квартал до 01 мая;
- третий квартал до 01 августа;
- четвертый квартал до 01 ноября.

Квитанция об оплате предоставляется после принятия статей к публикации. Стоимость публикации в журнале составляет 20 000 тенге для направлений металлургия, машиностроение и транспорт, а для остальных направлений 1 000 тенге за страницу.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на почту: nitk.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,
НАО «Торайгыров университет»,
Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.
Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).
E-mail: nitk.tou.edu.kz.

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование –Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jysan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

С. К. Антикеева

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ
СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ**

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 2 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.
- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikayeva

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented

pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

Публикационная этика научных журналов
«Вестник Торайгыров университета»,
«Краеведение», «Наука и техника Казахстана»

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета

номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 06.03.25 ж. жіберілді. Басуға 28.03.25 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4360

«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

nitk.tou.edu.kz