

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

№ 3 (2023)

---

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/GZVJ4547>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,189

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

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
**Зарубежные члены редакционной коллегии:**  
Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

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

© Торайгыров университет

**МАЗМҰНЫ**

**МАШИНА ЖАСАУ**

**Ашкеев Ж. А., Абишкенов М. Ж., Ногаев К. А., Камаров А. У.**  
Машина жасау дайындамаларын өндіруге арналған гибриді  
алюмоматрицалық композиттердің оңтайлы құрамын  
анықтау мәселесі туралы 12

**Елемесов Қ. К., Басқанбаева Д. Ж., Ахметова Ш. Д., Аппазова С. М.**  
Ескі жылдық рельстердің пайдалану  
сипаттамаларын сынау және зерттеу әдістерін әзірлеу 27

**Касенов А. Ж., Таскарина А. Ж., Янюшкин А. С.,  
Искакова Д. А., Тукаев И. Т.**  
МСТҚ және кескіш құрастырмалы ұңғылағыш конструкциясының  
параметрлерінің өңдеу дәлдігіне әсері 42

**Никонова Т. Ю., Жунуспеков Д. С., Ясаков Ю. Д.**  
Гидравликалық цилиндр соташығын ағынды абразивтік  
тәсілмен өңдеудің эмпирикалық-математикалық моделі 57

**Тусупова С. О., Махмудов Л. Н.**  
Қиын өңделетін материалдарды өңдеу мәселелерінің жағдайы 71

**Бузауова Т. М., Кайзаит Ж. К., Матешов А. К.**  
Болатты арматуралық арқанды өндіру үшін дайындама түрін таңдау 83

**Базенов Г. М., Итыбаева Г. Т., Кусаинов Р. Б.,  
Галиновский А. Л., Мусина Ж. К.**  
Гидроабразивті кесу кезіндегі шынының кернеу-деформациялау күйі 93

**Байгереев С. Р., Гурьянов Г. А., Сулейменов А. Д.**  
Бисерлік ұсақтағыштарда ұнтақтау процесінің  
энергия сыйымдылығын төмендету әдісі 102

**Ракишев А., Доненбаев Б., Джамалудин Х. Р.**  
FDM (3D басылған) бөлшектерінің механикалық сипаттамаларын  
зерттеу: эмпирикалық және компьютерлік әдістер 113

**Сагитов А. А., Шеров К. Т., Мардонов Б. Т.,  
Равшанов Ж. Р., Тусупбекова Г. М.**  
Өңделген материалдың қаттылығы мен алдын ала  
өңдеу жылдамдығы арасындағы байланысты зерттеу 122

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

**Досмухамедов Н. К., Жолдасбай Е. Е., Арғын А. Ә.**  
Күлді кешенді өңдеу технологиясы: күлді кәдеге  
жаратудың технологиялық есептеулері 133

<b>Елубай М., Айткалиева Г., Ержанова Д., Қарлы Д., Масакбаева С.</b> Қызыл балшық – геополимерлік композиттердің шікізаты	145
<b>Улмаганбетов Н. А., Алмагамбетов М. С., Заякин О. В., Досекенов М. С.</b> Ферроқорытпа өндірісінің құю шөмішінің футеровкасының төзімділігін оңтамаландыру	152
<b>Келаманов Б. С., Есенғалиев Д. А., Сариев О. Р., Қуатбай Е. Қ., Жунісқалиев Т. Т.</b> Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйесін термодинамикалық-диаграммалық талдау тұрғысынан зерттеу	163
<b>Сулеймен Б. Т., Косдаулетов Н. Ы., Адилев Г. А., Ержанов А. С., Гамов П. А.</b> Лисаковск кен орнының темір кенінің құрамы мен құрылымдық ерекшеліктерін кешенді зерттеу	173
<b>Шошай Ж., Сапинов Р. В., Саденова М. А., Баева А. Б., Корабаев Б. С.</b> Техногендік қалдықтардан алтын алудың гидрометаллургиялық процесін микротолқынмен белсендірудің әсерін зерттеу	184
<b>Жакупова А. Т., Жакупов А. Н., Богомоллов А. В.</b> Құюдың әртүрлі температуралық жағдайларында 25ХМФА болаттан жасалған қуыс дайындаманың макроқұрылымы	197
<b>Қуандықов А. Б., Быков П. О.</b> Бор қышқылы негізіндегі «Белсенді» түйіршікті сүзгілерді қолдана отырып, түсті металл қоспаларынан бастапқы алюминийді тазартуды зерттеу	203
<b>Махамбетов Е. Н., Габдуллин С. Т., Зулхан З., Жакан А. М., Мырзағалиев А. А.</b> Жаңа кешенді хром-марганец-кремний құрамдас ферроқорытпаны балқыту процесін термодинамикалық модельдеу	211

**КӨЛІК**

<b>Арепьева С. В.</b> Кәсіпорынды басқаруда математикалық әдістерді қолдану	222
<b>Абишев К. К., Асылова К. Б.</b> Жартылай тарту-көлік машинасының бойлық тұрақтылығын анықтау	233
<b>Бахтыбаев Н. Б., Балабаев О. Т., Сулейменов Г. С.</b> «Молодежный» разрезі жағдайында темір жол жартылай вагондарының бүйірлері мен түбін мұздануға қарсы сұйықтықпен өңдеу жөніндегі қондырғыға тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізу	242
<b>Рожков А. В., Аскарлов Б. Ш., Хайбуллин Р. Р., Кенжекеева А. Р., Канат Ф. Е.</b> Жоғары еңкейтілген тасымалды конвейердің жүк түсіруші матасының оптималды параметрлерін анықтау	254

<b>Зарипов Р., Гаврилов П., Муканов Р., Маздубай А., Жекенов А.</b> Фотоэлектрлік элементтерді қолданатын шағын электр жетекті кемеңі өзірлеу және зерттеу	266
Авторлар туралы ақпарат	276
Авторларға арналған ережелер	295
Жарияланым этикасы	305

## СОДЕРЖАНИЕ

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Ашкеев Ж. А., Абишкенов М. Ж., Ногаев К. А., Камаров А. У.</b> К вопросу оптимизации состава алюмоматричных композитов для производства машиностроительных заготовок	12
<b>Елемесов Қ. К., Басқанбаева Д. Ж., Ахметова Ш. Д., Аппазова С. М.</b> Разработка методик испытаний и исследования эксплуатационных характеристик старогодних рельсов	27
<b>Касенов А. Ж., Таскарина А. Ж., Янюшкин А. С., Искакова Д. А., Тукаев И. Т.</b> Влияние СОТС и параметров конструкции резцовой сборной развёртки на точность обработки	42
<b>Никонова Т. Ю., Жунуспекоев Д. С., Ясаков Ю. Д.</b> Эмпирико-математическая модель обработки штока гидроцилиндра струйно-абразивным методом	57
<b>Тусупова С. О., Махмудов Л. Н.</b> Состояние проблемы обработки труднообрабатываемых материалов	71
<b>Бузауова Т. М., Кайзаит Ж. К., Матешов А. К.</b> Выбор вида заготовки для производства стального арматурного каната	83
<b>Базенов Г. М., Итыбаева Г. Т., Кусаинов Р. Б., Галиновский А. Л., Мусина Ж. К.</b> Напряженно-деформируемое состояние стекла при гидроабразивной резке	93
<b>Байгереев С. Р., Гурьянов Г. А., Сулейменов А. Д.</b> Способ снижения энергоёмкости процесса измельчения в бисерных мельницах	102
<b>Ракишев А., Доненбаев Б., Джамалудин Х. Р.</b> Исследование механических характеристик FDM деталей (3D печати): эмпирические и компьютерные методы	113
<b>Сагитов А. А., Шеров К. Т., Мардонов Б. Т., Равшанов Ж. Р., Тусупбекова Г. М.</b> Исследование взаимосвязи твердости обрабатываемого материала и скорости предварительной приработки	122

## МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Досмухамедов Н. К., Жолдасбай Е. Е., Аргын А. Ә.</b> Технология комплексной переработки золы: технологические расчеты по утилизации золы	133
<b>Елубай М., Айткалиева Г., Ержанова Д., Қарлы Д., Масакбаева С.</b> Красный шлам – сырье для геополимерных композитов	145

<b>Улмаганбетов Н. А., Алмагамбетов М. С., Заякин О. В., Досекенов М. С.</b> Оптимизация стойкости футеровки разливочных ковшей ферросплавного производства	152
<b>Келаманов Б. С., Есенгалиев Д. А., Сариев О. Р., Қуатбай Е. Қ., Жунісқалиев Т. Т.</b> Исследование четырехкомпонентной системы Ni-Fe-C-O с точки зрения термодинамически-диаграммного анализа	163
<b>Сулеймен Б. Т., Косдаулетов Н. Ы., Адилев Г. А., Ержанов А. С., Гамов П. А.</b> Комплексное исследование состава и структурных особенностей железной руды Лисаковского месторождения	173
<b>Шошай Ж., Сапинов Р. В., Саденова М. А., Баева А. Б., Корабаев Б. С.</b> Изучение влияния микроволновой активации на гидрометаллургический процесс извлечения золота из техногенных отходов	184
<b>Жакупова А. Т., Жакупов А. Н., Богомоллов А. В.</b> Макроструктура полой заготовки из стали 25ХМФА при различных температурных условиях разлива	197
<b>Куандыков А. Б., Быков П. О.</b> Исследование рафинирования первичного алюминия от примесей цветных металлов с применением «Активных» зернистых фильтров на основе борной кислоты	203
<b>Махамбетов Е. Н., Габдуллин С. Т., Зулхан З., Жакан А. М., Мырзагалиев А. А.</b> Термодинамическое моделирование процесса выплавки нового комплексного хром-марганец-кремнийсодержащего ферросплава	211

## ТРАНСПОРТ

<b>Арепьева С. В.</b> Использование математических методов в управлении предприятием	222
<b>Абишев К. К., Асыллова К. Б.</b> Определение продольной устойчивости полугусеничной тягово-транспортной машины	233
<b>Бахтыбаев Н. Б., Балабаев О. Т., Сулейменов Г. С.</b> Проведение опытно-промышленных испытаний установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный»	242
<b>Рожков А. В., Аскароев Б. Ш., Хайбуллин Р. Р., Кенжекеева А. Р., Канат Ф. Е.</b> Определение оптимальных параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера	254

<b>Зарипов Р., Гаврилов П., Муканов Р., Маздубай А., Жекенов А.</b> Разработка и исследование небольшого судна с электрическим приводом, использующего фотоэлектрические элементы	266
Сведения об авторах	276
Правила для авторов	295
Публикационная этика	305

**CONTENTS**

**MECHANICAL ENGINEERING**

<b>Ashkeyev Zh. A., Abishkenov M. Zh., Nogaev K. A., Kamarov A. U.</b> On optimization of the composition of a hybrid aluminum matrix composite for billet production	12
<b>Yelemessov K. K., Baskanbayeva D. D., Akhmetova Sh. D., Appazova S. M.</b> Development of testing techniques and investigation of the performance characteristics of old rails	27
<b>Kassenov A. Zh., Taskarina A. Zh., Yanyushkin A. S., Iskakova D. A., Tukaev I. T.</b> The influence of lubricating and cooling technological means and design parameters of the incisive assembly reamer on the precision of processing	42
<b>Nikonova T. Yu., Zhunuspekov D. S., Yassakov Yu. D.</b> Empirical-mathematical model of hydraulic cylinder rod processing by jet-abrasive method	57
<b>Tussupova S. O., Mahmudov L. N.</b> The state of the problem of processing hard-to-process materials	71
<b>Buzauova T. M., Kaizait Zh. K., Mateshov A. K.</b> Selection of the workpiece type for the steel reinforcement rope production	83
<b>Bazenov G. M., Itybayeva G. T., Kussainov R. B., Galinovskiy A. L., Mussina Zh. K.</b> Stress-deformable state of glass during waterjet cutting	93
<b>Baigereyev S. R., Guryanov G. A., Suleimenov A. D.</b> Method of decrease in energy intensity of the grinding process in stirred mills	102
<b>Rakishiev A., Donenbayev B., Jamaludin K. R.</b> Study of the mechanical characteristics of FDM (3D printed) parts: empirical and computational methods	113
<b>Sagitov A. A., Sherov K. T., Mardonov B. T., Ravshanov J. R., Tussupbekova G. M.</b> Study of relationship between the processed material hardness and the pretreatment speed	122

**METALLURGY**

<b>Dosmukhamedov N. K., Zholdasbay E. E., Argyn A. A.</b> Technology of complex ash processing: technological calculations for ash utilization	133
<b>Yelubay M., Aitkaliyeva G., Yerzhanova D., Karly D., Massakbayeva S.</b> Red mud – a raw material for geopolymer composites	145
<b>Ulmaganbetov N. A., Almagambetov M. S., Zayakin O. V., Dossekenov M. S.</b> Optimization of the lining resistance of the ferroalloy production pouring ladles	152

<b>Kelamanov B. S., Yessengaliyev D. A., Sariev O. R., Kuatbai Ye. K., Zhuniskaliyev T. T.</b>	
Study of the four-component Ni-Fe-C-O system from the point of view of thermodynamic-diagram analysis	163
<b>Suleimen B. T., Kosdauletov N. Y., Adilov G. A., Yerzhanov A. S., Gamov P. A.</b>	
Integrated study of the composition and structural features of iron ore of the Lisakovskoye deposit	173
<b>Shoshay Zh., Sapinov R. V., Sadenova M. A., Baeva A. B., Korabaev B. S.</b>	
Study of the effect of microwave activation on the hydrometallurgical process of gold extraction from technogenic wastes	184
<b>Zhakupova A. T., Zhakupov A. N., Bogomolov A. V.</b>	
Macrostructure of a hollow billet from steel 25CrV under different temperature conditions of casting	197
<b>Kuandykov A. B., Bykov P. O.</b>	
Study of refining of primary aluminum from impurities of non-ferrous metals using «Active» grain filters based on boric acid	203
<b>Makhambetov Ye. N., Gabdullin S. T., Zulhan Z., Zhakanm A. M., Myrzagaliyev A. A.</b>	
Thermodynamic modeling of the smelting process of a new complex chromium-manganese-silicon containing ferroalloy	211

### TRANSPORT

<b>Arepyeva S. V.</b>	
Use of mathematical methods in enterprise management	222
<b>Abishev K. K., Assylova K. B.</b>	
Determination of the longitudinal stability of a semi-tracked traction and transport vehicle	233
<b>Bakhtybayev N. B., Balabayev O. T., Suleimenov G. S.</b>	
Conducting a pilot study of an anti-icing composition (AIC) for processing railway gondola cars in the conditions of the «Molodyozhny» open pit	242
<b>Rozhkov A. V., Askarov B. Sh., Khaibullin R. R., Kenzhekeeva A. R., Kanat F. E.</b>	
Determination of the optimal parameters of the load-carrying fabric of a highly tilt plated conveyor	254

<b>Zaripov R., Gavrilovs P., Mukanov R., Mazdubay A. Zhekenov A.</b>	
Development and research of a small electric-powered vessel using photovoltaic cells	266
Information about the authors	276
Rules for authors	295
Publication ethics	305

МРНТИ 55.09.43

<https://doi.org/10.48081/RYS1423>**Ж. А. Ашкеев<sup>1</sup>, \*М. Ж. Абишкенов<sup>2</sup>, К. А. Ногаев<sup>3</sup>, А. У. Камаров<sup>4</sup>**<sup>1,2,3</sup>Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

<sup>4</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар\*e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)**К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК**

*Работа посвящена оптимизации состава гибридных (трехкомпонентных) алюмоматричных композитов, которые как и наиболее широко используемые в машиностроительной отрасли стальных заготовки, являются прочными, но при этом отличаются от них значительно легким весом и коррозионностойкостью. Предлагается минорная добавка (армирование) в матричный алюминий диборида титана и нанодисперсного диоксида кремния (наносилики), которые оказывают положительное влияние на такие основные механические свойства машиностроительных заготовок как прочность, пластичность, твердость, но при этом не ухудшает характерные для исходного неармированного алюминия антикоррозионные свойства и не приводит к увеличению общей массы машиностроительных заготовок. Для установления зависимости вышеуказанных показателей механических свойств (параметр оптимизации Y) гибридного алюмоматричного композита от содержания армирующих наполнителей (факторы  $X_1$  и  $X_2$ ) был проведен предварительный двухфакторный эксперимент с описанием условий его проведения и составлением матрицы планирования, карты проведения эксперимента. Определены коэффициенты регрессии, выявлена их значимость и с использованием значимых коэффициентов получена уравнение регрессии – математическая модель, которая адекватно описывает процесс получения алюмоматричного композита, а также позволяет оптимизировать расход армирующих наполнителей для обеспечения необходимого уровня прочности конечных композитов. Выявлено, что и  $X_1$ , и  $X_2$  значимы и существенно влияют на прочностные и другие механические свойства машиностроительной заготовки из алюмоматричного композита. Адекватность (пригодность) модели проверена критерием Фишера. Работа выполнено в рамках решения задачи по выбору перспективных весовых процентных составов алюмоматричных композитов с научной оценкой и анализом влияния выбранных армирующих материалов на структуру и свойства конечных алюмоматричных композитов посредством методов обработки первичной информации и факторного эксперимента (предварительного) в рамках проекта AP19677907*

*«Исследование влияния микро/наночастиц, промышленных отходов и сдвига на качество металлических заготовок для машиностроения».*

*Ключевые слова: алюмоматричный композит, диборид титана, наносилика, факторный эксперимент, оптимизация состава, уравнение регрессии, механические свойства, армирование.*

**Введение**

В современном машиностроении наблюдается технологическая необходимость в легких, но при этом прочных металлических заготовках. Эту необходимость в перспективе могут удовлетворить металломатричные композиты (ММК). В отчете о мировом рынке ММК экспертами The Business Research Company в данной области за 2023 год ожидается, что объем мирового рынка ММК вырастет до 0,81 млрд долларов к 2027 году при среднегодовом темпе роста 8,6 %. На данный момент на рынке ММК в качестве матричных материалов наиболее широко используются Al, Mg, Cu, Fe, Ti. Наиболее распространенным и перспективным из них является Al, так как алюмоматричные композиты (АМК) отличаются меньшим весом, хорошей обрабатываемостью, высоким соотношении прочности к весу, превосходной коррозионной стойкостью, оптимальными и высокими значениями твердости, износостойкости и теплопроводности [1]. Другие матричные материалы имеют ряд критических недостатков, сильно ограничивающих целесообразность их применения: Mg – низкая пластичность и низкое сопротивление разрушению, повышенная реакционная способность при повышенной температуре, требующая дополнительного контроля; Fe – хрупкость и меньшая ударная вязкость по сравнению с другими композитами, применение в основном для повышения износостойкости, не подходит для применения в морской среде; Cu – низкая прочность, в основном применяется там, где нужны хорошие свойства теплопроводности и электропроводности [1]. Поэтому на сегодняшний день АМК являются крупнейшим сегментом мирового рынка ММК и имеют огромный потенциал для инженерных применений в машиностроении, аэрокосмической отрасли, электротехнике, электронике, оборонной отрасли, автомобильной и транспортной промышленности, вызывая индустриальную заинтересованность. Также преимущества в виде низкого коэффициента теплового расширения и малого веса открывают потенциальные возможности для применения АМК в робототехнике, лазерной инженерии, производстве высокоскоростных и высокоточных оборудований, где названные преимущества являются основными факторами для выбора материалов.

Для получения металлических АМК исходные матричные алюминиевые материалы (порошки алюминия, чистый алюминий, ковкие или деформируемые, литейные алюминиевые сплавы) методами инфильтрации жидким металлом, порошковой металлургии, литья, осаждения армируются различными материалами, основными из которых являются оксиды, нитриды, карбиды, бориды, сульфиды, металлы и металлоиды [1]. Предварительный аналитический обзор научно-технической литературы выявил, что все больше растет актуальность использования твердых промышленных [2–4] и сельскохозяйственных отходов

[5–7] в качестве армирующего материала, которая дает возможность вторичного использования или рециклинга таких отходов без ухудшения качества композита («зеленая технология»). Результаты имеющихся исследований, обнадеживающие с точки зрения улучшения механических свойств, что создают предпосылки для дальнейших исследований и усовершенствования. Несмотря на то, что на данный момент при производстве АМК основную долю армирующих материалов составляют микрочастицы, наблюдается интерес к использованию наночастиц, например, углеродных наноматериалов [8–10], которые могут способствовать улучшению качества конечных АМК благодаря высокому уровню модулю Юнга ( $\sim 1$  ТПа), предела прочности на растяжение ( $>110$  ГПа), низкой плотности ( $\sim 0,5 \div 2,8$  г/см<sup>3</sup>), что намного превосходят эти же параметры у микрочастиц.

Одним из основных проблем, ограничивающих в определенной мере применение ММК в качестве конструкционного материала в машиностроении остается их низкая пластичность, из-за так называемой «дилеммы прочности-пластичности» [11], которая заключается в снижении пластичности материала при одновременном увеличении его прочности и приводящий к деформационному растрескиванию, разрушению и непригодности материала. Основными причинами являются критические проблемы, связанные с локальной агломерацией частиц (неравномерность смешивания и диспергирования), плохие межфазные сцепления, специфические недостатки существующих способов получения. Данная проблема вкуче с зачастую дорогой стоимостью ММК по сравнению с традиционными материалами создает необходимость нахождения альтернативных и сравнительно недорогих технологий производства ММК. В особенности дилемма характерна методам порошковой металлургии, которые остаются основными методами получения ММК на данном этапе развития ММК. Предлагаются различные стратегии, которые в какой-то степени помогут преодолеть или решить эту дилемму. Большинство этих стратегий характерны методом порошковой металлургии и предполагают зачастую затратные и трудоемкие многоступенчатые типы решения проблем, такие как межфазное нанодекорирование [12], армирование многомасштабными и двойными структурированными частицами [13], увеличение пластичности композита микролегированием, за счет оптимизированной реакции соль-металл и многоступенчатой термообработки [14] и др. Анализ также выявил, что методам порошковой металлургии для производства АМК характерны такие недостатки как длительное время (вплоть до 20–40 часов) подготовки порошковых смесей, включая их смешивание, снижающее производительность и эффективность производства; сложность межфазного сцепления и контроля межфазной реакции, требующих принятие дополнительных мер для улучшения, например, необходимость ввода дополнительных дорогостоящих дисперсоидов, высокая энергоемкость процессов спекания и горячего прессования порошковой смеси; трудность получения изделий и заготовок больших размеров; ограниченность в объемах производства; сложность получения беспористых металлических материалов без дополнительных обработок и манипуляций; необходимость применения многоступенчатой или специальной термообработки. Эти недостатки

создают предпосылки для разработки менее затратных и производительных способов получения АМК, улучшающих межфазное сцепление, а также имеющих потенциал интеграции с действующими производствами. Предварительный анализ научно-технической литературы и состояния современного уровня техники выявил, что получение АМК методами литья привлекает внимание многих отраслей промышленности, поскольку имеют ряд преимуществ, которые заключаются в простоте, гибкости и применимости к большому объему материалов при низкзатратном производстве [1]. Также при обоснованном выборе армирующих материалов и соблюдении технологических принципов литья АМК улучшаются межфазные сцепления. Литье хорошо интегрируется с высокопроизводительными (прокатка, ковка, механическая обработка и др.) и специальными (ультразвуковая, лазерная, поверхностная, модифицирующая обработка и др.) процессами металлообработки, т.е. не требует полной реконструкции производственных цехов при внедрении в производство.

Несмотря на имеющиеся множество предложенных моделей по оптимизации АМК, среди них недостаточно моделей для определения оптимального состава самих добавок или армирующих наполнителей, обеспечивающих наилучшие сочетания механических свойств АМК. В связи с этим задача по определению оптимального состава армирующих наполнителей, обеспечивающих наилучшее сочетание механических свойств конечного АМК является актуальной задачей. С этой целью был проведен предварительный двухфакторный эксперимент [15] для установления зависимости показателей механических свойств  $Y$  ( $\sigma_b$ , МПа) гибридного трехкомпонентного АМК от содержания диборида титана  $X_1$  ( $TiB_2$ , массовый состав, г) и наносилики  $X_2$  ( $SiO_2$ , массовый состав, г) в 1000 г расплавленной алюминиевой матрицы.

#### Материалы и методы

Для оптимизации состава гибридного АМК  $Al/TiB_2/SiO_2$  вначале был выбран параметр оптимизации (ПО), который должен отвечать всем поставленным требованиям.

ПО процесса получения АМК:

- обозначения параметра оптимизации:  $Y = \sigma_b$ ;
- цель оптимизации:  $Y \rightarrow$  максимизация ПО.

Далее выбраны факторы, которые оказывают наибольшее влияние на механические свойства получаемого АМК.

Факторы:

- $X_1$  – содержание диборида титана ( $TiB_2$ ), г,
- $X_2$  – содержание наносилики ( $SiO_2$ ), г.

Условия проведения двухфакторного эксперимента приведены в таблицах 1, 2 и 3.



Таблица 1 – Основные уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Основной уровень	Интервал варьирования
X <sub>1</sub>	150,0	50,0
X <sub>2</sub>	125,0	45,0

Таблица 2 – Уровни варьирования факторов

Уровни	Факторы	
	X <sub>1</sub> , г	X <sub>2</sub> , г
Основной	150	125,0
Нижний	100	80,0
Верхний	200	170,0

После составления матрицы планирования проводится эксперимент на выбранном объекте исследования. опыты проводятся в случайном порядке в соответствии с принципом рандомизации. Первым реализован опыт с порядковым номером 4, в котором факторы поддерживались на верхнем уровне. При этом получена максимальное значение предела прочности АМК (510 МПа), вторым реализован опыт номер 1, в котором оба фактора X<sub>1</sub> и X<sub>2</sub> поддерживались на нижних уровнях, а предел прочности составил 440 МПа, и т.д.

Таблица 3 – Матрица планирования и карта проведения эксперимента

Номер опыта	Порядок реализации опытов по рандомизации (две серии)	Матрица планирования		X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	Выход (ПО), МПа		
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Ȳ <sub>u</sub>
1	2; 3	-1	-1	+1	450	430	440
2	3; 1	+1	-1	-1	470	490	480
3	4; 4	-1	+1	-1	460	480	470
4	1; 2	+1	+1	+1	500	520	510

Таким образом, после проведения двух серии опытов (в каждом по четыре опыта с неповторяющимися комбинациями уровней факторов) оказались заполненными столбцы значений выхода Y<sub>u1</sub> и Y<sub>u2</sub>. Теперь есть все необходимое для обработки и статистического анализа результатов эксперимента [15].

Расчет построчных средних проведен по уравнению (1):

$$\bar{Y}_u = \frac{Y_{u1} + Y_{u2} + \dots + Y_{u\gamma}}{\gamma}, \quad (1)$$

где  $\gamma = 2$  – число повторных опытов.

С помощью уравнения (2) определены построчные дисперсии (дисперсии воспроизводимости):

$$S_u^2 = \frac{\sum_{m=1}^{\gamma} (\bar{Y}_u - Y_{um})^2}{\gamma - 1}. \quad (2)$$

По (3) определена сумма построчных дисперсий:

$$S_{\Sigma}^2 = \sum_{u=1}^N S_u^2. \quad (3)$$

Выполнена проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена:

$$G = \frac{S_{u\max}^2}{S_{\Sigma}^2}. \quad (4)$$

Опыты равномерны если  $G < GT$ , где  $GT$  – табличное значение критерия Кохрена, выбираемое в зависимости от  $N$ ,  $\gamma$  и уровня значимости (надежности)  $p$ . Для данного случая при  $N = 4$ ,  $\gamma = 2$ ,  $p = 0,95$  табличное значение  $GT = 0,95$ . В случае неравноточности опытов необходимо увеличить число повторных экспериментов или повысить их точность.

Определены коэффициенты уравнения регрессии:

$$b = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{Y}_u}{N}, \quad (5)$$

$$b_0 = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4}{4}, \quad (5a)$$

$$b_1 = \frac{-\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 - \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4}{4}, \quad (5b)$$

$$b_2 = \frac{-\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4}{4}, \quad (5в)$$

$$b_{12} = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 - \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4}{4}. \quad (5г)$$

Далее проверяется значимость коэффициентов регрессии. Для этого по (6) определены дисперсия воспроизводимости

$$S_Y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{m=1}^{\gamma} (\bar{Y}_u - Y_{um})^2}{N(\gamma - 1)} = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N}, \quad (6)$$

а также по (7) усредненная дисперсия эксперимента с учетом повторных опытов:

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{|S_{\bar{Y}}^2|}{|\gamma|}. \quad (7)$$

Определяются дисперсия и средняя квадратическая ошибка коэффициентов регрессии  $S_{b_i}^2$  и  $S_{b_i}$  :

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{\bar{Y}}^2}{N}. \quad (8a)$$

$$S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} \quad (8б)$$

Находят значение доверительного интервала для коэффициентов регрессии:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{b_i}, \quad (9)$$

где  $t$  – табличное значение критерия Стьюдента, которое выбирается в зависимости от числа степеней свободы  $f_2 = N(\gamma-1)$  и выбранного уровня значимости (обычно 0,05). Коэффициент значим, если его абсолютное значение больше доверительного интервала, т.е. коэффициент должен быть больше ошибки его определения, взятой с определенным запасом. Полученные коэффициенты сравнивают с доверительным интервалом и по результатам сравнения записывается окончательное уравнение регрессии.

Далее проверена адекватность (пригодность) модели критерием Фишера  $F$ :

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\bar{Y}}^2} \quad (10)$$

где  $S_{ад}^2$  – дисперсия адекватности, которая определяется по (11):

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\hat{Y}_u - \bar{Y}_u)^2}{N - k - 1} \quad (11)$$

где  $\hat{Y}$  – рассчитанные по полученному уравнению значения выхода при значениях кодированных переменных, соответствующих каждой из строк матрицы планирования;  $\bar{Y}$  – усредненное значение выхода (параметра оптимизации), полученное при реализации повторных опытов для соответствующей строки (комбинации значений факторов матрицы планирования). Модель можно считать адекватной, если  $F < F_{табл}$ . Табличное значение критерия Фишера находят в зависимости от числа степеней свободы  $f_1 = N-k-1$  и  $f_2 = N(\gamma-1)$ , которые численно равны знаменателям соответствующих дисперсии  $S_{ад}^2$  и  $S_{\bar{Y}}^2$ , и уровня значимости (чаще всего 0,05). Здесь  $N$  – число вариантов опытов (строк) в матрице планирования;  $k$  – число варьлируемых факторов;  $\gamma$  – число повторных (параллельных) опытов.

Для определения  $S_{ад}^2$  по полученному уравнению регрессии вычислены значения выхода. Для удобства расчетов  $S_{ад}^2$  рядом сопоставлены усредненные опытные значения для тех же условий.

**Результаты и обсуждения**

Результаты расчета построчных средних по (1):

$$\bar{Y}_1 = \frac{450 + 430}{2} = 440 \text{ МПа,}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{470 + 490}{2} = 480 \text{ МПа,}$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{460 + 480}{2} = 470 \text{ МПа,}$$

$$\bar{Y}_4 = \frac{500 + 520}{2} = 510 \text{ МПа.}$$

Результаты расчета занесены в столбец  $\bar{Y}_u$  таблицы 2.

Результаты расчета построчных дисперсий по (2):

$$S_1^2 = \frac{(440 - 450)^2 + (440 - 430)^2}{2 - 1} = 200,$$

$$S_2^2 = \frac{(480 - 470)^2 + (480 - 490)^2}{2 - 1} = 200,$$

$$S_3^2 = \frac{(470 - 460)^2 + (470 - 480)^2}{2 - 1} = 200,$$

$$S_4^2 = \frac{(510 - 500)^2 + (510 - 520)^2}{2 - 1} = 200.$$

Сумма построчных дисперсий по (3):

$$S_{\Sigma}^2 = 200 + 200 + 200 + 200 = 800.$$

Проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена:

$$G = \frac{200}{800} = 0,25 < G_T.$$

Значит опыты равномерны.

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии по формулам (5а–г):

$$b_0 = \frac{440 + 480 + 470 + 510}{4} = 475,$$

$$b_1 = \frac{-440 + 480 - 470 + 510}{4} = 20,$$

$$b_2 = \frac{-440 - 480 + 470 + 510}{4} = 15,$$

$$b_{12} = \frac{440 - 480 - 470 + 510}{4} = 0.$$

Дисперсия воспроизводимости по (6):

$$S_Y^2 = \frac{800}{4} = 200.$$

Усредненная дисперсия эксперимента по (7):

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{200}{2} = 100.$$

Дисперсия и средняя квадратическая ошибка коэффициентов регрессии по (8а) и (8б):

$$S_{b_i}^2 = \frac{100}{4} = 25,$$

$$S_{b_i} = \sqrt{25} = 5.$$

При  $f_2 = 4(2-1)$  значение  $t = 2,78$ . Тогда значение доверительного интервала для коэффициентов регрессии по (9):

$$\Delta b_i = \pm 2,78 \cdot 5 = 13,9.$$

Сравнение полученных по формулам (5а–г) коэффициентов с доверительным интервалом  $\Delta b_i$  для выявления их значимости:  $b_0 > \Delta b_i$  (значим);  $b_1 > \Delta b_i$  (значим);  $b_2 > \Delta b_i$  (значим);  $b_{12} < \Delta b_i$  (не значим).

Включив все коэффициенты регрессии, которые оказались значимыми, окончательно записывается уравнение регрессии:

$$Y = 475 + 20X_1 + 15X_2.$$

Ниже представлены значения выхода, предсказываемые уравнением регрессии (12) и усредненные опытные значения по (1) для сопоставления:

Значения выхода, предсказываемые (12)	Значения по (1)
$\hat{Y}_1 = 475 + 20,0(-1) + 15,0(-1) = 440$	$\bar{Y} = 440$
$\hat{Y}_2 = 475,0 + 20,0(+1) + 15,0(-1) = 480$	$\bar{Y} = 480$
$\hat{Y}_3 = 475,0 + 20,0(-1) + 15,0(+1) = 470$	$\bar{Y} = 470$
$\hat{Y}_4 = 475,0 + 20,0(+1) + 15,0(+1) = 510$	$\bar{Y} = 510$

Дисперсия адекватности или остаточная дисперсия по (11):

$$S_{ад}^2 = \frac{(440 - 440)^2 + (480 - 480)^2 + (470 - 470)^2 + (510 - 510)^2}{4 - 2 - 1} = 0,0.$$

Значение критерия Фишера по (10):

$$F = \frac{0,0}{100} = 0,0.$$

При  $f_1 = N - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1$  и  $f_2 = 4$  табличное значение критерия Фишера  $F_{табл} = 7,7$ . Тогда  $F < F_{табл}$ , т.е. имеется основание сделать вывод об адекватности полученной модели.

#### Выводы

Получена идеальная адекватная математическая модель, которая в точь-в-точь описывает процесс получения легких и коррозионностойких АМК для производства машиностроительных заготовок, и позволяет оптимизировать расход армирующих наполнителей в матричном материале алюминия для обеспечения необходимой прочности, пластичности и твердости конечных АМК. На первом этапе наиболее оптимальным вариантом можно считать опыт №4, где максимальное значение предела прочности АМК обеспечивается при добавлении 200 г диборида титана и 170 г наносилики на 1000 г матричного материала. Отсюда, полученную математическую модель можно использовать как базу для оптимизации состава АМК с целью обеспечения необходимых механических свойств заготовки, а значит и деталей машин из таких заготовок, при других значениях факторов. По полученной модели можно сделать вывод, что оба фактора значимые и существенно влияют на механические свойства АМК.

#### Информация о финансировании

Данная работа выполнена в рамках исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19677907).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ramanathan, A., Krishnan, P. K., Muraliraja, R.** A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2019. – Vol. 42. – P. 213–245.
- 2 **Panwar, N., Chauhan, A.** Parametric behaviour optimisation of macro and micro hardness for heat treated Al 6061-red mud composite // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2018. – Vol. 8(1). – P. 660–669.
- 3 **Rao, R. G., Ghosh, M., Ganguly, R. I., Bose P. S. C., Sahoo, K. L.** Mechanical properties and age hardening response of Al6061 alloy based composites reinforced with fly ash // *Materials Science and Engineering: A*. – 2020. – Vol. 772. – P. 138823.
- 4 **Pragathi, P., Elansezhian, R.** Studies on microstructural and mechanical properties of (Nano SiC + Waste Spent catalyst) reinforced aluminum matrix composites // *Materials Today Communications*. – 2022. – Vol. 30. – P. 103204.
- 5 **Alaneme, K. K., Bodunrin, M. O., Awe, A. A.** Microstructure, mechanical and fracture properties of groundnut shell ash and silicon carbide dispersion strengthened aluminium matrix composites // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. – 2018. – Vol. 30(1). – P. 96–103.
- 6 **Alaneme, K. K., Adewale, T. M., Olubambi, P. A.** Corrosion and wear behaviour of Al–Mg–Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2014. – Vol. 3(1). – P. 9–16.
- 7 **Aigbodion, V. S.** Bean pod ash nanoparticles a promising reinforcement for aluminium matrix biocomposites // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2019. – Vol. 8(6). – P. 6011–6020.
- 8 **Xu, Z. Y., Li, C. J., Gao, P., You, X., Bao, R., Fang, D., Tao, J. M., Yi, J. H.** Improving the mechanical properties of carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites by heterogeneous structural design // *Composites Communications*. – 2022. – Vol. 29. – P. 101050.
- 9 **Zhang, X., Hou, X., Pan, D., Pan, B., Liu, L., Chen, B., Kondoh, K., Li, S.** Designable interfacial structure and its influence on interface reaction and performance of MWCNTs reinforced aluminum matrix composites // *Materials Science and Engineering: A*. – 2020. – Vol. 793. – P. 139783.
- 10 **Hasan, M. S., Wong, T., Rohatgi, P. K., Nosonovsky, M.** Analysis of the friction and wear of graphene reinforced aluminum metal matrix composites using machine learning models // *Tribology International*. – 2022. – Vol. 170. – P. 107527.
- 11 **Ma, Y., Chen, H., Zhang, M.-X., Addad, A., Kong, Y., Lezaack, M. B., Gan, W., Chen, Z. Ji, G.** Break through the strength-ductility trade-off dilemma in aluminum matrix composites via precipitation-assisted interface tailoring // *Acta Materialia*. – 2023. – Vol. 242. – P. 118470.
- 12 **Guo, B., Chen, Y., Wang, Z., Yi, J., Ni, S., Du, Y., Li, W., Song, M.** Enhancement of strength and ductility by interfacial nano-decoration in carbon nanotube/aluminum matrix composites // *Carbon*. – 2020. – Vol. 159. – P. 201–212.

- 13 **Zhang, X., Lu, W., Chen, T.** Multiscale and dual-structured reinforcing particulates enhance the strength of aluminum matrix composites at no ductility loss // *Materials Science and Engineering A*. – 2022. – Vol. 856. – P. 144003.
- 14 **Xue, Y., Hao, Q., Li, X., Zhang, H., Wang, P., Yin, C., Li, B., Wang, X.** (2022). Acquiring Mg-Ag microalloying TiB<sub>2</sub>/Al-4.5 Cu composite simultaneously with ultrahigh strength and ductility via optimized salt-metal reaction and multistage heat treatment // *Materials and Design*. – 2022. – Vol. 223. – P. 111252.
- 15 **Wu, C. F. J., Hamada, M. S.** *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. Wiley, 2009. – 743 p.

## REFERENCES

- 1 **Ramanathan, A., Krishnan, P. K., Muraliraja, R.** A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2019. – Vol. 42. – P. 213–245.
- 2 **Panwar, N., Chauhan, A.** Parametric behaviour optimisation of macro and micro hardness for heat treated Al 6061-red mud composite // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2018. – Vol. 8(1). – P. 660–669.
- 3 **Rao, R. G., Ghosh, M., Ganguly, R. I., Bose P. S. C., Sahoo, K. L.** Mechanical properties and age hardening response of Al6061 alloy based composites reinforced with fly ash // *Materials Science and Engineering: A*. – 2020. – Vol. 772. – P. 138823.
- 4 **Pragathi, P., Elansezhian, R.** Studies on microstructural and mechanical properties of (Nano SiC + Waste Spent catalyst) reinforced aluminum matrix composites // *Materials Today Communications*. – 2022. – Vol. 30. – P. 103204.
- 5 **Alaneme, K. K., Bodunrin, M. O., Awe, A. A.** Microstructure, mechanical and fracture properties of groundnut shell ash and silicon carbide dispersion strengthened aluminium matrix composites // *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. – 2018. – Vol. 30(1). – P. 96–103.
- 6 **Alaneme, K. K., Adewale, T. M., Olubambi, P. A.** Corrosion and wear behaviour of Al–Mg–Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2014. – Vol. 3(1). – P. 9–16.
- 7 **Aigbodion, V. S.** Bean pod ash nanoparticles a promising reinforcement for aluminium matrix biocomposites // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2019. – Vol. 8(6). – P. 6011–6020.
- 8 **Xu, Z. Y., Li, C. J., Gao, P., You, X., Bao, R., Fang, D., Tao, J. M., Yi, J. H.** Improving the mechanical properties of carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites by heterogeneous structural design // *Composites Communications*. – 2022. – Vol. 29. – P. 101050.
- 9 **Zhang, X., Hou, X., Pan, D., Pan, B., Liu, L., Chen, B., Kondoh, K., Li, S.** Designable interfacial structure and its influence on interface reaction and performance of MWCNTs reinforced aluminum matrix composites // *Materials Science and Engineering: A*. – 2020. – Vol. 793. – P. 139783.

10 Hasan, M.S., Wong, T., Rohatgi, P. K., Nosonovsky, M. Analysis of the friction and wear of graphene reinforced aluminum metal matrix composites using machine learning models // Tribology International. – 2022. – Vol. 170. – P. 107527.

11 Ma, Y., Chen, H., Zhang, M.-X., Addad, A., Kong, Y., Lezaack, M. B., Gan, W., Chen, Z. Ji, G. Break through the strength-ductility trade-off dilemma in aluminum matrix composites via precipitation-assisted interface tailoring // Acta Materialia. – 2023. – Vol. 242. – P. 118470.

12 Guo, B., Chen, Y., Wang, Z., Yi, J., Ni, S., Du, Y., Li, W., Song, M. Enhancement of strength and ductility by interfacial nano-decoration in carbon nanotube/aluminum matrix composites // Carbon. – 2020. – Vol. 159. – P. 201–212.

13 Zhang, X., Lu, W., Chen, T. Multiscale and dual-structured reinforcing particulates enhance the strength of aluminum matrix composites at no ductility loss // Materials Science and Engineering A. – 2022. – Vol. 856. – P. 144003.

14 Xue, Y., Hao, Q., Li, X., Zhang, H., Wang, P., Yin, C., Li, B., Wang, X. (2022). Acquiring Mg-Ag microalloying TiB<sub>2</sub>/Al-4.5Cu composite simultaneously with ultrahigh strength and ductility via optimized salt-metal reaction and multistage heat treatment // Materials and Design. – 2022. – Vol. 223. – P. 111252.

15 Wu, C. F. J., Hamada, M. S. Experiments: Planning, Analysis, and Optimization. Wiley, 2009. – 743 p.

Материал поступил в редакцию 18.08.23.

**Ж. А. Ашкеев<sup>1</sup>, \*М. Ж. Абишкенов<sup>2</sup>, К. А. Ногаев<sup>3</sup>, А. У. Камаров<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.;

<sup>4</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 18.08.23 баспаға түсті.

### МАШИНА ЖАСАУ ДАЙЫНДАМАЛАРЫН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ АЛЮМОМАТРИЦАЛЫҚ КОМПОЗИТТЕРДІҢ ОҢТАЙЛЫ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ

Жұмыс машина жасау саласында кеңінен қолданылатын болат дайындамалар сияқты берік, бірақ олардан айтарлықтай жеңіл салмақпен және коррозияға төзімділігімен ерекшеленетін гибриді (үшкомпонентті) алюмоматрицалық композиттердің құрамын оңтайландыруға арналған. Машина жасау дайындамаларының беріктік, пластикалық қаттылық сияқты негізгі механикалық қасиеттеріне оң әсер ететіндей, бірақ сонымен бірге бастапқы армирленбеген алюминийге тән антикоррозиялық қасиеттерді нашарлатпайтындей және машина жасау дайындамаларының жалпы массасының ұлғаюына әкелмейтіндей етіп матрицалық алюминийді титан диборидімен және нанодисперсті кремний диоксидімен (наносилика) аз мөлшерде минорлы армирлеу немесе күшейту ұсынылады. Гибриді алюмоматрицалық композиттің механикалық қасиеттері көрсеткіштерінің (оңтайландыру параметрі  $Y$ ) армирлеуші толтырғыштардың құрамына

( $X_1$  және  $X_2$  факторлары) тәуелділігін анықтау үшін оның шарттарын сипаттай отырып, сондай-ақ жоспарлау матрицасын және эксперимент картасын құрастырумен бірге бастапқы екіфакторлы эксперимент жүргізілді. Регрессия коэффициенттері анықталды, олардың маңыздылығы айқындалды және маңызды коэффициенттерді пайдалана отырып регрессия теңдеуі – алюмоматрицалық композитті алу үрдісін адекватты түрде сипаттай алатын, сонымен қатар алынатын соңғы композиттің механикалық сипаттамаларының қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін армирлеуші толтырғыштардың шығынын оңтайландыруға мүмкіндік беретін математикалық модель алынды.  $X_1$  де,  $X_2$  де маңызды және алюмоматрицалық композиттерден жасалған машина жасау дайындамаларының беріктігіне және басқа да механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететіндігі анықталды. Модельдің адекваттылығы (жарамдылығы) Фишер критерийі бойынша тексерілді. Жұмыс AP19677907 «Микро/нанобөлшектердің, өндірістік қалдықтардың және ығысудың машина жасауда қолданылатын металл дайындамалар сапасына тигізетін әсерін зерттеу» тақырыбындағы гранттық жобаның бастапқы ақпаратты оңдеу және бастапқы факторлық эксперимент әдістерін қолдана отырып, соңғы алюмоматрицалық композиттердің құрылымы мен қасиеттеріне таңдалған армирлеуші материалдардың әсерін ғылыми бағалау және талдау арқылы алюминий матрицалық композиттердің перспективті салмақтық пайыздық құрамдарын таңдау міндетін шешу шеңберінде жүргізілді.

Кілтті сөздер: алюмоматрицалық композит, титан дибориді, наносилика, факторлық эксперимент, құрамды оңтайландыру, регрессия теңдеуі, механикалық қасиеттер, армирлеу.

**Zh. A. Ashkeyev<sup>1</sup>, \*M. Zh. Abishkenov<sup>2</sup>, K. A. Nogaev<sup>3</sup>, A. U. Kamarov<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau;

<sup>4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 08.08.23.

### ON OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF A HYBRID ALUMINUM MATRIX COMPOSITE FOR BILLET PRODUCTION

The work is devoted to optimizing the composition of hybrid (three-component) aluminum matrix composites, which, like the most widely used steel blanks in the engineering industry, are strong, but at the same time differ from them in significantly lighter weight and corrosion resistance. A minor addition (reinforcement) to matrix aluminum of titanium diboride and silicon dioxide nanopowder (nanosilica) is proposed, which have a positive effect on such basic mechanical properties of machine parts blanks as strength, ductility, hardness, but at the same time do not worsen the anticorrosion properties characteristic of the original unreinforced aluminum and does not lead to an increase in the total mass of machine parts blanks. To identify the dependence of mechanical properties (optimization parameter  $Y$ ) of the hybrid aluminum matrix composite on the content of reinforcing particles (factors  $X_1$  and  $X_2$ ), a preliminary factorial experiment was carried out with the description of

the conditions of its implementation and the compilation of the planning matrix and the table of the experiment. Regression coefficients are determined, their significance is revealed and using significant coefficients the regression equation - mathematical model is obtained, which adequately describes the process of obtaining aluminum matrix composite, and also allows to optimize the flow rate of reinforcing particles to ensure the required level of mechanical properties of final composites. It was found that both  $X_1$  and  $X_2$  are significant and significantly affect the strength and other mechanical properties of the mechanical engineering billet of the aluminum matrix composite. The adequacy (fitness) of the model was checked by the Fisher criterion. The work was carried out within the framework of solving the problem of selecting promising weight percent compositions of aluminum matrix composites with scientific evaluation and analysis of the influence of selected reinforcing materials on the structure and properties of final aluminum matrix composites by means of methods of primary information processing and factorial experiment (preliminary) within the framework of the project AP19677907 «Study of the influence of micro/nanoparticles, industrial waste and shear on the quality of metal blanks for mechanical engineering».

**Keywords:** aluminum matrix composite, titanium diboride, nanosilica, factorial experiment, composition optimization, regression equation, mechanical properties, reinforcement.

FTAMP 73.29.41

<https://doi.org/10.48081/XLNV6955>

**Қ. К. Елемесов<sup>1</sup>, \*Д. Ж. Басқанбаева<sup>1</sup>,  
Ш. Д. Ахметова<sup>1</sup>, С. М. Аппазова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Сатпаев Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>2</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

\*e-mail: [d.baskanbayeva@satbayev.university](mailto:d.baskanbayeva@satbayev.university)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

### **ЕСКІ ЖЫЛДЫҚ РЕЛЬСТЕРДІҢ ПАЙДАЛАНУ СИПАТТАМАЛАРЫН СЫНАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІН ӨЗІРЛЕУ**

Бұл мақалада рельстің қасиеттерін бағалауға сәйкестік үшін пайдалану қасиеттерін (төзімділік шегі, циклдік төзімділік, шаршау сызатының өсу жылдамдығы, циклдік сызатқа төзімділік, статикалық жарыққа төзімділік) анықтауға арналған сынақтардың әдістемелік кешені жасалынды. Ескі және RP65 рельстерінің пайдалану сенімділігін (төзімділік шегі, циклдік төзімділік, шаршау сызатының өсу жылдамдығы, циклдік сызатқа төзімділігі, статикалық сызатқа төзімділігі) сынау кешенін жүргізу үшін ҚР 2432 – 2013 ж. сәйкес әдістер қолданылды. Салыстыру үшін «АРАЗ» ЖШС (Ақтөбе рельс-арқалық зауыты) шығарған РП 65 типті рельстердің үлгілері пайдаланылды. Осы әзірленген әдіске сәйкес өнімділік сынақтары жүргізілді және рельс қасиеттерінің стандарттарға сәйкестігіне талдау жасалды. Механикалық және пайдалану қасиеттері бойынша ескі рельстердің өнімділігі RP65 санатындағы рельстерге қарағанда төмен екені дәлелденді. Әзірленген әдіс бойынша рельстердің пайдалану сенімділігі тексерілді. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасының теміржол рельстерінің көптеген учаскелеріне ескі R65 рельстері төселген. Ескі рельстерге протектордың бетінде және бастың бүйір бетінде айтарлықтай тозуы бар пайдаланылған рельстер жатады, т.б. пайдалану мерзімін іс жүзінде таусылған және сәйкесінше, одан әрі пайдалану процесінде жеткілікті сенімділікке ие емес. Бұл жағдайда рельстің басын тегістеу және фрезерлеуді қайта пайдалану кезінде ескі рельстерде жүргізіледі, бұл да жылумен нығайтылған қабаттың төмендеуіне байланысты олардың өмір сүруін төмендетеді. Сонымен қатар ескі рельстер жаңа өндірістік нысандарды салуда және кірме жолдарды жөндеуде белсенді түрде қолданылады. Оларды пайдалану темір жолдарды жаңғырту процесін нашарлатады, өйткені ескі үлгідегі рельстердің жиі рұқсаттары болмайды және пайдалану сенімділігі төмен болғандықтан ұзақ қызмет мерзіміне кепілдік бермейді, оларды ауыстыру үшін жөндеу жұмыстарына да қосымша шығындар қажет етіледі.

**Кілтті сөздер:** темір жол рельстері, пайдалану қасиеттері, ескі рельстер, үлгілер, қада беріктігі, жұмысы.

**Кіріспе**

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасының теміржол рельстерінің көптеген учаскелеріне ескі R65 рельстері төселген. Ескі рельстерге протектордың бетінде және бастың бүйір бетінде айтарлықтай тозуы бар пайдаланылған рельстер жатады, т.б. пайдалану мерзімін іс жүзінде таусылған және сәйкесінше, одан әрі пайдалану процесінде жеткілікті сенімділікке ие емес. Сынама әдістеріне келетін болсақ ескі рельстердің эксплуатациялық жағдайлары, теміржол жолынан шығуы және апаттық ақаулары туралы аналитикалық шолуға тоқталайық [1]. Донғалақ жұбының рельс жолымен әрекеттесуінен туындаған үйкеліс процестерінің нәтижесінде олардың беттерінің тозуы орын алады. Бұл пайдалану тиімділігі мен қозғалыс қауіпсіздігінің төмендеуіне, тарту қабілетінің нашарлауына, сондай-ақ айтарлықтай қаржылық шығындарға әкеледі. Рельс ақауы – бұл белгіленген стандарттарға сәйкес келмейтін және өнімнің қызмет ету мерзімін қысқартуға әкеп соғатын кез келген өзгеріс. Олар толық және жартылай болуы мүмкін (мысалы, рельстердің бетінде толқын тәрізді табиғаттың бұзылыстары пайда болғанда). Жылдамдықты шектеуді енгізуді талап ететін және жылжымалы құрамның қозғалысына кедергі келтіретін зақымдану рельстердің толық жарамсыздығына әкеледі [2].

**Материалдар мен әдістер**

Рельстердің төзімділік шегін анықтау арқылы пайдалану сенімділігін талдау әдістеріне тоқталайық. Рельстердің төзімділік шегін анықтау әдісі суық механикалық кесу әдістерімен рельстерден кесілген ұзындығы (1200+10) мм толық профильді үлгілерді сынау, циклдік жүктеу арқылы жүзеге асырылады. Жүктеу схемасы - тегіс үш нүктелі симметриялы иілу. Төменгі тіректер арасындағы қашықтық (1000±5) мм. Жоғарғы пуансон тіректер арасындағы ортаға орнатылады - (500±5) мм. Үлгілер жүктеме циклінің асимметриясы плюс 0,1 болатын рельс басын төмен түсіріп, жұмсақ жүктемеде (күшті бақылау) сыналады. Сынақ базасы - 2 миллион цикл.

Төзімділік шегін анықтауға арналған сынақтар қоршаған орта температурасының 15 ° C-тан 35 ° C-қа дейінгі диапазонында жүргізіледі.

Төзімділік шегін анықтау үшін үлгілерді сынау ±2 % ең жоғары салыстырмалы қателікпен және жүктеме жиілігі 20-дан аспайтын 1000 кН жүктеме циклінің максималды жүктемесін қамтамасыз етуге қабілетті сынақ машинасында (сынау жабдығы) жүргізіледі. ±2 % максималды салыстырмалы қателігі бар Гц.

Сынау кезінде үлгіге әсер ететін жүктеменің мәні сыналатын рельстердің мақсатына сәйкес таңдалған максималды мәннен циклді түрде өзгеруі керек (стандартты көлемді қатайтылған рельстер үшін бұл мән 500-ден 700 кН-ға дейінгі диапазонда) жүктеу циклінің асимметриясы бар минимум плюс 0,1. Әрбір үлгіні сынау кезінде ол үшін таңдалған жүктеу режимі тұрақты болуы керек.

Сынақтар бөлу мәні ±1 кН аспайтын күш өлшегішпен және циклдар санына есептегішпен жабдықталған гидропульсаторы немесе электр-гидравликалық күш түсіретін қондырғысы бар сынақ жабдығында жүргізіледі [3].

Әрбір үлгі жойылғанға дейін немесе сынақ базасынан өткенге дейін сыналады. Сынақтың соңында үлгілер жүктеу циклінің максималды жүктемесін, істен шығу циклдерінің санын немесе сынақ базасының мәнін жазады.



Сурет 1 – Рельстердің төзімділік шегін анықтауға арналған үлгі



Сурет 2 – 700 кН жүктеме кезіндегі сыну, циклдар саны 790056

Кесте 1 – Рельстердің төзімділік шегін анықтау үшін сынақ нәтижелерін талдау

	Үлгі №	Төзімділік шегінің нормаланған мәні, кем емес, МПа	Салыстырмалы ылғалдылық, %	Максималды жүктем, кН	Ц и к л д а р саны	Төзімділік шегі, МПа
Е с к і жылы	1	370	60	700	7 9 0 056	489
	2		60	600	1 111 966	419
	3		60	510	2 000 000	355
РП65	1	370	69	700	2 000 000	489



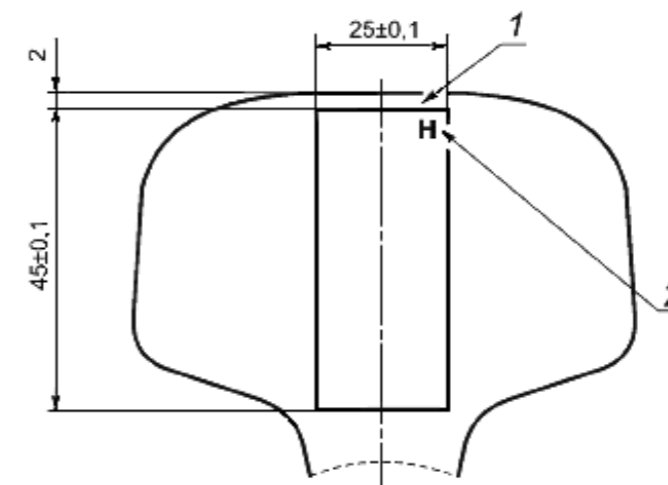
Сурет 3 – 600 кН жүктеме кезіндегі сыну, циклдар саны 1111966



Сурет 4 – Төзімділік сынақтарынан кейінгі ескі рельстің сынуы

К1С статикалық жарыққа төзімділігін сынау. Статикалық жарықшақтарға төзімділікті анықтау ГОСТ 25.506 бойынша жүргізіледі. Кемінде үш үлгі рельстен сыналады.

Статикалық жарықшақтарға төзімділікті анықтауға арналған үлгілер 11-суретке сәйкес рельстерден ГОСТ 25.506 жалпы талаптарына сәйкес жасалуы керек.



Сурет 5 – Статикалық жарықшақтарға төзімділікті анықтауға арналған үлгі

Ойықтың ені 3,5 мм-ден аспайды. Серіппелі орын ауыстыру датчиктерін орнату үшін импульстік разрядпен немесе нүктелік дәнекерлеумен тоқтауларды дәнекерлеуге рұқсат етіледі, бұл жағдайда тіректерді бекітуге арналған бұрандалы тесіктер жасалмайды.

Кетіктен шаршау сызығын жасау кезінде, содан кейін сынау кезінде үлгіні жүктеу схемасы қолданылады [4].

Шаршау крестінің алдын ала қолдану келесі жағдайларда жүзеге асырылады:

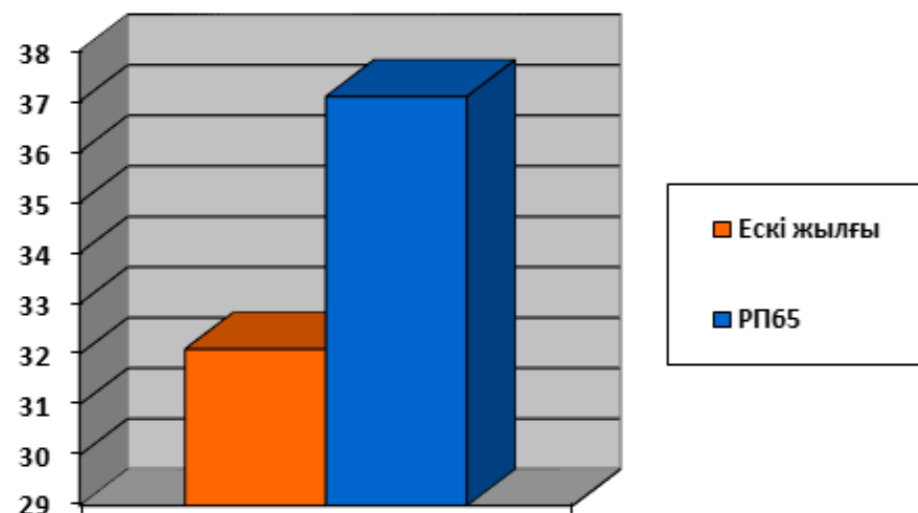
- 0-ден плюс 0,1-ге дейінгі асимметриялы циклдік жүктеме (кернеу аймағындағы ойық);
- жүктеу жиілігі – 5-тен 120 Гц-ке дейін;
- өсіп келе жатқан жарықшақтың шетіне жақын үлгінің температурасы 40 °С жоғары болмауы керек, ал сынақтар жүргізілетін бөлмедегі температура - (20±5) °С;
- сынама енінің 0,45-тен 0,55-ке дейін (үлгінің шетінен ойықпен бірге есептегенде) шаршау сызаты өседі және жарықшақтың соңғы 1,25 мм өсуі кезінде  $K_{max}$  мәні 18-ден аспауы керек. 22 МПа м1/2 .

Статикалық жарықшақтарға төзімділікке сынау кезінде төменгі тіректер арасындағы қашықтық (180±1) мм, ал үлгі температурасы минус (20±2) °С болуы керек. Үлгі температурасын үлгіге дейін балқытпай дәнекерленген термопарамен сызат ұшынан 5–10 мм қашықтықта өлшеу керек.

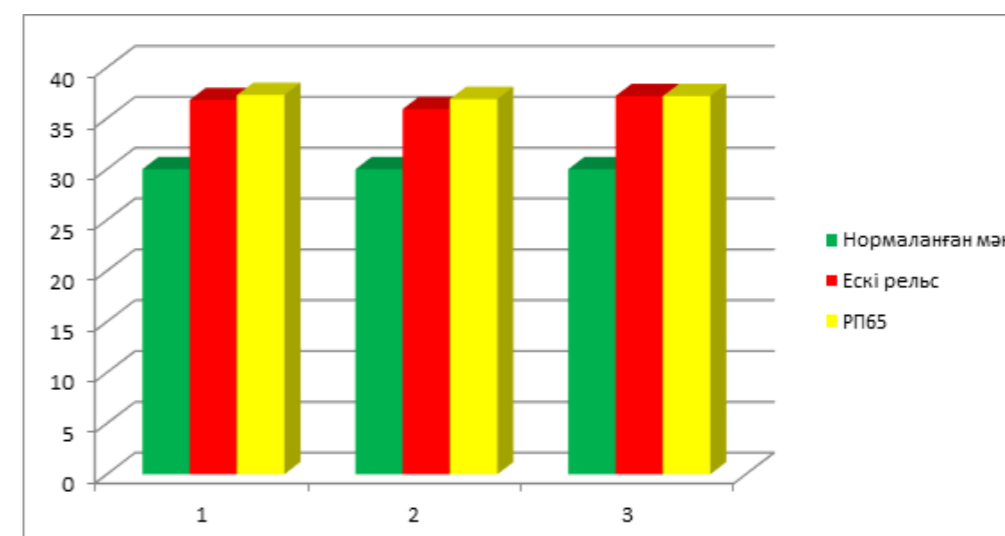


Кесте 2 – Статикалық жарықшақтарға төзімділікке арналған сынақ нәтижелерін талдау

Көрсеткіш	Номиналды мән, кем емес		Үлгі №	Сынау кезіндегі үлгі темп. °С	Бір үлгі үшін	Нақты мағынасы
	Үш үлгі үшін орташа	Үш үлгі үшін орташа				
Бір үлгі үшін						
Ескі жылғы	Жарылуға төзімділік, МПа×м <sup>1/2</sup>	30	32	1	-20	36,8
				2	-20	35,9
				3	-20	37,2
РП65		30	32	1	-20	37,3
				2	-20	36,9
				3	-20	37,2



Сурет 6 – Статикалық жарықшаққа төзімділік көрсеткіші



Сурет 7 – Үш үлгі үшін статикалық жарықшаққа төзімділік

KfC циклдік жарықшаққа төзімділігін сынау. Рельстердің циклдік сызатқа төзімділігін анықтау суық механикалық кесу арқылы рельстерден кесілген ұзындығы (1200+10) мм толық профильді үлгілерді сынау арқылы циклдік жүктеу әдісімен жүзеге асырылады. Жүктеу схемасы - тегіс үш нүктелі симметриялы иілу. Төменгі тіректер арасындағы қашықтық (1000±5) мм. Жоғарғы пуансон тіректер арасындағы ортаға орнатылады – (500±5) мм [5].

Үлгілер жүктеме циклінің асимметриясы плюс 0,1 болатын рельс басын төмен түсіріп, жұмсақ жүктемеде (күшті бақылау) сыналады. Сынақ базасы – 2 миллион цикл.

Сынақтар үй ішінде ауа температурасы 15 °С-тан 35 °С-қа дейін, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 45 % -дан 80 % -ға дейін жүргізіледі. Сынау алдында үлгілер бөлме температурасында 15 °С-ден 35 °С-қа дейін үш сағат бойы сақталуы керек.

Сынақтар келесі жүктеме жағдайлары мен параметрлерін қамтамасыз етуге қабілетті сынау машинасында жүргізіледі: 1000 кН жүктеу циклінің максималды жүктемесі, қателік ±2 %, жүктеме жиілігі ±2 % ең үлкен қателікпен 20 Гц аспайды [6].

Циклдік жарықшақтарға төзімділікті анықтау үшін әрбір үлгі ГОСТ 25.502 бойынша төзімділік шегін анықтауға арналған сынақтарға ұқсас циклдік жүктеме кезінде істен шығады. Әрбір үлгінің басы сынған жағынан суретке түсіріледі. Үлгі бетінде пайда болатын жарықтар фронтының екі нүктесі хорда арқылы біріктірілген. Оның ортасын анықтаңыз. Хорданың ортасында жатқан нүктеден перпендикуляр рельс басының генератриксмен (радиусымен) қиылысуға қалпына келтіріледі. Қиылысу нүктесі шеңбердің центрі ретінде қабылданады, оның доғасы жарықшақ фронтына жақындайды. Жарықтың радиусын (тереңдігін) өлшеу осы нүктеден жарықтар фронтының ең шалғай нүктесіне дейін бір бағытта үш рет

ГОСТ 166 бойынша ШЦ-II-250-0,06 штангенциркуль көмегімен жүргізіледі. Әрбір үлгі үшін бұл сынау кезінде сынған болса, жарықшаққа төзімділік коэффициент кернеу қарқындылығының критикалық мәнін есептеу арқылы анықталады.

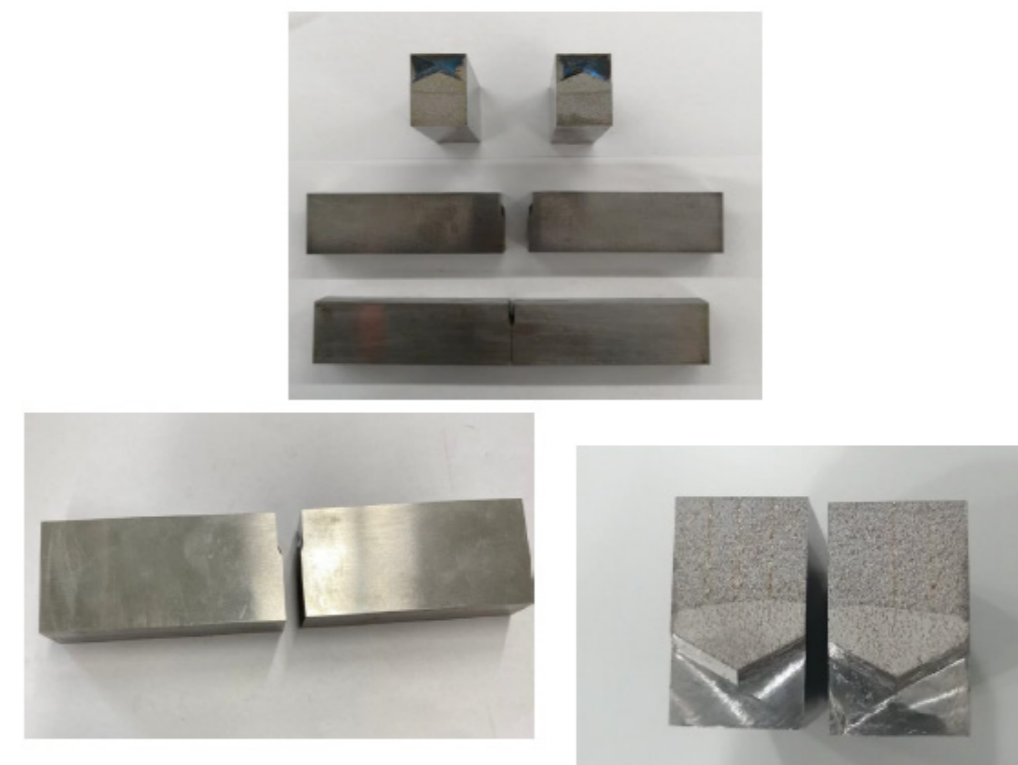
Кесте 3 – Циклдік жарықшақтарға төзімділікке сынау нәтижелерін талдау KfC

	Көрсеткіш	Үлгі №	Қоршаған ортаның температурасы, °C	Салыстырмалы ылғалдылық, %	Номиналды мән, кем емес	Нақты мән
Ескі жылғы	Жарылуға төзімділік, МПа×м <sup>1/2</sup>	1	24	70	32	48,8
		2	24	70		43,2
РП65		1	22	69	32	44,5

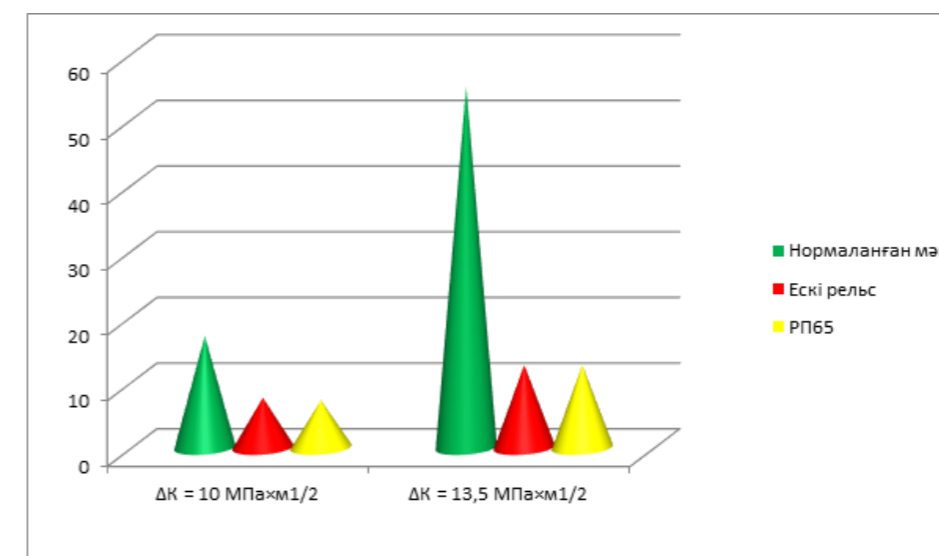
Шаршау сызатының өсу жылдамдығы сынағы. Шаршау сызатының өсу жылдамдығын анықтау үшін сынақтарды жүргізу үшін үлгіні бір-бірінен (180±1) мм қашықтықта орналасқан сынау машинасының тіректеріне орналастырады, осылайша бұрын қолданылған ойық созылу кернеулерінің аймағы. Сынақ машинасының тіректеріне сынаманың бүйір беттерінде ойық осіне перпендикуляр орнату алдында бір-бірінен (1,0±0,1) мм қашықтықта орналасқан ойықтар түрінде белгілер қойылады. Бірінші белгі ойықтың соңынан (1,0±0,1) мм қашықтықта қойылады. Осы белгілерге сәйкес жарықшақтың ұзындығы оның бастапқы өлшемге дейін өсуі кезінде де, жарықшақтардың өсу жылдамдығын анықтау үшін сынақтар кезінде де бақыланады [7].

Кесте 4 – Шаршау сызаттарының өсу жылдамдығын анықтауға арналған сынақтардың нәтижелерін талдау

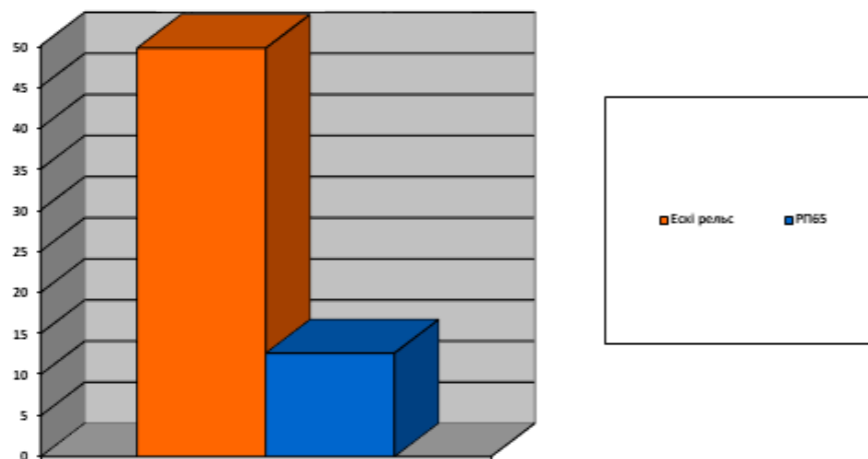
Үлгі №	Үлгі температурасы, °C	Номиналды мән, артық емес м/10 <sup>9</sup>	ΔK = 10 МПа×м <sup>1/2</sup>		ΔK = 13,5 МПа×м <sup>1/2</sup>	
			Нақты мән, м/10 <sup>9</sup>	Нормаланған мән, артық емес м/10 <sup>9</sup>	Нақты мән, м/10 <sup>9</sup>	
Ескі жылғы	1	21	17	7,6	55	12,6
	2			7,3		12,7
РП65	1	22	17	7,2	55	12,6
	2			7,8		13,2



Сурет 8 – К1С статикалық жарықшаққа төзімділігін сынауға арналған үлгілер



Сурет 9 – Шаршау сызатының өсу қарқыны



Сурет 10 – Өсу қарқыны 55м / 109 дан аспауы керек

**Нәтижелер мен талқылау:**

1. Төзімділік шегі – осьтік және дисперсті ликвацияның мойыннан тыс бас және (немесе) табанға 15 мм-ден аспайтын қашықтықта таралуы; мойынның қалыңдығының 1/3 бөлігінен аспайтын сегрегация аймағының ені; мұндай аймақтың ұзындығы 15 мм-ден аз рельстің тік осіне қатысты асимметриялы орналасқан жоғарлатылған және төмендетілген қышқылдық аймақтарының болуымен түсіндіріледі.

2. Металл емес қосындылар – болаттың ластануының жоғарылаған коэффициентіне сәйкес келмейді.

Болаттардың қызмет көрсету қасиеттеріне әсер ету дәрежесі бойынша оксидті металл емес қосындылар ерекше орын алады, олар көп жағдайда тотықсыздану реакцияларының өнімдері болып табылады [4]. Металл емес қосындылардың құрамы және соңғы оттегі мөлшері қолданылатын тотықсыздандырғыштармен, олардың құрамымен, санымен, реттілігімен және оларды балқымаға енгізу әдісімен анықталады. Металдың құрамындағы металл емес қосындылар қызмет ету қасиеттерінің бүкіл кешеніне шешуші әсер етеді. Алайда, тек қосындылардың саны ғана емес, қасиеттерін де анықтайды, бірақ одан да көп дәрежеде олардың сипаты, пішіні, мөлшері мен металдың таралуы қалыптасады. Кейде тіпті бірнеше үлкен қосындылар немесе кішірек жинақтау материалдардың қасиеттеріне әсер етуі мүмкін, мысалы, шнурлы, аспаптық және рельсті болаттар немесе беріктігі жоғары қорытпаларды атап өткен жөн. Металл емес қосындыларды бақылау мәселесі ықтималдық, яғни, қосындылардың жалпы санын ғана емес, сонымен қатар қосындылардың критикалық өлшемдерінің әсерін бағалауға, белгілі бір мақсаттағы болаттар үшін қосындылардың құрамы мен өлшемдік таралуының әсерін бағалауға, сынама алудың сенімді әдістерін қолдануға негізделген және объективті зерттеу әдістеріне негізделеді.

Металл емес қосындылар пластикалық деформация мен қатаюдың «көлемді» процестеріне іс жүзінде әсер етпейді, бірақ олар жергілікті процестерде – деструкцияда, сондай-ақ болаттың түйіршік және фазалық құрамының түзілуінде әртүрлі тәсілдермен көрінеді [8,9].

Болаттың технологиялық (технологиялық икемділігі, құйғыштығы), механикалық (соққыға төзімділігі) және эксплуатациялық қасиеттері (коррозияға төзімділігі) көп жағдайда металл емес қосындыларға байланысты.

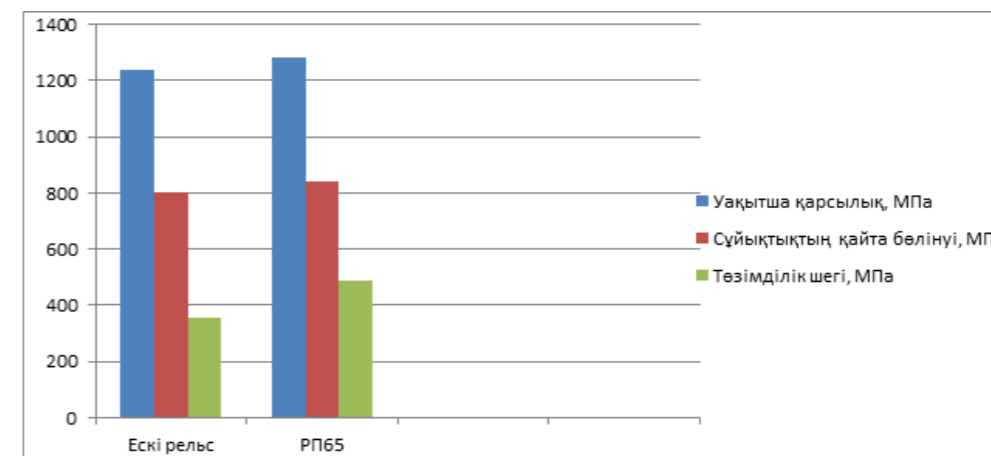
3. Копласт беріктігі – сынау кезінде үлгінің сынуына байланысты сәйкес келмейді, бұл СТ РК 2432-2013 талаптарына сәйкес келмейді. Алдын ала – 60 °С дейін салқындатылған үлгі салмағы 1000 кг салмақтың 5 метр биіктіктен құлауының әсерінен сыналған.

Тәжірибелік сынақтар жылжымалы құрамның доңғалақтарынан түсетін динамикалық жүктемелердің әсерінен сынықтар сынғыштықпен болатын рельстердің сынғыш беріктігін бағалауға мүмкіндік береді.

4. Ескі рельстерді пайдалану протектор бетінің жоғары ақаулығына байланысты кенет істен шығуға әкелуі мүмкін [10,11].

Кесте 5 – Пайдалану сенімділігін талдау

Аталуы	Рельстердің пайдалану сенімділігі				
	Төзімділік шегі	Статикалық жарыққа төзімділік	Циклдік төзімділік	Шаршау сызатының өсу қарқыны	
				$\Delta K = 10$ МПа $\times$ м <sup>1/2</sup>	$\Delta K = 13,5$ МПа $\times$ м <sup>1/2</sup>
СТ РК 2432-2013, ГОСТР 51685-2013 бойынша нормаланған көрсеткіштер	Кем емес 370 МПа	32МПа $\times$ м <sup>1/2</sup>	5 млн цикл	17м/10 <sup>9</sup>	55м/10 <sup>9</sup>
Ескі рельс	355	32,1	Сәйкес келеді	15,3	49,7
РП 65 санаты өнеркәсіп рельсі	489	37,1	Сәйкес келеді	7,2	12,6



Сурет 11 – Пайдалану сенімділігін талдау

**Қорытынды.** Осы әзірленген әдіске сәйкес өнімділік сынақтары жүргізілді және рельс қасиеттерінің стандарттарға сәйкестігіне талдау жүргізілді. Механикалық және пайдалану қасиеттері бойынша ескі рельстердің өнімділігі RP65 санатындағы рельстерге қарағанда төмен. Салыстырмалы талдау негізінде ескі рельстер бірқатар көрсеткіштер мен пайдалану сенімділігі бойынша RP 65 және DT 350 санатындағы рельстерден өнімділік жағынан айтарлықтай төмен екендігі шығады. Салыстырмалы талдау негізінде ескі рельстер бірқатар көрсеткіштер мен пайдалану сенімділігі бойынша RP 65 және DT 350 санатындағы рельстерден өнімділік жағынан айтарлықтай төмен екендігі шығады.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Zhou, Q.-C & Fan, Sixia & Zhao, Jackson & Xiong, X.-L.** Tunnel deformation monitoring system based on multi-agent technique // Journal of Railway Engineering Society. – 2014. – № 31. – P. 77–82.

2 **Woodward, P. & Kennedy, Justin & Medero, Gabriela & Banimahd, Meysam.** Maintaining absolute clearances in ballasted railway tracks using in situ three-dimensional polyurethane GeoComposites // Journal of Rail and Rapid Transit. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: – 2012. – P. 257–271. DOI: 10.1177/0954409711420521.

3 **Peter Gilmour.** Path analysis: Its use in transportation research // Transportation Research. – Vol. 12, Issue 6. – 1978, p.377–384, ISSN 0041-1647. – [Электрондық ресурс]. – [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(78\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(78)90025-4).

4 **Piotr, Gołębowski., Jacek, Kukulski.** Preliminary study of shaping the railway track geometry in terms of their maintenance costs and capacity // Archives of Transport. 2020. – 53. – P. 115–128. doi: 10.5604/01.3001.0014.1787.

5 **Шур, Э. А.** Повреждения рельсов – М. : Интекст, 2012. –192 с.

6 **Бондарь, И., Квашнин, М., Алдекеева, Д., Бекжанова, С., Избаирова, А. и Акбаева, А.** Влияние деформированного состояния автомобильного моста на эксплуатационную безопасность // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. – 2022., 2(7 (116), 29–34. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255275>

7 **Гурвич А. К., Довнар Б. П., Козлов В. Б., Круг Г. А., Кузьмина Л. И., Матвеев А. Н., Гурвич А. К.** Неразрушающий контроль при эксплуатации и ремонте рельсов – М. : Транспорт, 1983. – 318 с.

8 **Н. А. Махутов и др.** Усталость рельсовой стали после работы // Материалы 5-й международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» – М. : ИМЕТ РАН. – 2014.

9 **К. В. Григорович, П. В. Красовский, А. С. Трушникова.** Анализ неметаллических включений – основа контроля качества стали и сплавов// Аналитика и контроль. – 2002. – № 2. – С. 133–142.

10 ҚР СТ 2432 – 2013. Дифференциалды қатайтылған және термобекітілмеген темір жол рельстері. Жалпы техникалық шарттар.

11 Қазақстан Республикасының темір жолында ескі рельстерді пайдалану жөніндегі нұсқаулық. 2003 ж.

#### REFERENCES

1 **Zhou, Q.-C & Fan, Sixia & Zhao, Jackson & Xiong, X.-L.** Tunnel deformation monitoring system based on multi-agent technique // Journal of Railway Engineering Society. – 2014. – №31. –P. 77–82.

2 **Woodward, P. & Kennedy, Justin & Medero, Gabriela & Banimahd, Meysam.** Maintaining absolute clearances in ballasted railway tracks using in situ three-dimensional polyurethane GeoComposites // Journal of Rail and Rapid Transit. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: – 2012. –pg. 257–271. DOI: 10.1177/0954409711420521.

3 Peter Gilmour. Path analysis: Its use in transportation research // Transportation Research. – Vol. 12, Issue 6, 1978. – P. 377–384, ISSN 0041-1647. – [Electronic resource]. – [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(78\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(78)90025-4).

4 **Piotr, Gołębowski., Jacek, Kukulski.** Preliminary study of shaping the railway track geometry in terms of their maintenance costs and capacity // Archives of Transport. 2020. – 53. – P. 115–128. doi: 10.5604/01.3001.0014.1787.

5 **SHur, E. A.** Povrezhdeniya rel'sov - M.: Intekst, 2012. -192 s.

6 **Bondar' I., Kvashnin M., Aldekeeva D., Bekzhanova S., Izbaierova A. i Akbaeva A.** Vliyanie deformirovannogo sostoyaniya avtomobil'nogo mosta na ekspluatatsionnyuyu bezopasnost' // Vostochno-evropejskij zhurnal korporativnyh tekhnologij. – 2022, 2(7 (116), 29–34. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255275>.

7 **Gurvich A. K., Dovnar B. P., Kozlov V. B., Krug G. A., Kuz'mina L. I., Matveev A. N., Gurvich A. K.** Nerazrushayushchij kontrol' pri ekspluatatsii i remonte rel'sov – М. : Transport, 1983. –318 P.

8 **Mahutov N. A. i dr.** Uсталost' rel'sovoj stali posle raboty // Materialy 5-j mezhdunarodnoj konferencii «Deformatsiya i razrushenie materialov i nanomaterialov» – М. : IMET RAN, 2014.

9 **K. V. Grigorovich, P. V. Krasovskij, A. S. Trushnikova.** Analiz nemetallicheskih vkluchenij — osnova kontrolya kachestva stali i splavov // Analitika i kontrol'. – 2002. – № 2. – P. 133–142.

10 ҚР СТ 2432 – 2013. Дифференциалды қатайтылған және термобекітілмеген темір жол рельстері. Жалпы техникалық шарттар.

11 Қазақстан Республикасының темір жолында ескі рельстерді пайдалану жөніндегі нұсқаулық. 2003 ж.

Материал 14.07.23 баспаға түсті.

К. К. Елемесов<sup>1</sup>, \*Д. Д. Басқанбаева<sup>1</sup>, Ш. Д. Ахметова<sup>1</sup>, С. М. Аппазова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сатпаев Университеті, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2</sup>Қызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан, г. Кызылорда.

Материал поступил в редакцию 14.07.23.

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАРОГОДНИХ РЕЛЬСОВ

*В данной статье разработан методический комплекс испытаний по определению эксплуатационных свойств (предела выносливости, циклической стойкости, скорости роста усталостной трещины, циклической трещиностойкости, статической светостойкости) на соответствие оценке свойств рельсов. РК 2432 - 2013 на проведение комплекса испытаний на эксплуатационную надежность (предел выносливости, циклоустойкость, скорость роста усталостной трещины, циклоустойкость, статическая трещиностойкость) рельсов старого и РП65 использовались соответствующие методы. Для сравнения использовались образцы рельсов типа РП65 производства ТОО «АРБЗ» (Актюбинский рельсобалочный завод). По разработанному методу были проведены эксплуатационные испытания и проанализированы свойства рельсов на соответствие стандартам. Доказано, что по механическим и эксплуатационным свойствам старые рельсы уступают рельсам категории РП65. С помощью разработанного метода была проверена надежность рельсов. В настоящее время многие участки железнодорожных путей Республики Казахстан проложены старыми рельсами Р65. К старым рельсам относятся бывшие в употреблении рельсы со значительным износом поверхности катания и боковой поверхности головки и т.п. практически истек и, соответственно, не имеет достаточной надежности в процессе дальнейшего использования. В этом случае на старых рельсах при повторном использовании производится шлифование и фрезерование головки рельса, что снижает их ресурс за счет уменьшения термоармированного слоя. Кроме того, старые рельсы активно используются при строительстве новых производств и ремонте подъездных путей. Их применение ухудшает процесс модернизации железных дорог, так как рельсы старого образца часто не имеют зазоров и не гарантируют длительный срок службы из-за низкой эксплуатационной надежности, а их замена также требует дополнительных затрат на ремонт.*

*Ключевые слова: железнодорожные рельсы, эксплуатационные свойства, старогодние рельсы, модели, прочность сваи, эксплуатация.*

К. К. Yelemessov<sup>1</sup>, \*D. D. Baskanbayeva<sup>1</sup>, Sh. D. Akhmetova<sup>1</sup>, S. M. Appazova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satpayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>2</sup>Korkyt Ata Kyzylorda University, Kazakhstan of Republic, Kyzylorda.

Material received on 14.07.23.

### DEVELOPMENT OF TESTING TECHNIQUES AND INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF OLD RAILS

*In this article, a methodological set of tests has been developed to determine the operational properties (endurance limit, cyclic resistance, fatigue crack growth rate, cyclic crack resistance, static light resistance) for compliance with the assessment of rail properties. RK 2432 - 2013 to conduct a set of tests for operational reliability (endurance limit, cycle resistance, fatigue crack growth rate, cycle resistance, static crack resistance) of old and RP65 rails, appropriate methods were used. For comparison, samples of rails of the RP65 type produced by ARBZ LLP (Aktobe Rail and Section Works) were used. According to the developed method, operational tests were carried out and the properties of the rails were analyzed for compliance with the standards. It is proved that in terms of mechanical and operational properties, old rails are inferior to rails of category RP65. Using the developed method, the reliability of the rails was tested. At present, many sections of the railway tracks of the Republic of Kazakhstan are laid with old R65 rails. Old rails include used rails with significant wear on the tread surface and the side surface of the head, etc. has practically expired and, accordingly, does not have sufficient reliability in the process of further use. In this case, on reused old rails, grinding and milling of the rail head are performed, which reduces their resource by reducing the thermally reinforced layer. In addition, old rails are actively used in the construction of new industries and the repair of access roads. Their use impairs the process of railway modernization, since old-style rails often do not have gaps and do not guarantee a long service life due to low operational reliability, and their replacement also requires additional repair costs.*

*Keywords: railway rails, operational properties, old rails, models, pile strength, operation.*

**А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, \*А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>, А. С. Янюшкин<sup>3</sup>,  
Д. А. Искакова<sup>4</sup>, И. Т. Тукаев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,5</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>3</sup>Чувашский государственный университет имени Н. Ульянова,  
Чувашская Республика, г. Чебоксары.

\*e-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru)

### **ВЛИЯНИЕ СОТС И ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦОВОЙ СБОРНОЙ РАЗВЁРТКИ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ**

*В настоящее время существует большое разнообразие металлорежущих инструментов. Номенклатуру режущего инструмента определяют на основе анализа форм, размеров, требуемой точности и шероховатости основных и дополнительных поверхностей деталей с учётом вида выбранной заготовки.*

*На повышение стойкости и износостойкости инструментов, также при металлообработке, эффективное влияние оказывает применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Физико-химический механизм действия СОТС достаточно сложен и, в основном, обусловлен изменением условий взаимодействия поверхностей режущего клина инструмента с обрабатываемым материалом, что выражается, прежде всего, в изменении условий контактирования.*

*На основе проведённого анализа конструкций отечественных и зарубежных производителей металлорежущих инструментов сделан вывод, что разработка новых конструкций осуществляется в направлении проектирования сборных конструкций, сменных режущих пластин, а также с применением комбинированных режущих инструментов.*

*Конструктивные особенности резцовой сборной развёртки и качество рабочих поверхностей режущего клина зубьев обеспечивают высокую эффективность чистой операции развёртывания, повышение точности обработки, а также стойкость инструмента и снижение шероховатости обрабатываемых деталей.*

*Экспериментальными исследованиями обработки отверстий резцовой сборной развёртки на основе методики планирования получены, что качество обработки отверстий резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев при применении СОТС увеличивается в 1,2..1,3 раза, вследствие уменьшения температуры и трения в зоне резания.*

*Ключевые слова: резание, СОТС, металлорежущий инструмент, резцовая сборная развёртка, режимы резания, точность, шероховатость.*

### **Введение**

В настоящее время существует большое разнообразие металлорежущих инструментов. Номенклатуру режущего инструмента определяют на основе анализа форм, размеров, требуемой точности и шероховатости основных и дополнительных поверхностей деталей с учётом вида выбранной заготовки.

Разработке и проектированию режущего инструмента посвящены работы Кирсанова С. В., Гречишникова В. А., Схиртладзе А. Г., Кожевникова Д. В., Петрушина С. И., Кацева П. Г., Дудак Н. С. и др. [1–3]

На повышение стойкости и износостойкости инструментов, также при металлообработке, эффективное влияние оказывает применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Физико-химический механизм действия СОТС достаточно сложен и, в основном, обусловлен изменением условий взаимодействия поверхностей режущего клина инструмента с обрабатываемым материалом, что выражается, прежде всего, в изменении условий контактирования.

Общепринято, что при резании металлов активные в химическом отношении поверхности инструмента и стружки вступают в химическую реакцию с компонентами СОТС, в результате чего образуются защитные плёнки, экранирующие адгезию между ювенильными поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов.

Опыт передовых машиностроительных заводов показывает, что эффективные СОТС позволяют в 1,2–4 раза повысить стойкость инструмента, на 20–60 % форсировать режимы резания, уменьшить энергозатраты при механообработке. При правильном выборе состава и концентрации компонентов, входящих в состав СОТС, можно увеличить стойкость режущего инструмента от 2 до 6 раз [4–6].

На основе проведённого анализа конструкций отечественных и зарубежных производителей металлорежущих инструментов можно сформулировать вывод, что разработка новых конструкций осуществляется в направлении проектирования сборных конструкций, сменных режущих пластин, а также с применением комбинированных режущих инструментов.

С учётом изложенного были разработаны конструкции новых металлорежущих инструментов для обработки отверстий:

1) Резцовая сборная развёртка с безвершинными зубьями, грязевыми канавками и сменными компенсационными пластинами – состоит из корпуса, в который устанавливаются четыре вставных резца-зуба развёртки, установленных в пазы со смещением друг относительно друга вдоль оси и закреплённых прижимами с компенсационными пластинами для установки перед каждой переточкой и обеспечения снятия припуска на переточку.

2) Резцовая сборная развёртка со сдвоенными безвершинными зубьями, грязевыми канавками и сменными компенсационными пластинами.

3) Резцовая сборная развёртка со сдвоенными разными по высоте зубьями-резцами с безвершинными зубьями, грязевыми канавками и сменными компенсационными пластинами.

4) Резцовая сборная развёртка с регулируемыми безвершинными зубьями и грязевыми канавками.

5) Резцовая сборная развёртка с жёстким креплением безвершинных зубьев, грязевыми канавками и сменными компенсационными пластинами [7].

Особенностью предложенных инструментов является то, что их рабочая часть, т.е. режущие и калибрующие зубья, имеют повышенную способность самоцентрирования при резании за счёт исключения вершин зубьев. Кроме того, многократное калибрование обработанной поверхности обеспечивает получение более стабильного размера и уменьшается величина отклонений от заданного размера с целью повышения качества обработки [8–10].

**Материалы и методы**

Использование известных и апробированных методов исследований теории резания, принципов машиностроения, теоретической механики, проектирования металлорежущих инструментов, методов математического моделирования и оптимизации параметров для достижения требуемого качества с учётом экспериментальных исследований влияния конструктивных параметров ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов на триботехнические характеристики на основе точности обработки, качества, шероховатости поверхности и типа производства.

Используя программный продукт APM WinMachine выполнен расчёт конструкций новых металлорежущих инструментов – резцовых сборных развёрток. Исходные данные: материал корпуса – сталь 45, а вставных зубьев-резцов – Т15К6. Диаметр обработки 45 мм, обрабатываемый материал – сталь 45.

Режимы резания учитывались по 4 вариантам (на одной линии с прижимами; на одной линии без прижимов; по винтовой линии с прижимами; по винтовой линии без прижимов):

– 1 вариант:  $S = 0,2$  мм/об;  $n = 160$  об/мин,  $t = 0,25$  мм. Параметры нагрузки на 4 зуба-резца:  $P_x = 328$ ;  $P_y = 612$ ;  $P_z = 918$ ;

– 2 вариант:  $S = 1,4$  мм/об;  $n = 160$  об/мин,  $t = 0,25$  мм. Параметры нагрузки на 4 зуба-резца:  $P_x = 328$ ;  $P_y = 612$ ;  $P_z = 918$ ;

– 3 вариант:  $S = 0,2$  мм/об;  $n = 160$  об/мин,  $t = 0,5$  мм. Параметры нагрузки на 4 зуба-резца:  $P_x = 656$ ;  $P_y = 1144$ ;  $P_z = 1836$ ;

– 4 вариант:  $S = 1,4$  мм/об;  $n = 160$  об/мин,  $t = 0,5$  мм. Параметры нагрузки на 4 зуба-резца:  $P_x = 656$ ;  $P_y = 1144$ ;  $P_z = 1836$ .

Результаты расчётов конструкций резцовых сборных развёрток сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов конструкций сборных резцовых развёрток

Вариант	Глубина резания, мм	Эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа	Суммарное линейное перемещение, мм	Коэффициент запаса по прочности	
		Максимальное значение	Максимальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение
1	0,25	57,064	0,009	13,668	1000
	0,5	114,524	0,019	6,826	
2	0,25	91,729	0,025	11,628	1000
	0,5	179,909	0,048	5,931	
3	0,25	59,239	0,012	10,322	1000
	0,5	118,458	0,0245	5,162	
4	0,25	58,506	0,007	18,549	1000
	0,5	115,263	0,014	9,243	

Анализ результатов конструкций резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев (таблица 1) представлен на рисунках 1-3.

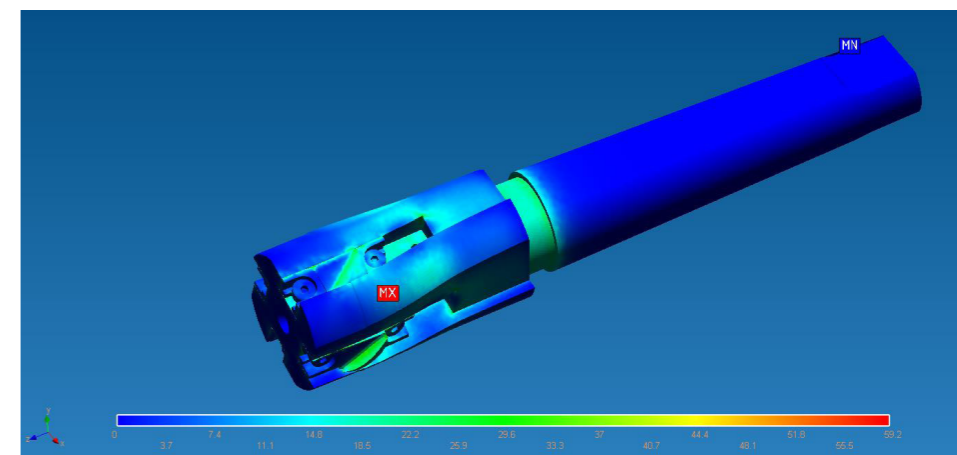


Рисунок 1 – Эквивалентное напряжение по Мизесу резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев по винтовой линии

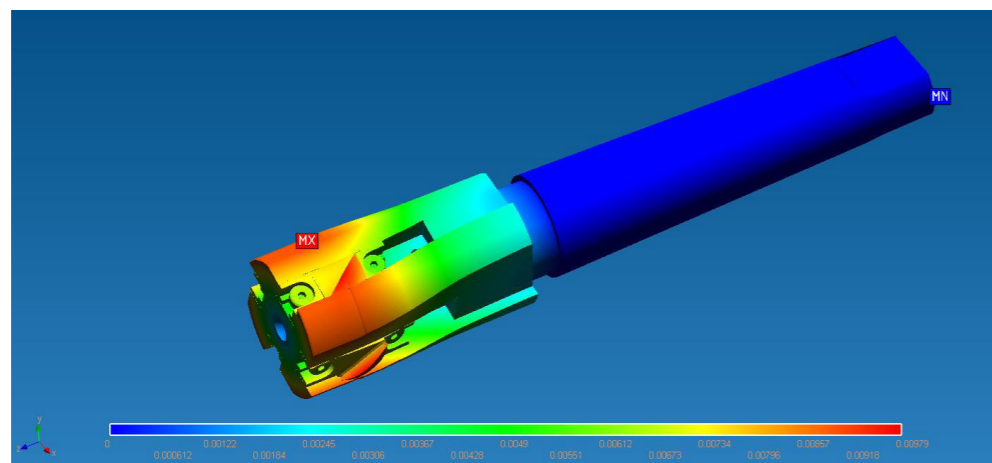


Рисунок 2 – Суммарное линейное перемещение резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев по винтовой линии

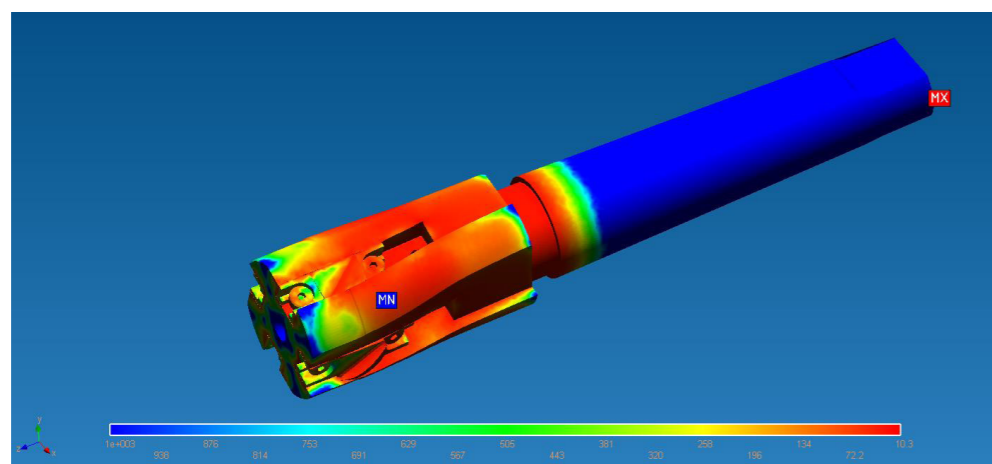


Рисунок 3 – Коэффициент запаса по прочности резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев по винтовой линии

Проанализировав полученные в результате расчёта карты результатов, оцениваем прочностные свойства смоделированной конструкции резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев по винтовой линии сформулируем следующие выводы о её работоспособности:

– максимальное значение эквивалентного напряжения по Мизесу составляет 58,506 МПа;

– максимальное суммарное линейное перемещение 0,007 мм, говорит о том, что при обработке отклонение от заданной формы минимально;

– обладает хорошими показателями коэффициентов запаса прочности – 1,549.

Таким образом, применение программы APM WinMachine при расчёте металлорежущих инструментов позволяет повысить производительность проектирования и исследовать многовариантность режимов резания.

### Результаты и обсуждения

Анализ существующих конструкций и исследования обработки отверстий режущими инструментами привели к разработке нового металлорежущего инструмента – резцовой сборной развёртки с безвершинными зубьями – для разворачивания отверстий повышенного качества поверхности и точности диаметра. Безвершинные резцы-зубья разработанного инструмента лишены одного из недостатков – наличия вершины, наиболее слабой и изнашивающейся части режущей кромки обычных резцов. Но для повышения точности и качества обработки указанной развёрткой необходимо переднюю и заднюю поверхности зубьев доводить после операции заточки, при этом повышается также и стойкость зубьев развёртки [11].

Для повышения качества обработки необходимо исключить абразивное трение между направляющей и обработанной поверхностью.

Для исключения абразивного трения на направляющих элементах корпуса и их износа выполнены грязевые канавки вдоль образующих направляющего цилиндра. Для исключения возможности внедрения передней кромки направляющих элементов на корпусе развёртки в обработанную поверхность выполнена фаска вдоль направляющей окружности, затрудняющая внедрение при возникновении вибраций в процессе резания, что также повышает качество обработки деталей.

С целью увеличения срока службы и ресурса развёртки за счёт увеличения количества переточек предусмотрены сменные компенсационные пластины, установленные под основание зубьев-резцов, меняемые при каждой переточке, для компенсации потери размера резца по высоте.

Таким образом, конструктивные особенности резцовой сборной развёртки и качество рабочих поверхностей режущего клина зубьев обеспечивают высокую эффективность чистовой операции развёртывания, повышение точности обработки, а также стойкость инструмента и снижение шероховатости обрабатываемых деталей.

Дальнейшее совершенствование привело к разработке сборной резцовой развёртки, у которой удвоенное количество резцов-зубьев, настроенных на один диаметр обработки для лучшего калибрования отверстия [7].

В процессе обработки отверстий происходит изнашивание инструмента, что ухудшает качество обрабатываемой поверхности, меняется настраиваемый размер и необходимо выполнять заточивание инструмента. Повысить стойкость инструмента возможно применением резцовой сборной развёртки с регулированием безвершинных зубьев.

Конструкция резцовой сборной развёртки с безвершинными зубьями, у которой отсутствуют прижимы, что позволяет повысить жёсткость зубьев-резцов развёртки в осевом и радиальном направлениях, благодаря креплению зубьев-резцов непосредственно к корпусу крепёжными винтами, и уменьшается количество деталей, входящих в состав развёртки, её габаритных размеров, себестоимость изготовления резцовой сборной развёртки, уменьшаются вибрации



при обработке, а, следовательно, обеспечивается более высокое качество обрабатываемого отверстия.

Таким образом, на основании выше изложенного можно сформулировать следующие выводы:

1) Применение конструкций резцовых сборных развёрток с безвершинными зубьями улучшает центрирование и виброустойчивость инструмента и позволяет увеличить качество и производительность обработки цилиндрических отверстий.

2) Конструкция сборной развёртки со сдвоенными безвершинными зубьями производит лучшее выглаживание и калибровку обрабатываемого отверстия, что повышает качество обработки: повышает точность размера и уменьшает отклонения от правильной геометрической формы (отклонения от круглости).

3) В формировании качества обрабатываемого отверстия возрастает роль увеличенного центрирующего эффекта, за счёт увеличения количества работающих зубьев.

4) Сдвоенные безвершинные зубья-резцы увеличивают степень центрирования режущей части развёртки одновременно в нескольких сечениях по длине отверстия, что повышает точность отверстия за счёт уменьшения отклонений от правильной геометрической формы в продольном сечении, то есть отклонений от цилиндричности.

5) Сдвоенные безвершинные зубья-резцы с регулированием диаметров увеличивают стойкость инструмента и время до переточки [7].

На основе методики планирования экспериментальных исследований обработки отверстий резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев получены эмпирические зависимости, которые проверены на адекватность по критерию Фишера; на гипотезу однородности дисперсий по критерию Кохрена; значимость коэффициентов при помощи критерия Стьюдента.

Проведение экспериментальных исследований осуществлялись на вертикально-сверлильном станке модели 2A135, техническая характеристика которого приведена в нормативно-технической документации [12].

Материал заготовок – сталь 45. Предварительно заготовки будут обрабатываться под переднюю направляющую инструмента и закрепляются трёхкулачковым самоцентрирующимся патроном, который установлен на столе станка. Инструмент будет закрепляться при помощи переходных втулок непосредственно в шпиндель станка.

Качество поверхности отверстий после обработки проверялась на точность цифровым индикатором TESA DIGICO-10 и шероховатость поверхности отверстия обрабатываемой детали измерялась профилометром HOMMEL Tester T1000.

СОТС МР-7 масляная смазочно-охлаждающие жидкость широкого круга операций: точение, фрезерование, сверление, протягивание углеродистых, легированных, нержавеющей и жаропрочных сталей: смазывающее охлаждающее и моющее действие, образовыва прочную маслянистую пленку на контактных поверхностях, тем самым снижая трение и уменьшается тепловыделение.

Физико-химические характеристики, согласно ТУ 0258-019-23693454-2009: однородная жидкость от светло до темно-коричневого цвета; вязкость кинематическая при 50 °С 23,0...30,0 сСт; плотность при 20 °С 3850–950 кг/м<sup>3</sup>; температура вспышки в открытом тигле не ниже 140 °С; массовая доля серы 1,0–2,0 % масс; содержание механических примесей не более 0,04 %.

На основе полученных данных проведенных экспериментальных исследований построены графики влияния режимов резания на качество обработки отверстий  $\varnothing 45$  мм длиной 45 мм при  $t = 0,5$  мм = const (рисунки 4-9). На рисунках 4-9: 1 – обработка с СОТС, 2 – без СОТС.

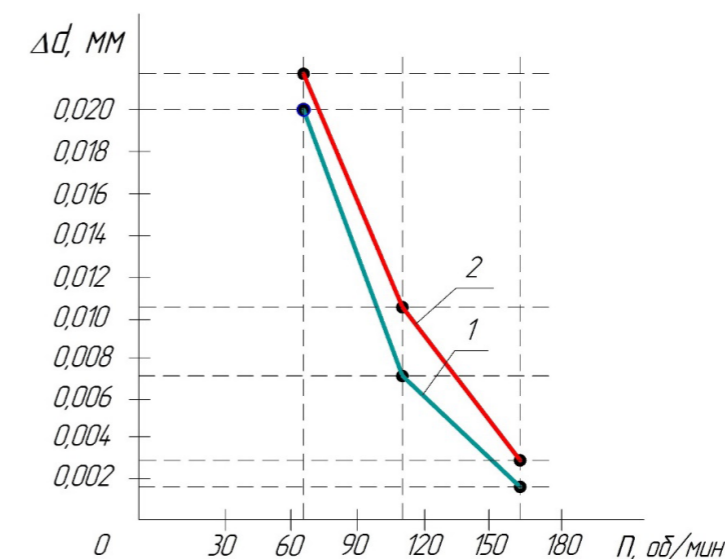


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения на отклонение диаметра

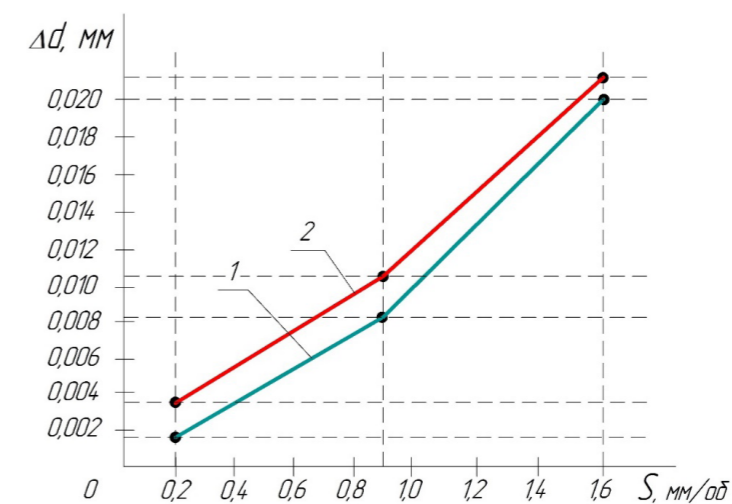


Рисунок 5 – Влияние подачи на отклонение диаметра

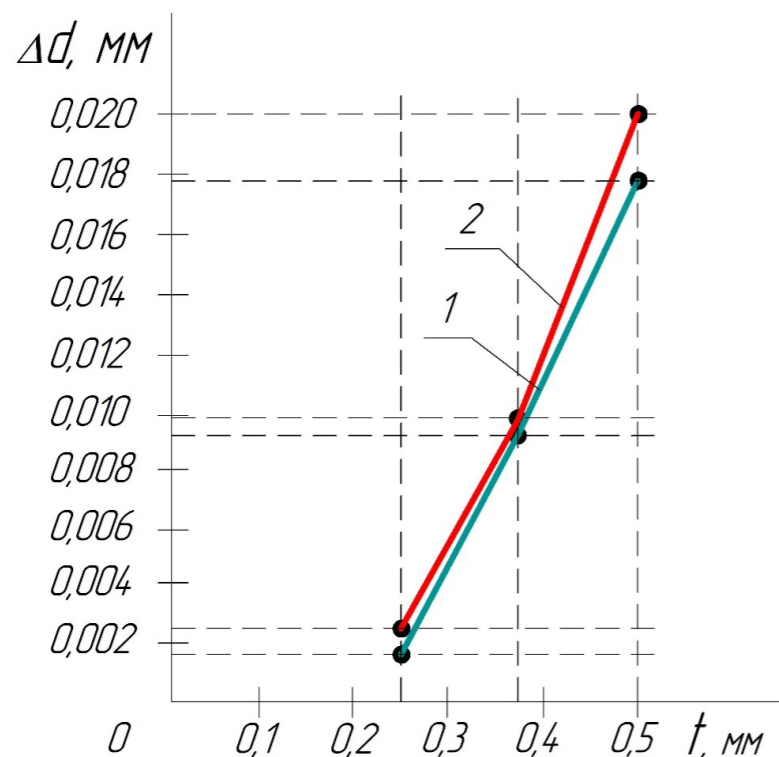


Рисунок 6 – Влияние глубины резания на отклонение диаметра

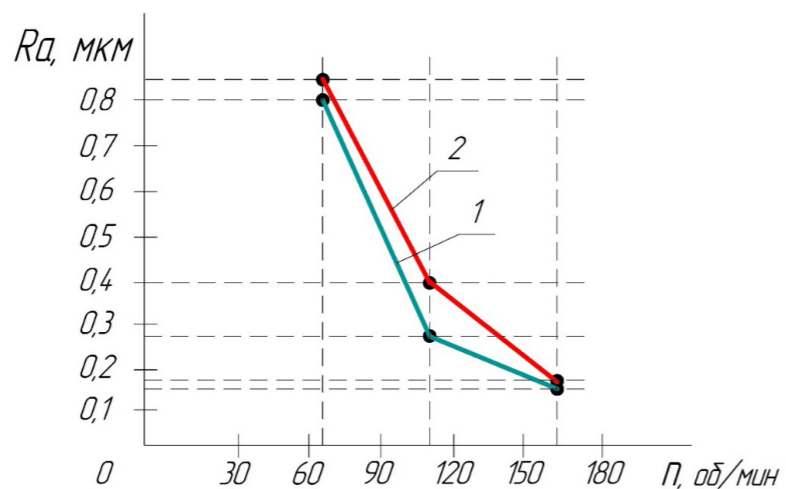


Рисунок 7 – Влияние частоты вращения на шероховатость поверхности

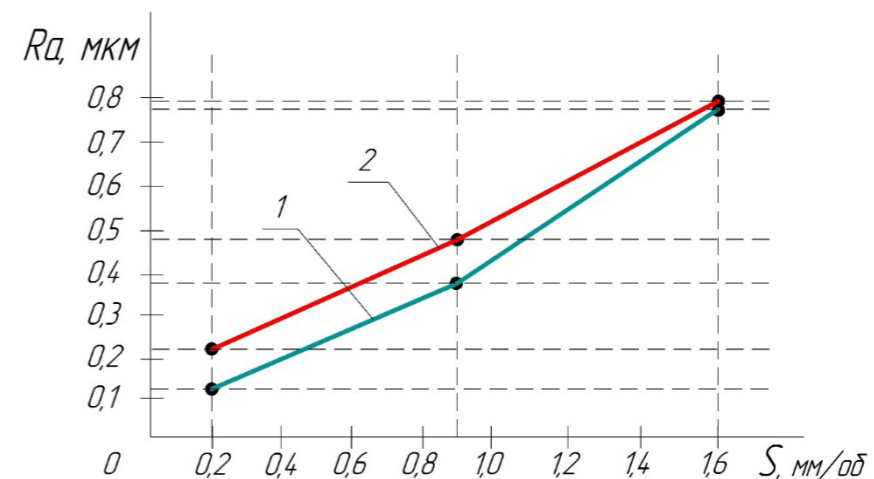


Рисунок 8 – Влияние подачи на шероховатость поверхности

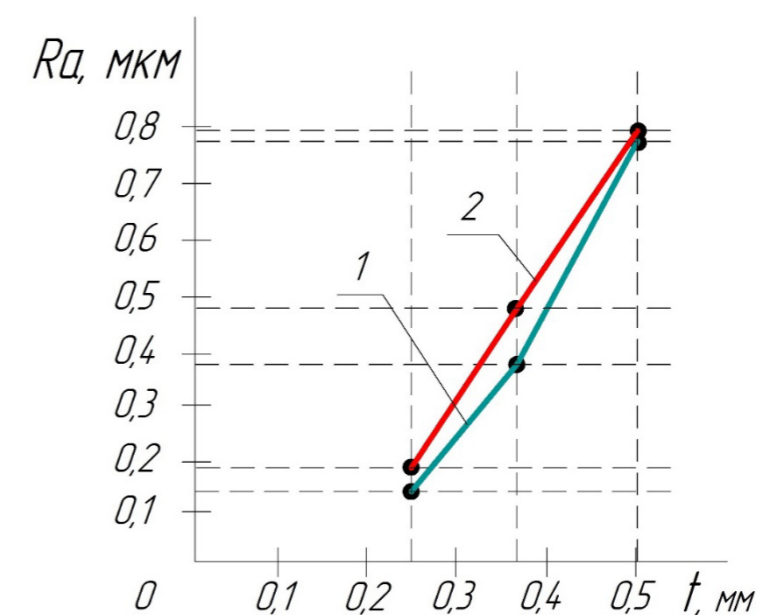


Рисунок 9 – Влияние глубины резания на шероховатость поверхности

Таким образом, анализ обработки отверстий резцовой сборной развёртки с жёстким креплением безвершинных зубьев показал, что качество обработки отверстий увеличивается в 1,2..1,3 раза с применением СОТС, вследствие уменьшения температуры и трения в зоне резания.

**Выводы**

Резцовые сборные развёртки с безвершинными зубьями обеспечивают высокую эффективность и стабильность чистовой операции развёртывания, улучшение центрирования, снижение шероховатости обрабатываемых деталей и способствуют повышению точности и качеству обработки отверстий.

Экспериментальные исследования обработки отверстий резцовой сборной развёртки на основе методики планирования получены:

– качество обработки отверстий резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев при применении СОТС увеличивается в 1,2..1,3 раза, вследствие уменьшения температуры и трения в зоне резания;

– при обработке отверстий длиной 20 мм, 45 мм, 90 мм резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев с увеличением подачи и глубины резания увеличиваются отклонение диаметра и шероховатость поверхности и уменьшаются – с увеличением частоты вращения.

#### Финансирование

Исследования выполнены в рамках грантового финансирования научных и (или) научно-технических проектов на 2023–2025 годы по проекту ИРН АР19678887 «Исследование триботехнических характеристик ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки и высшего образования МНВО РК.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Инструменты для обработки точных отверстий / С. В. Кирсанов, В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. И. Кокарев. – Издание второе, исправленное и дополненное. – М. : Научно-техническое издательство «Машиностроение», 2005. – 336 с. – (Библиотека инструментальщика). – ISBN 5-217-03179-4.

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

3 Торцовое точение отверстий / Р. Б. Муканов, А. Ж. Касенов, Г. Т. Итыбаева [и др.] // СТИН. – 2018. – № 8. – С. 23–27.

4 Жданов, А. А., Крайнев, Д. В., Фролов, Е. М. и др. Подходы к измерению сил резания на токарных станках с ЧПУ с применением СОТС // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2023. – № 3(274). – С. 11–14. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-3-274-11-14.

5 Аманов, Х. Я., Синодеева П. И. Применение инновационных СОТС при резании // Электромеханотроника и управление : Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 16–18 мая 2023 года. Том 4. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2023. – С. 68.

6 Власов, С. Н. Баландина, Т. В., Власова, А. С. Повышение периода стойкости режущего инструмента при прерывистом резании // Парадигма. – 2019. – № 2. – С. 109–113.

7 Таскарина, А. Ж. «Обеспечение высокой точности обработки с применением сборной развёртки» диссертация на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности 6D071200 – «Машиностроение». Алматы, 2014. – 132 с.

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

9 Григорьев, С. Н., Табаков, В. П., Волосова, М. А. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента. – Moscow., 2006. – 268 с.

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

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

12 Вертикально-сверлильный станок модели 2А135. Паспорт. – М., 1973. – 51 с.

#### REFERENCES

1 Instrumenty dlya obrabotki tochnykh otverstiy xTools for processing precision holes / S. V. Kirsanov, V. A. Grechishnikov, A. G. Skhirtladze, V. I. Kokarev. – Second edition, revised and enlarged. – Moscow : Scientific and technical publishing house «Engineering», 2005. – 336 P. – (Library toolmaker). – ISBN 5-217-03179-4.

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

3 Tortsovoye tocheniye otverstiy [Face turning of holes] / R. B. Mukanov, A. Zh. Kasenov, G. T. Itybaeva et al. // STIN. – 2018. – № 8. – P. 23–27.

4 Zhdanov, A. A., Krainev, D. V., Frolov, E. M. et al. Podkhody k izmereniyu sil rezaniya na tokarnykh stankakh s CHPU s primeneniym SOTS [Approaches to measuring cutting forces on CNC lathes using LCS.] // Bulletin of the Volgograd State Technical University. – 2023. – № 3 (274). – P. 11–14. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-3-274-11-14.

5 Amanov, Kh. Ya., Sinodeeva P. I. Primneniye innovatsionnykh SOTS pri rezanii // Elektromekhanotronika i upravleniye [Application of innovative LCs in cutting] // Electromechanotronics and control: Eighteenth All-Russian (tenth international) scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists: Materials of the conference. In 6 volumes, Ivanovo, May 16–18, 2023. Volume 4. – Ivanovo: Ivanovo State Power Engineering University. IN AND. Lenin, 2023. – p. 68.

6 **Vlasov, S. N., Balandina, T. V., Vlasova, A. S.** Povysheniye perioda stoykosti rezhushchego instrumenta pri preryvistom rezanii [Increasing the period of cutting tool life with interrupted cutting] // Paradigm. – 2019. – № 2. – P. 109–113.

7 **Taskarina, A. Zh.** Obespecheniye vysokoy tochnosti obrabotki s primeneniye sbornoy razvertki [Ensuring high accuracy of processing using a prefabricated sweep] thesis for the degree of Doctor of Philosophy PhD in the specialty 6D071200 – «Mechanical Engineering». Almaty, 2014. – 132 P.

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

9 **Grigoriev, S. N., Tabakov, V. P., Volosova, M. A.** Technological methods for increasing the wear resistance of the contact pads of the cutting tool. – Moscow., 2006. – 268 p. [Technological methods for increasing the wear resistance of the contact pads of the cutting tool]. – M., 2006. – 268 P.

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

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

12 Vertikal'no-sverlil'nyy stanok modeli 2A135 [Vertical drilling machine model 2A135]. Passport. – M., 1973. – 51 P.

Материал поступил в редакцию 06.09.23.

**А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, \*А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>, А. С. Янюшкин<sup>3</sup>, Д. А. Исакова<sup>4</sup>, И. Т. Тукаев<sup>5</sup>**  
<sup>1,2,4,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>3</sup>И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті,  
 Чуваш Республикасы, Чебоксары қ.

Материал 06.09.23 баспаға түсті.

### МСТҚ ЖӘНЕ КЕСКІШ ҚҰРАСТЫРМАЛЫ ҰҢҒЫЛАҒЫШ КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ӨНДЕУ ДӘЛДІГІНЕ ӘСЕРІ

Қазіргі уақытта металл кесетін құралдардың алуан түрлілігі бар. Кескіш құралдың номенклатурасы таңдалған дайындаманың түрін ескере отырып, бөлшектердің негізгі және қосымша беттерінің пішіндерін, өлшемдерін, қажетті дәлдігі мен кедір-бұдырлығын талдау негізінде анықталады.

Құралдардың беріктігі мен тозуға төзімділігін арттыруға, сондай-ақ металл өңдеу кезінде майлау-салқындату технологиялық құралдарын (МСТҚ) қолдану тиімді әсер етеді. МСТҚ әсерінің физика-химиялық механизмі өте күрделі және негізінен құралдың Кесу сынасының беттерінің өңделетін

материалмен өзара әрекеттесу жағдайларының өзгеруіне байланысты, бұл, ең алдымен, түйіспе жағдайларының өзгеруінен көрінеді.

Металл кесетін құралдарды отандық және шетелдік өндірушілердің конструкцияларын талдау негізінде жаңа конструкцияларды әзірлеу құрама конструкцияларды, ауыстырылатын кескіш пластиналарды жобалау бағытында, сондай-ақ аралас кескіш құралдарды қолдану арқылы жүзеге асырылады деген қорытынды жасалынды.

Кескіш құрама ұңғылағыштың конструктивті ерекшеліктері және тістерді кесу сынасының жұмыс беттерінің сапасы ұңғылаудың таза операциясының жоғары тиімділігін, өңдеу дәлдігін жақсартуды, сондай-ақ құралдың беріктігін және өңделетін бөлшектердің кедір-бұдырлығын төмендетуді қамтамасыз етеді.

Жоспарлау әдістемесіне негізделген кескіш құрастырмалы ұңғылағыштың тесіктерін өңдеудің эксперименттік зерттеулері кесу аймағындағы температура мен үйкелістің төмендеуіне байланысты МСТҚ қолданған кезде төбесіз тістерді қатты бекітетін кескіш құрастырмалы ұңғылағышпен тесіктерді өңдеу сапасы 1,2...1,3 есе артылады.

Кілтті сөздер: кесу, МСТҚ, Металл кескіш құрал, кескіш құрастырмалы ұңғылағыш, кесу режимдері, дәлдік, кедір-бұдырлық.

**A. Zh. Kasenov<sup>1</sup>, A. \*Zh. Taskarina<sup>2</sup>, A. S. Yanyushkin<sup>3</sup>,**

**D. A. Isakova<sup>4</sup>, I. T. Tukaev<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>3</sup>I. N. Ulyanov Chuvash State University, the Chuvash Republic, Cheboksary.

Material received on 06.09.23.

### THE INFLUENCE OF LUBRICATING AND COOLING TECHNOLOGICAL MEANS AND DESIGN PARAMETERS OF THE INCISIVE ASSEMBLY REAMER ON THE PRECISION OF PROCESSING

Currently, there is a wide variety of metal-cutting tools. The nomenclature of the cutting tool is determined based on the analysis of shapes, sizes, required accuracy and roughness of the main and additional surfaces of the parts, taking into account the type of the selected workpiece.

The use of lubricating and cooling technological means (LCTM) has an efficient effect on increasing the durability and wear resistance of tools, also in metalworking. The physico-chemical mechanism of action of the LCTM is rather complicated complex and is mainly due to a change in the conditions of interaction of the surfaces of the cutting wedge of the tool with the material being processed, which is expressed, first of all, in a change in the contact conditions.

Based on the analysis of the designs of domestic and foreign manufacturers of metal-cutting tools, it is concluded that the development of new designs is carried out in the direction of designing assembly structures, replaceable cutting plates, as well as using combined cutting tools.

The design features of the incisive assembly reamer and the quality of the working surfaces of the cutting wedge of the teeth ensure high efficiency of the

*finishing operation of the reaming increased processing accuracy, as well as tool durability and reduced roughness of the machined parts.*

*Experimental studies of the processing of holes of a incisive assembly reamer based on the planning methodology have shown that the quality of processing holes with a incisive assembly reamer with a rigid attachment of the topless teeth when using coolant increases by 1.2..1.3 times with the use of LCTM, due to a decrease in temperature and friction in the cutting zone.*

*Keywords: cutting, LCTM, metal-cutting tool, incisive assembly reamer, cutting modes, accuracy, roughness.*

МРНТИ 55.22.29

<https://doi.org/10.48081/NWSX1938>

**Т. Ю. Никонова<sup>1</sup>, \*Д. С. Жунуспеков<sup>2</sup>, Ю. Д. Ясаков<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург.

\*e-mail: [zhynyspekov\\_darkhan@mail.ru](mailto:zhynyspekov_darkhan@mail.ru)

### **ЭМПИРИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА СТРУЙНО-АБРАЗИВНЫМ МЕТОДОМ**

*В данной статье рассматриваются процессы подготовки поверхности длинномерного штока перед нанесением газотермического покрытия. Рассмотрены механические, химические, термические, коллоидные, а также электромеханические способы подготовки поверхности перед нанесением покрытия. Выбран наиболее эффективный способ это дробеструйная обработка. Выбрано наиболее приемлемое оборудование для проведения дробеструйной обработки. Проведен эксперимент по обработки длинномерных штоков карьерной техники. Шероховатость поверхности ремонтируемого штока зависит от следующих параметров: сила соударения; скорость потока дроби; расстояние от распылителя до обрабатываемой поверхности; длительность обработки одного участка; угол распыления дроби; тип дроби, ее габаритные характеристики и твердость; число проходов. Проведен анализ параметров влияющих на процесс обработки. Выбраны параметры, которые наиболее влияют на процесс дробеструйной обработки. Сила соударения, угол атаки сопла, время обработки – это параметры которые наиболее влияют на процесс дробеструйной обработки. Выведены графические зависимости по результатам эксперимента. Проведено планирование многофакторного эксперимента, по результатам которого получены математические зависимости. По полученным математическим зависимостям можно получить необходимые выходные параметры, задав определенные входные параметры для получения необходимых точностных характеристик.*

*Ключевые слова: газотермическое покрытие, дробеструйная обработка, эксперимент, шероховатость, глубина проникновения.*

#### **Введение**

Для получения покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками необходимо помимо использования прогрессивного метода нанесения покрытия необходимо провести подготовку поверхностного слоя. Подготовка поверхностного слоя необходима для снятия дефектного слоя покрытия, получение необходимой шероховатости для формирования покрытия. От качества поверхностного слоя зависит само качество покрытия. Наличие на поверхности детали различных загрязнений ухудшают качество покрытия.

Поверхности дефектных штоков гидроцилиндров карьерной техники бывают, загрязнены остатками породы, различными окислами, задирами, масляными плёнками, остатками хромового покрытия которые в значительной мере снижают прочность сцепления наносимого покрытия. Для очистки поверхностного слоя от загрязнений существуют следующие методы, показанные на рисунке 1

Механический метод очистки можно поделить на два больших вида. Это метод очистки со снятием стружки и без снятия стружки. Метод очистки со снятием стружки заключается в механической обработке резанием (токарная, фрезерная, нарезание рваной резьбы и т.п.). Метод очистки без снятия стружки заключается в применении различных методов поверхностно-пластического деформирования (накатка резьбы, пескоструйная и дробеструйная обработки).



Рисунок 1 – Методы очистки

Химический метод заключается в травлении загрязненных поверхностей разбавленными или концентрированными кислотами или их смесями.

Электрохимический метод это метод травления в растворах солей металлов или кислот с применением электричества

Коллоидный метод заключается в обезжиривании поверхности детали применением различных коллоидных систем.

При применении ультразвукового и термического методов очистки применяется обезжиривание поверхностей с помощью ультразвука и термической обработки (например, нагрев поверхности с целью обезжиривания газовой горелкой).

Механический способ со снятием стружки для нашего случая ввиду конструктивных размеров штоков является не подходящим ввиду отсутствия станков для механической обработки крупногабаритных деталей на месте эксплуатации.

Применение химических, ультразвуковых, термических, коллоидных и т.д. методов так же ставит затруднения в их применении из-за конструктивных размеров штоков.

Наиболее эффективным способом механической обработки без снятия стружки, является метод струйно-абразивного очищения или обработка (САО) поверхности. Этот метод помимо очищения поверхности от окалины и т.п. загрязнений дает необходимое упрочнение и шероховатость поверхности, которая необходима для адгезионной прочности покрытия.

#### Материалы и методы

Струйно-абразивный метод заключается в воздействии на обрабатываемую поверхность абразивного материала, выбрасываемого из сопла установки мощной струей сжатого воздуха. При этом происходит не только удаление различных загрязнений, старой краски, окалины и т.д. Обработанная поверхность получается шероховатой, что является основным условием в обеспечении прочного сцепления напыляемого материала с основной поверхностью (высокая адгезия).

Применяют абразивно-пневматический и абразивно-центробежный способы обработки поверхности перед напылением. В первом случае обработка осуществляется струей сжатого воздуха. Во втором случае выброс абразива происходит посредством специального аппарата – дробемета (или пескомета) под действием центробежных сил.

В зависимости от материала и размера абразива различают пескоструйную и дробеструйную обработку. Главное отличие этих двух методов заключается в размере абразивных частиц: для пескоструйной обработки используются частицы меньшего диаметра. Если раньше для пескоструйных работ применяли кварцевый или силикатный песок, то на сегодняшний день применяют более экологичные материалы – никельшлак и купершлак. Для дробеструйной обработки используется различная по материалу и способу изготовления дробь (чугунная колотая, стальная литая, колотая литая, рубленая стальная, алюминиевая и т.д.).

В случае дробеструйной обработки, помимо образования рельефа с определенной шероховатостью, наблюдается также наклеп обработанной поверхности, повышение коррозионной стойкости и увеличение усталостной прочности.

Упрочнение дробеструйной обработкой требует строгого соблюдения технических условий по твердости абразивного материала, продолжительности очистки, углу наклона сопла и необходимому давлению. Чрезмерное или недостаточное упрочнение детали может быть причиной преждевременного разрушения [1].

На результаты дробеструйной обработки во многом влияет исходная шероховатость поверхности, степень ее загрязнения, а также состав стали и термическая обработка.

Рекомендованная стандартом ГОСТ 9.304-87 шероховатость поверхности должна находиться в диапазоне 6,3 – 16 мкм ( $R_z = 25 - 63$  мкм). Однако точные данные возможно получить только экспериментальным путем.

Для механической обработки штока подходит стальная литая дробь S (46-52 HRC), ее применяют для очистки и упрочнения крупногабаритных деталей большой массы.

Шероховатость поверхности ремонтируемого штока зависит от следующих параметров:

- сила соударения;
- скорость потока дроби;
- расстояние от распылителя до обрабатываемой поверхности;
- длительность обработки одного участка;
- угол распыления дроби;
- тип дроби, ее габаритные характеристики и твердость;
- число проходов.

Добиться необходимого значения шероховатости можно путем изменения вышеуказанных параметров.

Для проведения дробеструйной обработки использовалось оборудование EDUCT-O-MATIC (рисунок 2). Преимущество данной установки в том, что у нее имеется фильтр-мешок, который улавливает пыль, т.е. производится беспылевая обработка. Также имеются различные фигурные насадки, которые разряжают поток дроби.



Рисунок 2 – Дробеструйная установка замкнутого цикла EDUCT-O-MATIC

Основные технические характеристики установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 Технические характеристики дробеструйной установки «EDUCT-O-MATIC»

Диапазон развиваемого давления, МПа	0,3 – 0,7
Потребление воздуха, м <sup>3</sup> /мин	1,5 – 2,5
Емкость абразивного резервуара, л	2
Диапазон фракций используемого абразива, мм	0,3 – 1,4
Диаметр сопла установки, мм	4,5
Максимальная ширина очищаемой полосы за один проход, мм	32
Принцип действия дробеструйной очистки	эжекторный, беспылевой
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), м	0,6 × 0,2 × 0,3

Для проведения эксперимента шток гидроцилиндра был закреплен в трехкулачковом патроне ременного привода, также так как шток длинномерный, дополнительно использовались роликовые суппорты. Абразивоструйный аппарат установлен на направляющих и перемещается по ним. Общий вид установки представлен на рисунке 3.

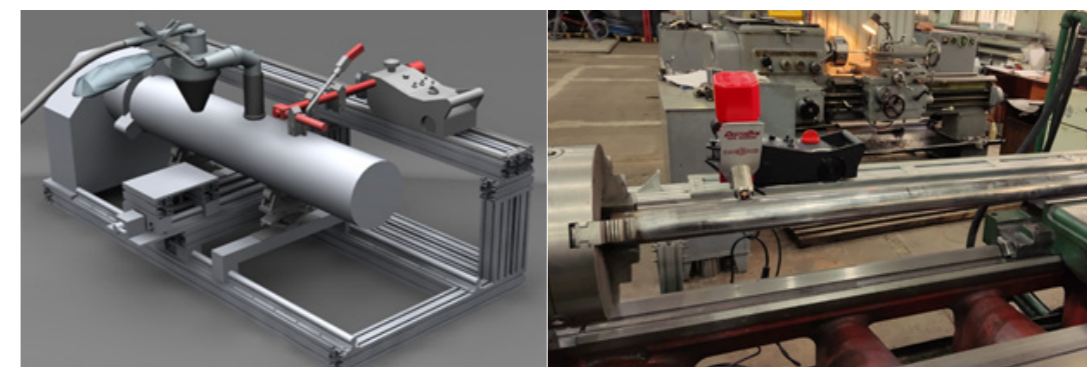


Рисунок 3 – Общий вид установки

Шток имеет следующие размеры: Материал штока – Ст45.

Для проведения эксперимента была выбрана стальная колотая дробь со следующими параметрами: тип дроби – ДСК-0,3 по ГОСТ 11964-81; микротвёрдость – 500 HV; плотность – не менее 7200 кг/м<sup>3</sup>, допустимое содержание остатка на сите №3 – не менее 65 %.

Постоянные входные параметры при проведении эксперимента следующие:

- расстояние до обрабатываемой поверхности;
- диаметр дробеструйного сопла – 4,5 мм;
- тип абразивных частиц – ДСК – 0,3 по ГОСТ 1964-81;

- частота вращения штока – 63 об/мин.
- А изменяемыми входными параметрами являлись:
  - Сила соударения, F;
  - время обработки, t;
  - угол наклона струи,  $\beta$ ;
  - скорость абразивных частиц,  $\vartheta$ .

Выходными параметрами на этапе дробеструйной очистки будут: глубина проникновения абразива ( $Y_1$ ), шероховатость поверхности ( $Y_2$ ).

Оценка влияния изменяемых входных параметров процесса на выходные представлена в таблице 2.

Таблица 2 Оценка влияние входных параметров на выходные

выходные \ входные	$\Delta h (Y_1)$	$R_a (Y_2)$
$F (X_1)$	+	+
$t (X_2)$	±	+
$\beta (X_3)$	+	±

Примечание: + влияет; ± влияет в большей степени; ∓ влияет в меньшей степени; – не влияет

Исходя из проведенного эксперимента проведенная оценка (таблица 2) было выявлено, что наибольшее влияния на получаемую шероховатость имеет угол атаки сопла, чем он выше, тем выше шероховатость, два других параметра влияют в меньшей степени. На глубину проникновения влияет наибольшим образом время обработки, т.е. чем больше времени идет обработка, тем выше глубина врезания дроби.

В первой части экспериментальных исследований определялась зависимость шероховатости поверхности  $R_a$  и глубины проникновения абразива  $\Delta h$  от силы соударения F, создаваемого пневматической машиной. Сила устанавливалась регулятором компрессора в диапазоне от 0,186 до 14,76 Н и контролировалось с помощью показателей двух динамометров на входе и выходе. Потери удельного давления, наблюдаемого в процессе дробеструйной обработки, объясняются длиной воздушного шланга, а также диаметром используемого абразива.

Измерение шероховатости поверхности штока производилось при помощи портативного измерителя шероховатости TIME TR100 (рисунок 4). Глубина проникновения абразива измерялась глубиномером индикаторным цифровым с игольчатым наконечником ГИЦ-ПТ-10 0,001.

Полученные результаты представлены на рисунке 5 (а, б).

В ходе проведения эксперимента выяснилось, что повышение рабочего давления воздуха, при прочих разных условиях, ведет к линейному возрастанию как шероховатости поверхности  $R_a$ , так и глубины врезания абразивных частиц  $\Delta h$ . Лучшие результаты наблюдаются при максимально возможном давлении в 0,6 МПа.



Рисунок 4 – Измерение шероховатости

Во второй части эксперимента варьировалось значение угла наклона струи к обрабатываемой поверхности в диапазоне от 45° до 90°. Изменение угла осуществлялось специальным держателем с возможностью регулировки высоты и точного угла. Графики зависимости шероховатости  $R_a$  и глубины врезания частиц  $\Delta h$  для трех угловых значений представлены на рисунке 6.

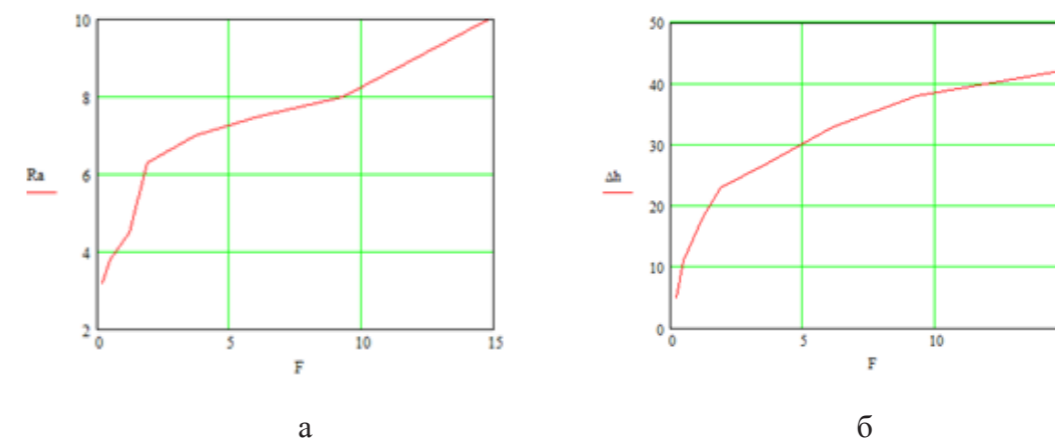


Рисунок 5 – Зависимость шероховатости поверхности  $R_a$  (а) и глубины проникновения абразива  $\Delta h$  (б) от силы соударения F



Угол наклона струи к обрабатываемой поверхности для дробеструйной обработки оказал большое влияние как на глубину проникновения абразива  $\Delta h$ , так и на шероховатость  $R_a$ . Отклонение угла напыления от перпендикулярного направления по отношению к поверхности штока приводило к расширению площади обработки, однако служило причиной снижения плотности потока дробы. В результате чего при металлографическом анализе покрытия на определенных участках наблюдались резкие скачки пиков неровностей, однако общая шероховатость оказалась несколько ниже, чем при угле в  $90^\circ$ .

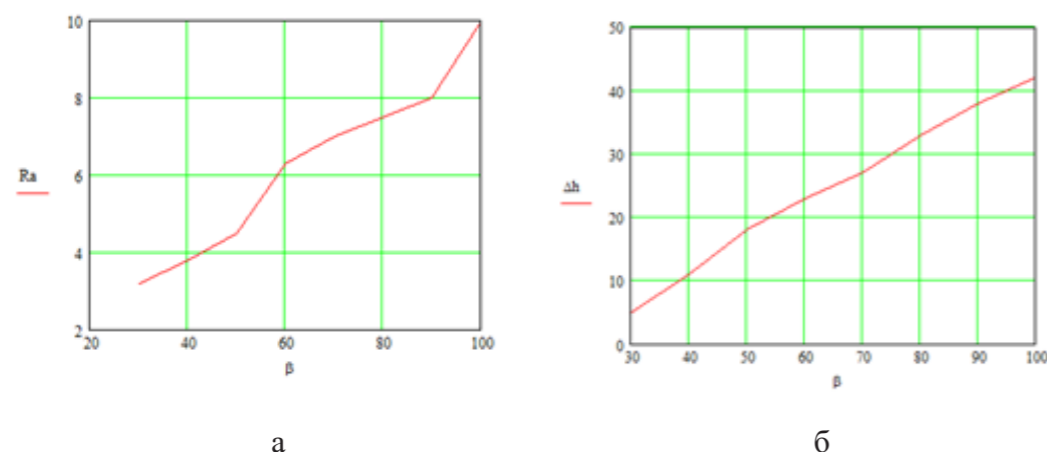


Рисунок 6 – Зависимость шероховатости поверхности  $R_a$  (а) и глубины проникновения абразива  $\Delta h$  (б) от угла атаки сопла  $\beta$

Завершающим этапом исследований являлось определение оптимального времени обработки, необходимого для достижения требуемых значений шероховатости поверхности. Время полной обработки поверхности штока в первом случае составило 3 минуты 30 секунд. Далее происходило увеличение продолжительности обработки отдельного участка с шириной, равной ширине полосы, оставляемой дробеструйным аппаратом за один проход. Графики зависимостей при минимальной и максимальной продолжительности обработки представлены на рисунке 7.

Как видно из графиков, формирование нового микрорельефа происходит в течение первых 3 минут с момента начала дробеструйной очистки, при дальнейшей обработке значения шероховатости поверхности  $R_a$  и глубины проникновения абразива  $\Delta h$  меняются незначительно.

#### Результаты и обсуждение

Планирование эксперимента предусматривает:

- выбор аргументов и целевых функций;
- определение диапазона изменений аргументов в опытах;
- установление числа уравнений аргументов и их конкретных значений в опытах;

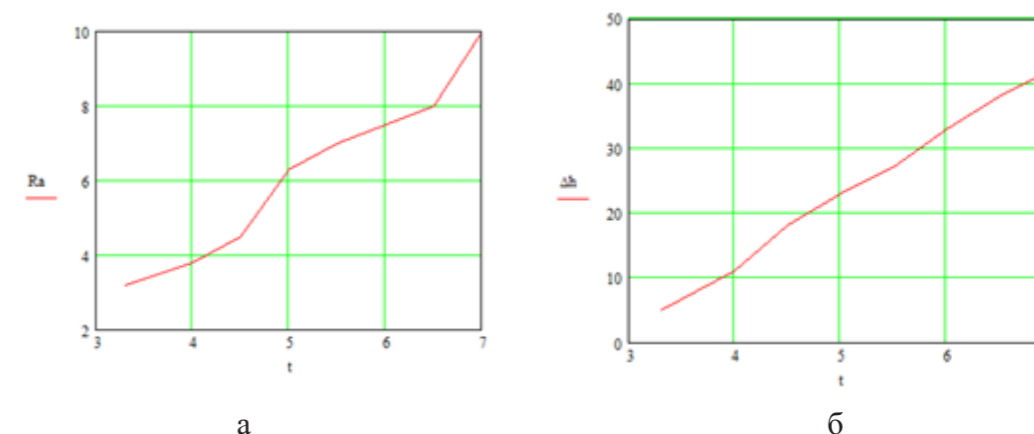


Рисунок 7 – Зависимость шероховатости поверхности  $R_a$  (а) и глубины проникновения абразива  $\Delta h$  (б) от времени обработки штока

– становление сочетания значений аргументов в каждом опыте в соответствии с рекомендуемой матрицей планирования эксперимента.

Все эти данные собираются в единую таблицу (таблица 3). В неё же заносятся результаты опытов (целевые функции) и характер заказываемых моделей.

Планирование эксперимента имеет целью получение исходных данных, наиболее адекватно представляющих анализируемый процесс при минимальном числе экспериментов. При этом эффект сокращения числа необходимых экспериментов достигает нескольких порядков. Важнейшим принципом такого планирования является следующее.

Если собрать в одну группу опыты с одним уровнем какого-либо аргумента (в матрицах они собраны в числовые прямоугольники по значениям первого аргумента), то все остальные аргументы в группе будут принимать по одному разу все возможные значения уровней.

При выборе аргументов следует иметь в виду, что часть их может характеризовать исходный продукт, а часть - саму технологию производства. На выходе функции характеризуют качество конечного продукта.

Для планируемых экспериментов исследования качественных характеристик штоков гидроцилиндров после процесса дробеструйного упрочнения получаем следующие параметры на входе и выходе:

Вход: сила соударения  $F$ , угол атаки сопла  $\beta$ , время обработки  $t$ .

Таблица 3 – Сводная таблица эксперимента

Сила соударения F, Н	Угол атаки сопла $\beta$ , °	Время обработки t, мин	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Глубина проникновения абразива $\Delta h$ , мкм	x0	x1	x2	x3
0,186	30	3,3	3,2	5	+	-	-	-
0,468	40	4	3,8	11	+	+	-	-
1,2	50	4,5	4,5	18	+	-	+	-
1,88	60	5	6,3	23	+	+	+	-
3,66	70	5,5	7	27	+	-	-	+
6,102	80	6	7,5	33	+	+	-	+
9,3	90	6,5	8	38	+	-	+	+
14,76	100	7	10	42	+	+	+	+

Выход: шероховатость поверхности  $R_a$ , глубина проникновения абразива  $\Delta h$ .

Используя математический аппарат программы Microsoft Excel, был проведен регрессионный анализ полученных данных. Анализ, которого показал, что давление воздуха не влияет на получение шероховатости поверхности и глубину проникновения. Исходя из этого, было решено исключить этот показатель и провести анализ с двумя входными параметрами.

Таким образом, полученные зависимости шероховатости и глубины проникновения после процесса дробеструйной обработки от различных факторов, влияющих на процесс обработки в целом, а также уравнения, описывающие эти кривые можно записать в виде математической модели:

$$Ra = 2,42 + 0,02F + 0,14\beta - 1,08t$$

$$\Delta h = 0,33\beta + 4,7t - 0,27F - 20,58$$

Адекватность полученных зависимостей было оценено при помощи коэффициента Фишера, который показал расчетные значения для шероховатости  $F=46,2$  и для глубины проникновения  $F=747,27$  при табличном значении  $F_{табл}=5,409$ , что говорит об адекватности полученной модели.

#### Выводы

1 Проведя анализ методов очищения поверхности перед нанесением покрытия и исходя из конструктивных размеров штока (диаметр 250 мм, длина 1250 мм), наиболее эффективным методом очистки является дробеструйная обработка.

2 На формирование качественного покрытия влияют параметры шероховатости и глубины проникновения абразива, в свою очередь на эти два параметра влияют угол атаки сопла, сила соударения и время обработки.

3 Чем больше сила соударения, угол атаки сопла, а также время обработки, тем выше шероховатость поверхности и глубина проникновения.

4 Таким образом, на основании регрессионного анализа можно сделать вывод о том, математическая модель дает полное представление о процессе дробеструйной обработки.

5 На основании выведенных математических зависимостей можно получить выходные характеристики, задав необходимые данные на входе.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ильющенко, А. Ф.** Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование. / А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов, В. А. Оковитый, Г. Ф. Громыко. – Минск : Белорус. наука, 2011. – 357 с.

2 **Нураков С. Н., Томашец А. К., Савинкин В. В.** «Влияние износа деталей гидроцилиндра на технико-экономические показатели гидроприводов и экологические показатели дорожных машин», 2009 г.

3 **Нефедьев С. П., Морозов А. Н.** «Плазменно-порошковая наплавка штоков гидроцилиндров белым износостойким чугуном», 2014 г.

4 **Ялович А. П., Белоцерковский М. А., Сосновский А. В.** Глава из монографии, глава 18 «Технология восстановления штоков монтажного оборудования с использованием методов инженерии поверхности» из монографии «Перспективные материалы и технологии», 2019 г.

5 **Радионова Л. В., Самодурова М. Н., Быков В. А., Глебов Л. А., Брык А. В.** Статья «Повышение эксплуатационных свойств поверхности штока гидроцилиндра аддитивными технологиями», 2020 г.

6 **Казанников О. В., Отмахов Д. В.** Статья «Восстановление штоков гидроцилиндров методом ЭИЛ», 2020 г.

7 **Белоцерковский М. А., Дудан А. В., Ялович А. П.** Статья «Восстановление и испытание штоков силовых гидроцилиндров», 2020 г.

8 **Ялович А. П., Белоцерковский М. А., Сосновский А. В., Чой К. Й.** Статья «Повышение износостойкости стальных покрытий, используемых для восстановления штоков», 2018 г.

9 **Бурумкулов Ф. Х., Величко С. А.** Статья «Способ восстановления штоков гидроцилиндров», 2018 г.

10 **Гоман А. М., Ялович А. П.** Статья «Оценка применимости газотермического напыления при восстановлении штоков гидроцилиндров по критерию адгезионной прочности покрытий при эксплуатационных нагрузках», 2018 г.

#### REFERENCES

1 **Il'yushhenko A. F.** Processy` formirovaniya gazotermicheskix pokry`tij i ih modelirovanie. [Processes of formation of gas-thermal coatings and their modeling] / A. F. Il'yushhenko, A. I. Shevczov, V. A. Okovity`j, G. F. Gromy`ko. – Minsk: Belorus. navuka, 2011. – 357 P.

2 **Nurakov S. N., Tomashecz A. K., Savinkin V. V.** «Vliyanie iznosa detalej gidrocilindra na texniko-e`konomicheskie pokazateli gidroprivodov i e`kologicheskije pokazateli dorozhny`x mashin» [Influence of wear of hydraulic cylinder parts on the technical and economic indicators of hydraulic drives and environmental performance of road machines], 2009.

3 Nefed'ev S. P., Morozov A. N. «Plazmenno-poroshkovaya naplavka shtokov gidrocilindrov bely`m iznosostojkim chugunom» [Plasma-powder surfacing of hydraulic cylinder rods with white wear-resistant cast iron], 2014.

4 Yalovik A. P., Belocerkovskij M. A., Sosnovskij A. V. Glava iz monografii, glava 18 «Technologiya vosstanovleniya shtokov montazhnogo oborudovaniya s ispol'zovaniem metodov inzhenerii poverxnosti» [Technology for restoring rods of mounting equipment using surface engineering methods] iz monografii «Perspektivny`e materialy` i tehnologii» [Promising materials and technologies], 2019.

5 Radionova L. V., Samodurova M. N., By'kov V. A., Glebov L. A., Bry'k A. V. Stat'ya «Povy'shenie e'kspluatatsionny`x svoystv poverxnosti shtoka gidrocilindra additivny`mi tehnologiyami» [Improving the performance properties of the hydraulic cylinder rod surface by additive technologies], 2020.

6 Kazannikov O. V., Otmaxov D. V. Stat'ya «Vosstanovlenie shtokov gidrocilindrov metodom E`IL» [Restoration of hydraulic cylinder rods by the ESA method], 2020.

7 Belocerkovskij M. A., Dudan A. V., Yalovik A. P. Stat'ya «Vosstanovlenie i ispy'tanie shtokov silovy`x gidrocilindrov» [Restoration and testing of rods of power hydraulic cylinders], 2020.

8 Yalovik A. P., Belocerkovskij M. A., Sosnovskij A. V., Choj K. J. Stat'ya «Povy'shenie iznosostojkosti stal'ny`x pokry'tij, ispol'zuemy`x dlya vosstanovleniya shtokov» [Improving the wear resistance of steel coatings used to restore rods], 2018g.

9 Burumkulov F. X., Velichko S. A. Stat'ya «Sposob vosstanovleniya shtokov gidrocilindrov» [Method for restoring hydraulic cylinder rods], 2018.

10 Goman A. M., Yalovik A. P. Stat'ya «Ocenka primenimosti gazotermicheskogo napy'leniya pri vosstanovlenii shtokov gidrocilindrov po kriteriyu adgezionnoj prochnosti pokry'tij pri e'kspluatatsionny`x nagruzках» [Evaluation of the applicability of thermal spraying in the restoration of hydraulic cylinder rods according to the criterion of adhesion strength of coatings under operational loads], 2018.

Материал поступил в редакцию 20.07.23.

*T. Ю. Никонова<sup>1</sup>, \*Д. С. Жунуспеков<sup>2</sup>, Ю. Д. Ясаков<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>3</sup>Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті

Ресей Федерациясы, Санкт-Петербург қ.

Материал 20.07.23 баспаға түсті.

## ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЦИЛИНДР СОТАШЫҒЫН АҒЫНДЫ АБРАЗИВТІК ТӘСІММЕН ӨНДЕУДІҢ ЭМПИРИКАЛЫҚ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

*Бұл мақалада газотермиялық жабынды қолданар алдында ұзын өлішемдісоташықтың бетін дайындау процестері қарастырылады. Жабынды қолданар алдында бетті дайындаудың механикалық, химиялық, термиялық, коллоидтық және электромеханикалық әдістері қарастырылады. Ең тиімді әдіс таңдалды бұл бытыралы ағынмен өңдеу. Жарылыс үшін ең қолайлы жабдық таңдалды. Карьерлік техниканың ұзын өлішемді өзектерін өңдеу бойынша эксперимент жүргізілді. Жөнделетін өзек бетінің кедір-бұдырлығы келесі параметрлерге байланысты: соққы күші; бөлшек ағынының жылдамдығы; бүріккіштен өңделетін бетке дейінгі қашықтық; - бір учаскені өңдеу ұзақтығы; бөлшектің бұрку бұрышы; бөлшек түрі, оның жалпы сипаттамалары мен қаттылығы; өту саны. Өңдеу процесіне әсер ететін параметрлерге талдау жасалды. бытыралы ағынмен өңдеу процесіне ең көп әсер ететін параметрлер таңдалды. Соққы күші, саптаманың шабуыл бұрышы, өңдеу уақыты- бұл параметрлер бытыралы ағынмен өңдеу процесіне ең көп әсер ететін. Эксперимент нәтижелері бойынша графикалық тәуелділіктер анықталды. Көп факторлы экспериментті жоспарлау жүргізілді, оның нәтижелері бойынша математикалық тәуелділіктер алынды. Алынған математикалық тәуелділіктерге сәйкес қажетті дәлдік сипаттамаларын алу үшін белгілі бір кіріс параметрлерін орнату арқылы қажетті шығыс параметрлерін алуға болады.*

*Кілтті сөздер: газотермиялық жабын, бытыралы ағынмен өңдеу, эксперимент, кедір-бұдырлық, ену тереңдігі.*

*T. Yu. Nikonova<sup>1</sup>, \*D. S. Zhunuspekov<sup>2</sup>, Yu. D. Yassakov<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Abylqas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>3</sup>Peter the Great St.Petersburg

Polytechnic University, Russian Federation, St.Petersburg.

Material received on 20.07.23.

## EMPIRICAL-MATHEMATICAL MODEL OF HYDRAULIC CYLINDER ROD PROCESSING BY JET-ABRASIVE METHOD

*This article discusses the processes of preparing the surface of a long rod before applying a gas-thermal coating. Mechanical, chemical, thermal, colloidal, as well as electromechanical methods of surface preparation before coating are considered. The most effective method is shot blasting. The most suitable equipment for shot blasting has been selected. An experiment was carried out on the processing of long rods of quarry equipment. The surface roughness of the repaired rod depends on the following parameters: impact force; the fraction flow rate; the distance from the sprayer to the treated surface; - the duration of processing of one section; the angle of spraying of the fraction; the type of fraction, its overall characteristics and*

*hardness; the number of passes. The analysis of parameters affecting the processing process is carried out. The parameters that most affect the shot blasting process are selected. The impact force, the angle of attack of the nozzle, the processing time are the parameters that most affect the shot blasting process. Graphical dependencies based on the results of the experiment are derived. Planning of a multifactorial experiment was carried out, according to the results of which mathematical dependencies were obtained. According to the obtained mathematical dependencies, it is possible to obtain the necessary output parameters by setting certain input parameters to obtain the necessary accuracy characteristics.*

*Keywords: gas thermal coating, shot blasting, experiment, roughness, penetration depth.*

МРНТИ 55.13.17

<https://doi.org/10.48081/QLOD6747>**\*С. О. Тусупова<sup>1</sup>, Л. Н. Махмудов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;<sup>2</sup>Навоийский государственный горно-технологический университет,

Республика Узбекистан, г. Навои;

\*e-mail: [suleeva.s@inbox.ru](mailto:suleeva.s@inbox.ru)

### **СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В данной статье приводятся результаты исследования состояний проблем обработки труднообрабатываемых материалов в условиях отечественных и зарубежных машиностроительных производств.*

*Выявлено, что обработка труднообрабатываемых материалов резанием является проблемой, которая сопровождается материальными затратами и низкой производительностью. Проблема может заключаться также в большом расходе режущего инструмента, так как эти материалы имеют высокие показатели твердости, прочности, вязкости, коррозионной стойкости, жаропрочности при низкой теплопроводности, которые затрудняют обработку резанием. Предлагается способ механической обработки труднообрабатываемых материалов высокоскоростным фрезерованием, который в настоящее время является одним из развивающихся направлений и недостаточно изученной по сравнению с другими методами. Однако выявлено, что при использовании высокоскоростного фрезерования существует проблема выбора режимов резания в зависимости от обрабатываемого материала и материала режущего инструмента. Также отсутствуют справочные данные по выбору режимов резания для обработки на высоких оборотах. Так как ранее использованные универсальные станки не имели возможности обеспечить более 2000 об/мин, и соответственно в справочниках даны рекомендации согласно этим значениям. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса высокоскоростного фрезерования высокопрочной легированной стали 30ХГСА. Полученные результаты показали, что имеются высокие ресурсы данного способа.*

*При правильно выбранных режимах резания возможно достижение высоких качественных показателей механической обработки и повышение производительности.*

*Ключевые слова: труднообрабатываемый материал, высокоскоростное фрезерование, режимы резания, шероховатость, твердость, производительность.*

**Введение**

Постоянное развитие новых отраслей техники и освоение новых образцов машин находятся в прямой зависимости от развития методов высокопроизводительной обработки труднообрабатываемых материалов (высокопрочных сталей, жаростойких, нержавеющих, немагнитных сплавов и др.) с особыми физико-химическими свойствами. Обработка этих материалов резанием имеет свои характерные особенности, качественно отличающие ее от механической обработки обычных конструкционных материалов [1,2].

В настоящее время существуют различные способы резания труднообрабатываемых материалов. Механическая обработка представляет собой наиболее исследованный и вместе с тем универсальный способ, в большинстве отраслей промышленности она составляет 90–95 % всех выполняемых операций по обработке резанием. Согласно исследованиям Д. Г. Евсеева, А. С. Верещаки, Е. У. Зарубицкого, Ю. Г. Кабалдина, Л. В. Окорокова, В. Н. Подураева, Н. И. Резникова, А. Н. Резникова, Н. Н. Рыкалина, С. С. Силина, Н. В. Талантова, М. В. Шатерина, А. С. Янюшкина, Т. Г. Насад и др. основные проблемы при резании труднообрабатываемых материалов, в частности жаропрочных и нержавеющих сталей определяются следующими факторами [3,4]:

- высоким упрочнением материала в процессе деформации резанием, ввиду специфических особенностей строения кристаллической решетки;
- низкой теплопроводностью обрабатываемого материала, приводящей к повышенной температуре в зоне контакта и к активизации адгезионных и диффузионных явлений;
- способностью сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах, что приводит к высоким удельным нагрузкам на поверхностях контакта детали с режущим инструментом;
- большой истирающей способностью жаропрочных и нержавеющих сталей, обусловленной наличием второй фазы (кроме твердого раствора) образующей интерметаллидные включения;
- пониженной виброустойчивостью движения резания, вызванной повышенной упрочняемостью нержавеющих и жаропрочных материалов при неравномерности протекания процесса их пластического деформирования;
- невысоким качеством поверхности из-за повышенной пластичности труднообрабатываемых материалов;
- значительной разнородностью и неравномерностью плохо деформируемых зон, приводящей к резкому возрастанию сил резания, температур и к быстрому разрушению режущей части инструмента.

Принимая во внимание основные проблемы, возникающие при резании жаропрочных и нержавеющих сталей наиболее важными факторами, определяющими возможность высокоэффективной обработки резанием высокопрочных, жаропрочных и других труднообрабатываемых материалов являются [3,4]: обеспечение возможно большей прочностью режущей кромки; минимизация энергосиловых параметров; создание высокой жесткости и

виброустойчивости элементов технологической системы; управление тепловыми потоками в зоне резания для обеспечения заданного качества поверхности.

На рисунке 1 показаны основные виды труднообрабатываемых материалов, широко используемые в промышленности.

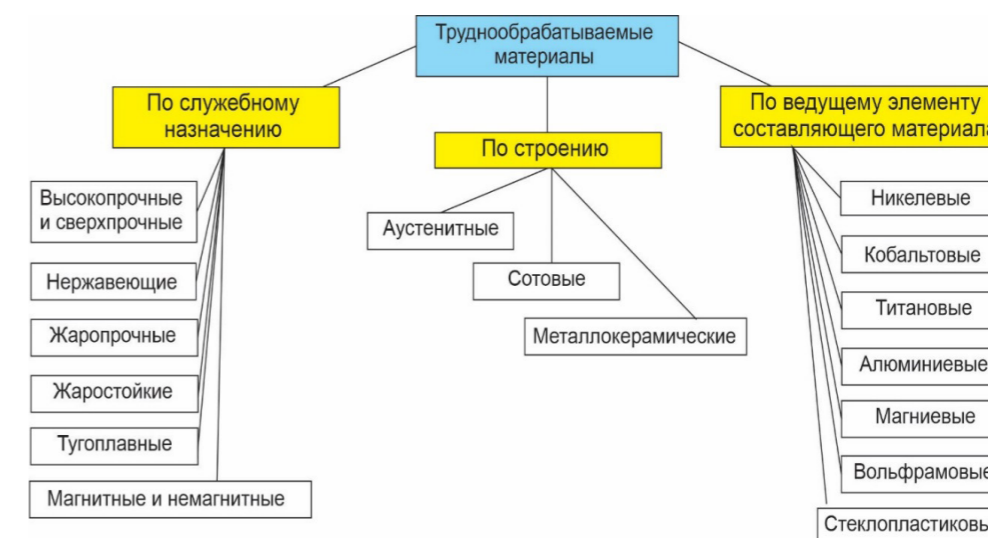


Рисунок 1 – Основные виды труднообрабатываемых материалов

Проведенные исследования в условиях машиностроительных производств, в частности ТОО «Павлодарский машиностроительный завод», ТОО «Павлодарский завод металлоконструкций-Имсталькон», ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод» (г. Павлодар), ТОО «Механический завод РАПИД», ТОО «Конструкторское Бюро STEP» (г. Астана), ООО «GIDRO STANKO SERVIS» (г. Навои) и др. показали, что обработка труднообрабатываемых материалов резанием является проблемой, которая сопровождается материальными затратами и низкой производительностью. Проблема может заключаться также в большом расходе режущего инструмента, так как эти материалы имеют высокие показатели твердости, прочности, вязкости, коррозионной стойкости, жаропрочности при низкой теплопроводности, которые затрудняют обработку резанием. Отсутствие высокооборотных металлорежущих станков нового поколения типа обрабатывающих центров, станков полуавтоматов с числовым программным управлением в условиях отечественных машиностроительных производств сдерживали применение высокоскоростных способов обработки при обработке труднообрабатываемых материалов. Развитие отечественной машиностроительной отрасли и его оснащение зарубежным технологическим оборудованием диктуют разработку и применение более производительных и эффективных способов обработки, одним из которых является способ высокоскоростного фрезерования. До недавнего времени в машиностроительных производствах Республики Казахстан применение высокоскоростной механической обработки было невозможным из-за отсутствия высокооборотных металлорежущих станков нового поколения типа

обрабатывающих центров, станков полуавтоматов с числовым программным управлением. Появление таких станков с широкими технологическими возможностями позволяет применять более производительные способы обработки, каким является высокоскоростное фрезерование. Механическая обработка ответственных деталей из труднообрабатываемых материалов высокоскоростным фрезерованием в настоящее время является одним из развивающихся направлений и недостаточно изученной по сравнению с другими методами. Существует проблема выбора режимов резания в зависимости от обрабатываемого материала и материала режущего инструмента. Отсутствуют справочные данные по выбору режимов резания для обработки на высоких оборотах (например более 3000 об/мин). Так как ранее использованные универсальные станки не имели возможности обеспечить более 2000 об/мин [5,6], и соответственно в справочниках даны рекомендации согласно этим значениям.

В связи с этим научные исследования направленные к решению данной проблемы являются актуальными для отечественной машиностроительной отрасли.

**Материалы и методы**

Были выполнены первоначальные экспериментальные исследования по исследованию способа высокоскоростного фрезерования [7,8]. Экспериментальные исследования выполнялись под руководством профессора К. Т. Шерова. Методы исследования базировались на основных положениях таких наук, как технология машиностроения, металлорежущие инструменты, технология конструкционных материалов, материаловедение, теория резания. Для измерения шероховатости обработанной поверхности использовался профилометр модели TR 100, а для измерения твердости модельный твердомер TR 100. Для выполнения экспериментальных исследований был выбран круглый прокат из легированной стали 30ХГСА (диаметром 40 мм, длиной 170 мм), который является материалом многих ответственных деталей машиностроительных изделий. Для проведения исследования использовался полуавтоматический вертикальный фрезерно-сверлильный станок модели JET JTM-1050 VSE. На рисунке 2 показан полуавтоматический вертикальный фрезерно-сверлильный станок, режущий инструмент и процесс обработки.

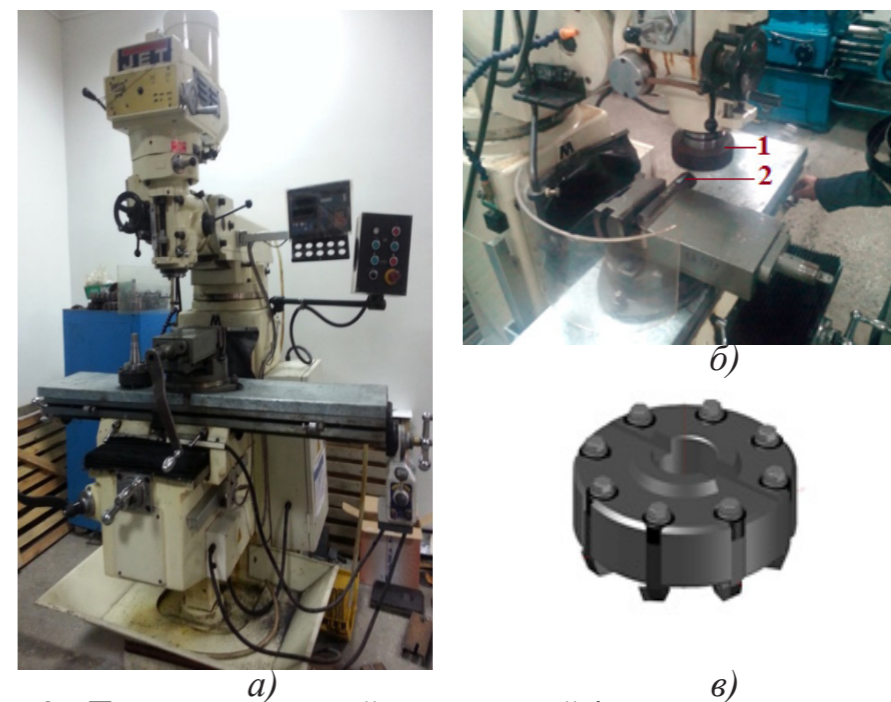


Рисунок 2 – Полуавтоматический вертикальный фрезерно-сверлильный станок, режущий инструмент и процесс обработки


а – полуавтоматический вертикальный фрезерно-сверлильный станок; б – процесс обработки; в – режущий инструмент; 1 – режущий инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка

Для высокоскоростного фрезерования использовали торцевую фрезу D=138 мм, Число зубьев которой равен z=8 (рис.2,в).

В таблице 1 приведены значения шероховатости поверхностей образцов по R<sub>a</sub> и твердости по Бринеллю (значения, полученные путем измерения).

Таблица 1 – Значения шероховатости поверхностей образца по Ra и твердости по Бринеллю

Труднообрабатываемый материал	№ измерения	Шероховатость обработанной поверхности Ra, мкм		Твердость обработанной поверхности по Бринеллю HB	
		Ra <sub>1-4</sub>	Ср. знач.	HB <sub>1-4</sub>	Ср. знач.

	1	3,08	2,23	214	234
	2	1,82		250	
	3	2,13		245	
	4	1,90		228	

В таблице 2 приводятся режимы высокоскоростного фрезерования.

Таблица 2 – Порядковые номера испытаний

Скорость вращения, об/мин	Название обрабатываемого материала	Глубина припуска $t$ , мм							
		$t_1=0,5$				$t_2=0,75$			
		Продольная подача стола $S$ , мм/мин							
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
		30	45	15	60	30	45	15	60
$n_1=2400$	30XГСА	1	5	9	14	17	21	25	29
$n_2=2600$		2	6	10	13	18	22	26	30
$n_3=2800$		3	7	11	15	19	23	27	31
$n_4=3000$		4	8	12	16	20	24	28	32

**Результаты и обсуждение**

Исследование проводилось в диапазоне частот вращения станка 2400–3000 об/мин. т.е.  $n_1=2400$  об/мин,  $n_2=2600$  об/мин,  $n_3=2800$  об/мин,  $n_4=3000$  об/мин. Продольная подача стола принята  $S_1=30$  мм/мин,  $S_2=45$  мм/мин,  $S_3=15$  мм/мин,  $S_4=60$  мм/мин. А глубина припуска на обработку принята  $t_1=0,5$  мм и  $t_2=0,75$  мм (см. табл.2).

Хромкремниймарганцевая сталь 30XГСА обладает высокой прочностью и высокой устойчивостью к ударным нагрузкам. В состав марки входит 0,30 % углерода, а также 0,8-1,1 % марганца, хрома, кремния в равных долях [9,10].

На рисунке 3 показан график влияния частоты вращения шпинделя на шероховатость обработанной поверхности при  $t = 0,5$  мм.

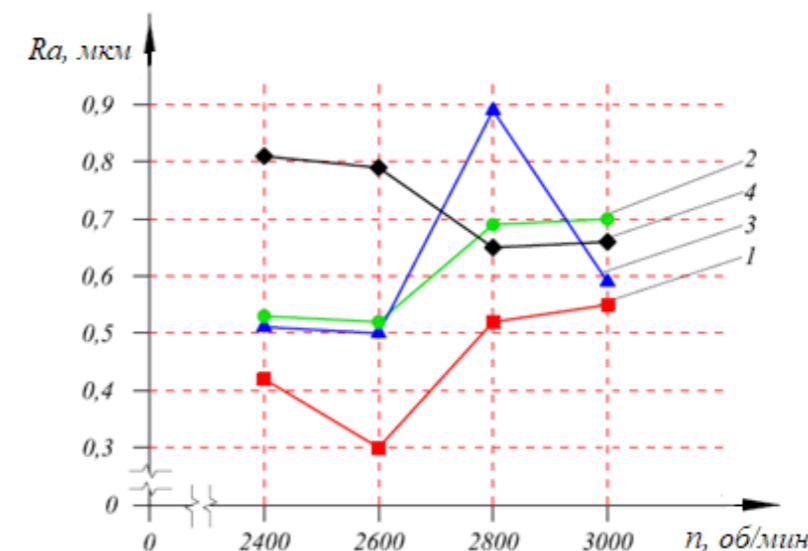


Рисунок 3 – График влияния частоты вращения шпинделя на шероховатость обработанной поверхности при  $t = 0,5$  мм  
1 –  $S = 30$  мм/мин; 2 –  $S = 45$  мм/мин; 3 –  $S = 15$  мм/мин; 4 –  $S = 60$  мм/мин

На рисунке 4 показан график влияния частоты вращения шпинделя на шероховатость обработанной поверхности при  $t=0,75$  мм.

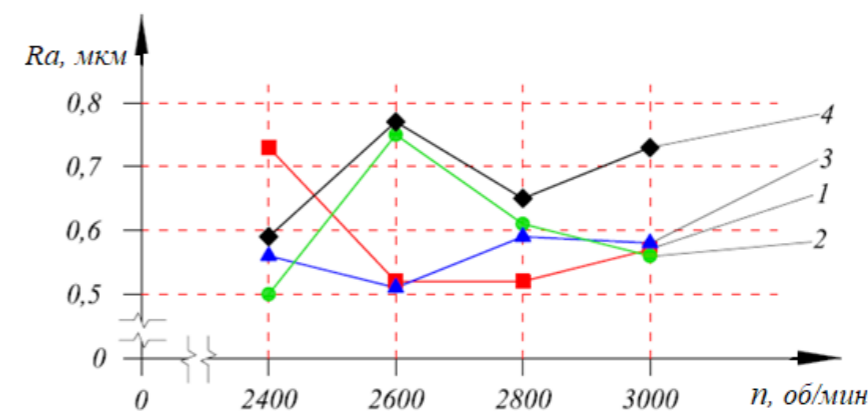


Рисунок 4 – График влияния частоты вращения шпинделя на шероховатость обработанной поверхности при  $t=0,75$  мм  
1 –  $S = 30$  мм/мин; 2 –  $S = 45$  мм/мин; 3 –  $S = 15$  мм/мин; 4 –  $S = 60$  мм/мин

На рисунке 5 показан график влияния частоты вращения шпинделя на твердость обработанной поверхности при  $t=0,5$  мм.

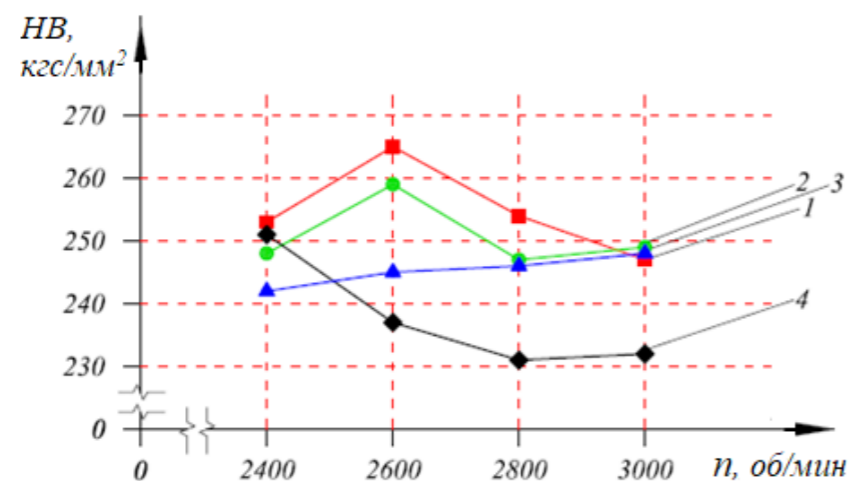


Рисунок 5 – График влияния частоты вращения шпинделя на твердость обработанной поверхности при  $t = 0,5$  мм  
1 –  $S = 30$  мм/мин; 2 –  $S = 45$  мм/мин; 3 –  $S = 15$  мм/мин; 4 –  $S = 60$  мм/мин

На рисунке 6 показан график влияния частоты вращения шпинделя на твердость обработанной поверхности при  $t=0,75$  мм.

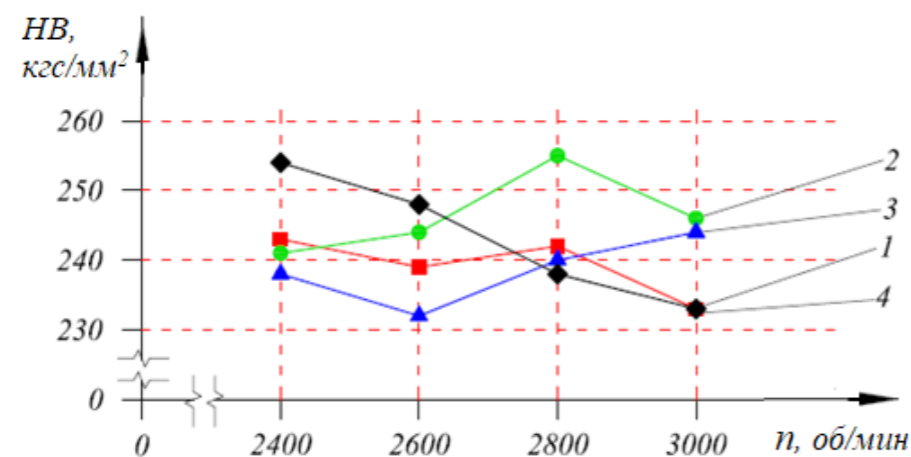


Рисунок 6 – График влияния частоты вращения шпинделя на твердость обработанной поверхности при  $t=0,75$  мм  
1 –  $S = 30$  мм/мин; 2 –  $S = 45$  мм/мин; 3 –  $S = 15$  мм/мин; 4 –  $S = 60$  мм/мин

Полученные результаты по исследованию способа высокоскоростного фрезерования показали, что имеются высокие ресурсы данного способа. При правильно выбранных режимах резания возможно достижение высоких качественных показателей механической обработки и повышение производительности. Для широкого внедрения способа высокоскоростного фрезерования труднообрабатываемых материалов необходимо проведение серий экспериментальных исследований по определению оптимальных режимов

резания различных труднообрабатываемых материалов. Проведенный анализ материалов деталей подвергающихся механической обработке показал, что самым распространенным и сложно поддающимся к механической обработке являются такие материалы, как высоколегированный чугун, износостойкий чугун, титановые сплавы, специальные сплавы, сталь Гадфильда, высокопрочные и сверхвысокопрочные стали и др.

#### Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант «Жас ғалым» ИРН AP19174917 «Исследование и повышение качества высокоскоростного фрезерования труднообрабатываемых материалов путем моделирования процесса и оптимизации режимов резания»).

#### Выводы

Результаты экспериментальных исследований высокоскоростного фрезерования стали 30ХГСА показали, что увеличение подачи отрицательно влияет на показатели качества ( $R_a$  и  $HV$ ), а увеличение скорости резания носит двойной характер, т.е. положительно сказывается на шероховатости, а на твердость обработанной поверхности влияет отрицательно. Данное состояние вопроса диктует необходимость проведения дополнительных исследований по определению оптимальных значений режимов резания. Также необходимо исследование характеристики инструментальных материалов используемых в режущих инструментах применяемых для обработки труднообрабатываемых материалов, изучить напряженно-деформированного состояния их при высокоскоростном фрезеровании и исследовать тепловые явления в процессе обработки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Маслов, А. Р., Схиртладзе, А. Г. Обработка труднообрабатываемых материалов резанием : учебное пособие. – М. : Инновационное машиностроение, 2017. – 208 с.
- 2 Тимирязев, В. А. Технология изготовления изделий нефтегазового машиностроения / В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, Г. А. Мелетьев ; под общ. ред. В.А. Тимирязева – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 388 с.
- 3 Насад, Т. Г. Высокоскоростная лезвийная обработка труднообрабатываемых материалов с дополнительными потоками энергии в зоне резания : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Саратов, 2005. – 32 с.
- 4 Kiryushin, I. E., Kiryushin D. E., Venig S. B., Nasad T. G., Stepanova M. O., Terin D. V. Surface-layer quality after high-speed turning of hard material // Russian Engineering Research. – 2014. – Т. 34. № 6. – P. 423–424.



5 **Вереина, Л. И.** Справочник станочника : учеб. пособие для нач.проф. образования / Л. И. Вереина, М. М. Краснов. – 4-е изд., перераб. – М. : Изд. Центр «Академия», 2016. – 560 с.

6 **Черпаков, Б. И.** Технологическое оборудование машиностроительного производства: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / Б. И. Черпаков, Л. И. Вереина. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. Центр «Академия», 2016. – 416 с.

7 **Шеров, К. Т., Мухамедьяров Д. З., Мусаев М. М., Габдысалык Р., Копжасарова, А. К.** Высокоскоростное фрезерование деталей специального кондуктора для сборки ковша // Вестник КазННТУ. – 2020. – № 6 (142). – С. 488-494.

8 **Шеров, К. Т., Тусупова, С. О. Сейсенбаев, Д. С.** Исследование процесса обработки ротационно-фрикционным точением износостойкого чугуна ИЧ300Х18Г3 // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11). – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2019. – Часть 3. – С. 263–265.

9 **Богодухов, С. И.** Свойства машиностроительных материалов : учебное пособие // С. И. Богодухов, А. Д. Проскурин, Е. С. Козик. – Оренбург, ГОУ ОГУ, 2019. – 201с.

10 **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение: учебник для вузов // Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2016. – 528 с.

#### REFERENCES

1 **Maslov, A. R., Skhirtladze A. G.** Obrabotka trudnoobrabatyvayemykh materialov rezaniyem [Processing of hard-to-cut materials by cutting]: uchebnoye posobiye. – Moscow: Innovatsionnoye mashinostroyeniye, 2017. – 208 p.

2 **Timiryazev, V. A.** Tekhnologiya izgotovleniya izdeliy neftegazovogo mashinostroyeniya [Technology of manufacturing products of oil and gas engineering]: uchebnoye posobiye : / V. A. Timiryazev, A. G. Skhirtladze, G. A. Melet'yev; pod obshch. red. V. A. Timiryazeva – Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2022. – 388 p.

3 **Nasad, T. G.** Vysokoskorostnaya lezviynaya obrabotka trudnoobrabatyvayemykh materialov s dopolnitel'nyimi potokami energii v zone rezaniya [High-speed edge processing of hard-to-cut materials with additional energy flows in the cutting zone] : avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. – Saratov, 2005. – 32 p.

4 **Kiryushin, I. E., Kiryushin, D. E., Venig, S. B., Nasad, T. G., Stepanova, M. O., Terin, D. V.** Surface-layer quality after high-speed turning of hard material // Russian Engineering Research. – 2014. – Т. 34. № 6. – Р. 423–424.

5 **Vereina, L. I.** Spravochnik stanochnika [Handbook of the machine operator]: ucheb. posobiye dlya nach.prof. obrazovaniya / L. I. Vereina, M. M. Krasnov. – 4-ye izd., pererab. – Moscow : Tsentr «Akademiya», 2016. – 560 p.

6 **Cherpakov, B. I.** Tekhnologicheskoye oborudovaniye mashinostroitel'nogo proizvodstva [Technological equipment of machine-building production]: uchebnik dlya stud. Uchrezhdeniy sred. Prof. Obrazovaniya / B. I. Cherpakov, L. I. Vereina. – 2-ye izd., ster. – Moscow : Tsentr «Akademiya», 2016. – 416 p.

7 **Sherov, K. T., Mukhamed'yarov, D. Z., Musayev, M. M., Gabdysalyk, R., Kopzhasarova, A. K.** Vysokoskorostnoye frezerovaniye detaley spetsial'nogo konduktora dlya sborki kovsha [High-speed milling of parts of a special jig for assembling a bucket] / Vestnik KazNITU. – Almaty : Izd-vo KazNITU im. K. Satpayeva, 2020. – № 6(142) – P. 488–494.

8 **Sherov, K. T., Tusupova, S. O. Seysenbayev, D. S.** Issledovaniye protsessa obrabotki rotatsionno-friktsionnogo tocheniya iznosostoykogo chuguna ICH300KH18G3 [Study of the machining process of rotational-friction turning of wear-resistant cast iron ICH300X18G] / Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya № 11). – Karaganda : Izd-vo KarGTU, 2019. Chast' 3 – P. 263-265.

9 **Bogodukhov, S. I.** Svoystva mashinostroitel'nykh materialov [Properties of engineering materials]: uchebnoye posobiye / S. I. Bogodukhov, A. D. Proskurin, Ye. S. Kozik. – Orenburg, GOU OGU, 2019. – 201 P.

10 **Lakhtin, Yu. M.** Materialovedeniye [Materials science] : uchebnik dlya vuzov / Yu. M. Lakhtin, V. P. Leont'yeva. – 3-ye izd., pererab. i dop. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2016. – 528 P.

Материал поступил в редакцию 08.09.23.

\***С. О. Тусупова<sup>1</sup>, Л. Н. Махмудов<sup>2</sup>**

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

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

Материал 08.09.23 баспаға түсті.

#### ҚИЫН ӨҢДЕЛЕТІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨҢДЕУ МӘСЕЛЕСІНІҢ ЖАҒДАЙЫ

*Бұл мақалада отандық және шетелдік машина жасау өндірістеріндегі қиын өңделетін материалдарды өңдеу мәселесінің жағдайын зерттеу нәтижелері келтірілген. Қиын өңделетін материалдарды кесу арқылы өңдеу материалдық шығындармен және төмен өнімділікпен қатар болатын мәселе екені анықталды. Сондай-ақ мәселе кескіш құралының үлкен шығынында болуы мүмкін, себебі бұл материалдар төмен жылу өткізгіштікке ие және қаттылығы, беріктігі, тұтқырлығы, коррозияға төзімділігі сияқты көрсеткіштері жоғары болады, бұл қасиеттері кесумен өңдеуді қиындатады. Қиын өңделетін материалдарды механикалық өңдеуге қазіргі уақытта дамып*

келе жатқан бағыттарының бірі болып табылатын және басқа әдістермен салыстырғанда аз зерттелген жоғары жылдамдықты жоңғылау әдісі ұсынылады. Дегенмен, жоғары жылдамдықты жоңғылауды пайдалану кезінде өңделетін материалдың және кескіш құралдың материалына байланысты кесу режимдерін таңдау мәселесі бар екені анықталды. Сондай-ақ, жоғары айналымдарда өңдеу үшін кесу режимдерін таңдау бойынша анықтамалық мәліметтер жоқ. Бұрын қолданылған әмбебап білдектер 2000 айн/мин-тан астам жылдамдықты қамтамасыз ету мүмкіндігіне ие болғандықтан, сәйкесінше анықтамалықтарда сол мәндерге сай ұсыныстар берілген. Жоғары беріктікке ие 30ХГСА болат материалын өңдеуде жоғары жылдамдықты жоңғылау үрдісін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер осы әдістің жоғары ресурстары бар екенін көрсетті. Дұрыс таңдалған кесу режимдерімен механикалық өңдеудің жоғары сапалы өңдеу көрсеткіштеріне және өнімділікті арттыруға қол жеткізуге болады.

Кілтті сөздер: қиын өңделетін материал, жоғары жылдамдықты жоңғылау, кесу режимдері, кедір-бұдырлық, қаттылық, өнімділік.

\*S. O. Tussupova<sup>1</sup>, L. N. Mahmudov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Navoi State Mining and Technology University, Republic of Uzbekistan, Navoi  
Material received on 08.09.23.

#### THE STATE OF THE PROBLEM OF PROCESSING HARD-TO-PROCESS MATERIALS

This article presents the results of a study of the state of the problem of processing hard-to-process materials in the conditions of domestic and foreign machine-building industries. It is revealed that the processing of hard-to-process materials by cutting is a problem that is accompanied by material costs and low productivity. The problem may also lie in the high consumption of cutting tools, since these materials have high hardness, strength, viscosity, corrosion resistance, heat resistance with low thermal conductivity, which makes it difficult to process cutting. A method of mechanical processing of hard-to-process materials by high-speed milling is proposed, which is currently one of the developing directions and insufficiently studied in comparison with other methods. However, it has been revealed that when using high-speed milling, there is a problem of choosing cutting modes depending on the material being processed and the material of the cutting tool. There is also no reference data on the choice of cutting modes for processing at high speeds. Since previously used universal machines were not able to provide more than 2000 rpm, and accordingly, recommendations are given in the reference books according to these values. The results of experimental studies of the process of high-speed milling of high-strength alloy steel 30HGSA are presented. The results obtained showed that there are high resources of this method. With correctly selected cutting modes, it is possible to achieve high quality machining indicators and increase productivity.

Keywords: hard-to-process material, high-speed milling, cutting modes, roughness, hardness, efficiency.

SRSTI 55.01.08

<https://doi.org/10.48081/YSCT6829>

\*T. M. Buzauova<sup>1</sup>, Zh. K. Kaizait<sup>2</sup>, A. K. Mateshov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

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

#### SELECTION OF THE WORKPIECE TYPE FOR THE STEEL REINFORCEMENT ROPE PRODUCTION

Reinforcing ropes are one of the most common types of products, consisting of seven steel wires widely used in engineering, construction, agriculture, and other industries. These products are in high demand in these industries due to their higher strength than reinforcing ropes consisting of 2 and 3 wires. In the production of Kazmetiz LLP (Kaz-metiz), a wire was produced from two types of blanks (patented and chemically processed) to improve the mechanical properties of the rope. The blanks were tested for tension and bending. During the tensile test on the REM-100-M-1 stand, the first sample had high rates of breaking force and tensile strength of the wire. During the bending test, the ability of blanks to resist destruction under alternating deformations was determined. After the tests, rope samples with dimensions  $L = 520$  mm and a diameter of 12 mm were made from these blanks for further testing for tensile, compression, and bending on the RGM-600-M-1 test bench. Based on the results of experimental and industrial studies, a type of blank was selected that meets the requirements for finished products manufactured by Kaz-metiz LLP (Kaz-metiz).

Keywords: reinforcing ropes, testing, compression, metrological support, workpieces.

#### Introduction

Seven-wire reinforcing ropes are prestressed reinforcement and are a strand consisting of six wires of the outer layer, twisted in a spiral around one central wire. The raw material for the manufacture of reinforcing ropes is wire rods with a diameter of 11.00 mm of steel grade 80. The quality of wire rods is one of the main factors determining technical and economic indicators and product quality of steel wire production [1]. Drawing defects are unacceptable and affect the quality of the finished product [2].

Patenting is in the fact that the wire, passing as an unfolded thread through the furnace muffle, is heated to a temperature of 860–9400 C, then enters the bath, in which it is cooled to a temperature of 410–5500C, after which it slowly cools in the air [3]. The patented stock of reinforcing ropes has a higher strength and elasticity [4] than the wire quenched and tempered after drawing: in the first case, mechanical strengthening during drawing is added to the hardening achieved during heat treatment, while in the second case, this mechanical strengthening is significantly reduced as a result of recrystallization occurring during heating for hardening. Ropes are made exclusively from hard-worked wire with a total reduction of approximately 70 to 80 %. Seven-wire

reinforcing ropes is a strand consisting of one central wire and six wires of the outer layer, twisted in a spiral around the central wire (Fig. 1) [5].



Figure 1. Construction of a seven-wire reinforcement rope 1×7

The rest of the article is structured as follows: Section 2 contains the experimental part carried out in Kaz-metiz LLP, two samples with a diameter of 4.10 mm of a patented and chemically processed workpiece were made for the experiment. The results of the experiment are given in the conclusion section.

The experimental part

The main purpose of the experiment is to choose a method for obtaining a workpiece for the manufacture of reinforcing rope with high mechanical properties.

To do this, Kaz-metiz LLP (Kaz-metiz) produced two samples with a diameter of 4.10 mm of a patented and chemically processed billet (Table 1) (Fig. 2). The chemical composition and drawing technology of the workpieces are identical.

Table 1 – Technology for obtaining workpieces (samples)

Sample number	Type of sample processing	Geometric dimensions	Wire Processing Method	Drawing speed, m/s	Type of oil for drawing
№1	Patented	Diameter - 4.10 mm, length - 310 mm	Patented	3,0 m/s	LUBIFIL VF3179
№2	Chemically processed		Chemically processed		SBS-Y



Figure 2 – Samples for the experiment: (a) diagram; (b) photo

During the tests, testing machines and measuring instruments were used, the metrological characteristics of which are given in table 2.

Table 2 – Metrological assurance of tests

Name of the measured parameter, designation	Unit of physical quantity	Name, type of test device, regulatory document	Measuring range	Accuracy class, measurement error
Wire length, L	mm	Line-1000, State Standard 427-75	300	0,2
Wire diameter, Ø	mm	Micrometer MC, 0-25 State Standard 6507-90	0-25	0,01
Breaking force of wire, P <sub>max</sub>	kN	Universal test bench, REM-100-M-1	4-100 kN	no more than 1%
Wire bend, N <sub>b</sub>	-	Test bench WJJ-6C	not listed in the test stand passport	
Rope diameter, Ø	mm	Calipers, CP- II -250-0,05 State Standard 166-89	0-250	0,1
Rope breaking force, P <sub>max</sub>	kN	Test bench, RGM-600-M-1	24-600 kN	no more than 1%

To determine the breaking force P and the tensile strength of the wire σB, the workpieces were tested for tensile strength in accordance with the source [6].

Breaking force (P) - the maximum force required to separate the sample.

The temporary tear resistance (tensile strength σB) – is the stress corresponding to the greatest force Pmax preceding the rupture of the sample. The time resistance to rupture was determined by the formula:

$$\sigma_{max} = P_{max} / F_0$$

if, Pmax is the breaking force of the wire, kN

F<sub>0</sub>-wire cross-sectional area, mm<sup>2</sup>.

The test was carried out on the SEM-100-M-1 and in accordance with the requirements of the regulatory document (Fig. 3) [7]. The wire diameter was measured in mutually perpendicular directions using a micrometer MC 0-25 (table 3). Mechanical tests of samples on the machine are carried out by deforming the sample to destruction with controlled movement of the active traverse. The cross - sectional area of the wire was determined by the formula:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{2}$$

The test results are shown in Table 4.

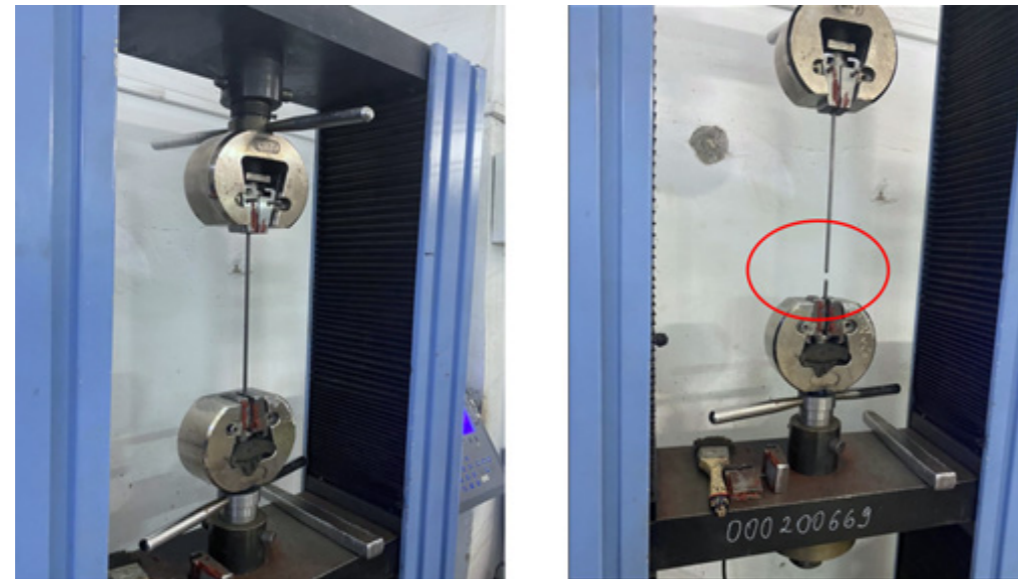


Figure 3 – Testing the sample for rupture on the bench REM-100-M-1: (a) - type of the stand; (b) - wire break (highlighted in red - wire break area)

Table 3 – Measurement of the sample diameter with a micrometer MC 0-25 [8]

Measurement sketch	Sample	Nominal diameter, mm	Actual size, mm
	№1	4,12 – 4,13	4,10±0,04
	№2	4,11 – 4,13	

Table 4 – Tensile test results

Sample	Breaking force (P), N	Wire cross-sectional area F, mm <sup>2</sup>	Temporary tear resistance, N/mm <sup>2</sup>
№1	26000	13,32	1952
№2	24650	13,26	1858

Bending tests were carried out on the test bench WJJ-6C in accordance with the requirements of the standard in order to determine the ability of the metal to withstand repeated bending and stretching (Fig.4) [6]. Metrological support of tests according to Table 2. The essence of the method consists in alternately bending the sample to the right and left at an angle of 90 degrees. Alternating stresses are created at the inflection

point, which will lead the sample to a characteristic destruction. This type of test shows the ability to resist destruction with alternating deformations [9].

If, after testing, there are no external defects on the sample surface in the form of cracks, tears, delaminations, etc., then the material is considered to have passed the test. The index of plasticity is the number of bends before destruction [9].

In the regulatory document of the enterprises of Kaz-Metiz LLP, where bending tests are provided, as a rule, the minimum number of kinks for this type of product is indicated [9]. If the sample fails at the specified minimum value or more, the sample passed the test. Even for samples withstanding the number of bends, it is necessary to pay attention to the nature of the destruction.

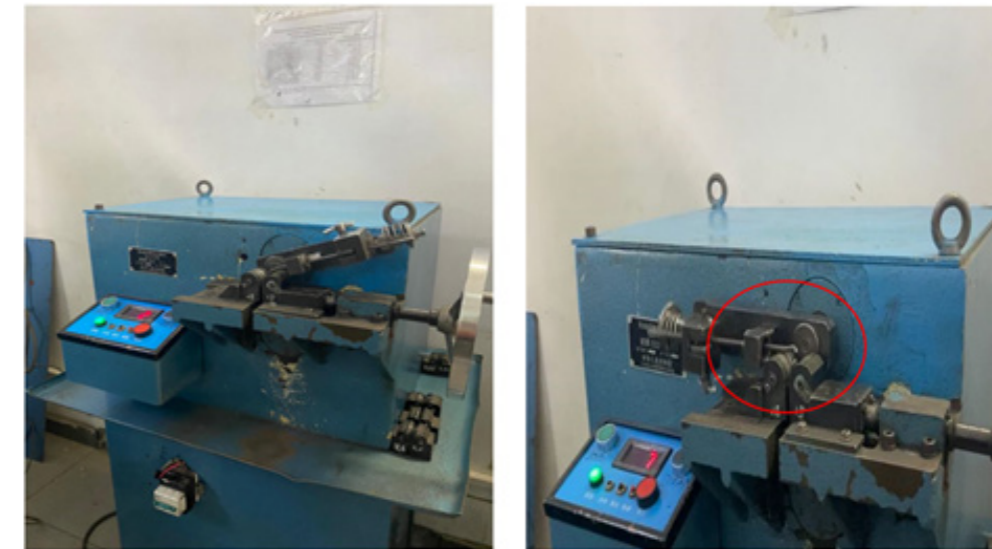


Figure 4 – Test bench WJJ-6C: (a) type of the device; (b) wire bending moment (highlighted in red - wire break area)

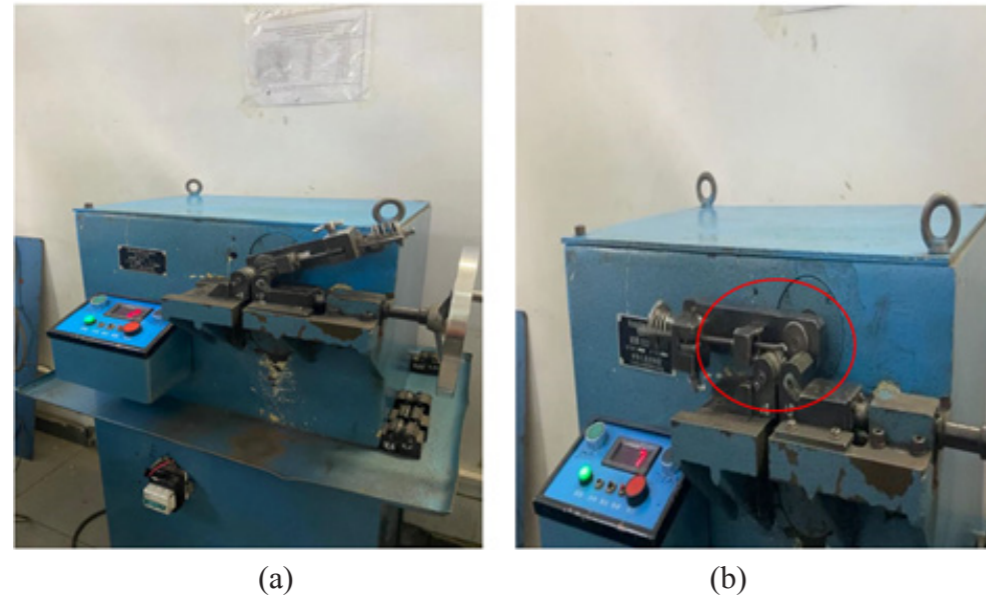
If, after the test, there are no external defects on the surface of the sample in the form of cracks, ruptures, delaminations, etc., then the sample is considered to have passed the test [9]. The test results are shown in Table 6.

Table 6 – Tensile test results

Sample	Nominal bending value, N <sub>b</sub> > 9 [6]
№1	15
№2	10

The results of bending tests given in Table 6 meet the requirements of regulatory documents, according to the results it can be concluded that sample No. 1 has high performance characteristics [6]. No external defects were found on the surface of the two samples after testing.

Corresponding reinforcing ropes are made from these samples, which are tested for rupture, metrological support of tests according to Table 2. The dimensions of the reinforcing ropes sample for tensile testing is:  $L = 520\text{mm}$ , diameter is  $12\text{mm}$ . The rupture tests were carried out on the RGM-600-M-1 test bench (Fig. 5). The universal testing machine RGM-600-M-1 meets the requirements of the standards and is designed for mechanical tests in the mode of stretching, compression and bending of samples made of steel and other materials [6].



(a) (b)  
Figure 5. Test stand RGM-600-M-1:

(a) loading the collet with the tested reinforcing rope into the clamp assembly; (b) type of the test sample

The results of the breaking force tests are shown in Figure 6.

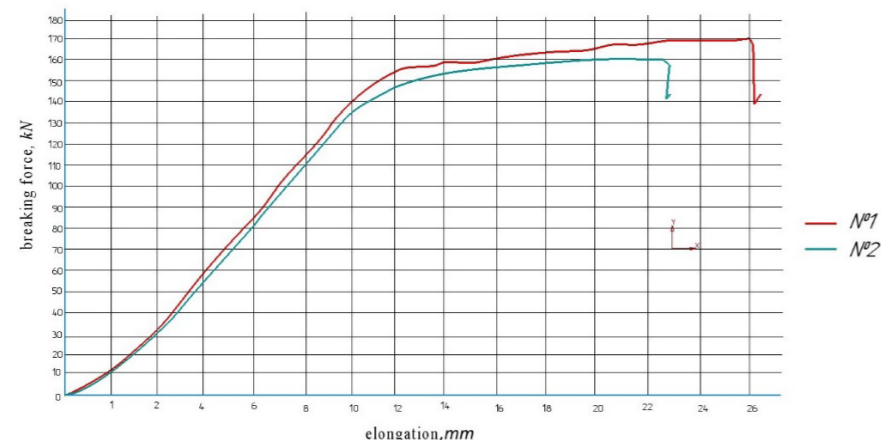


Figure 6. The result of testing reinforcement ropes for rupture

### Results and discussion

Based on the work carried out, it was found that samples from a patented billet during tensile testing show high rates (Table 4) compared to a chemically treated billet, which shows higher characteristics, such as strength and deformation of the metal under tensile loading. The bending test of the samples (Table 6) determined the ability of the patented workpiece to have a higher fracture resistance under alternating deformations. According to the results of testing the reinforcing ropes for rupture, the patented blank showed the value of the ultimate breaking force by 5 %, and the elongation by 8 % (Fig. 7) more than the chemically treated one, which shows the best physical and mechanical properties of the reinforcing ropes from the patented blank.

Conclusion. Based on the results of production studies, it was established that in order to develop a high-quality reinforcing rope, it is important for an enterprise to process patenting, which provides high physical and mechanical properties. On the basis of the work carried out, changes were made to the technological regulations in Kaz-metiz LLP (Kaz-metiz) for the production of a rope with a diameter of  $12.00\text{ mm}$ .

### REFERENCES

- 1 **Adamchuk, S. V.** Resursosberegayushhaya texnologiya proizvodstva armaturny`x kanatov dlya predvaritel`no napryazhenny`x zhelezobetonny`x konstrukcij [Resource-saving technology for production of reinforcement ropes for prestressed reinforced concrete structures] : Dissertation. – Magnitogorsk : Izd-vo Magnitogorsk State Technical University, 2002. – 301 p.
- 2 **Buzauova, T., Sivachenko, L., Aizhambaeva, S., Zhuldyzai, K., Abdugaliyeva, G.** Research of the unacceptable defects causes in the manufacture of reinforcing rope. Journal of applied engineering science. – 2023. Vol. 21 № 1. – P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-36346>.
- 3 **Borisenko, A., Lucenko, V., Lucenko, O., Kurenkova, T., Seregina, E., Demidov, A. V.** Struktura i svoystva patentirovannoj vy`sokouglerodistoj provoloki [Structure and properties of patented high carbon wire]. / Lit`e i metallurgiya. 2012. – 4 (68), – P. 11–20.
- 4 **Mezin, I. Yu., Limarev, A. S., Salganik, V. M., Gun, I. G.** Vliyanie rezhimov patentirovaniya uglerodistoj provoloki na ee svoystva [Influence of carbon wire patenting modes on its properties]. Magnitogorskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet im. G. I. Nosova, Magnitogorsk : Izd-vo Magnitogorskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet, 2020. – 245 p.
- 5 GOST 13840-68. Armaturny`e stal`ny`e kanaty` 1x7. Texnicheskie xarakteristiki [Reinforcement steel ropes 1x7. Specifications]. – Vved. 1990.01.23. – Moscow : Izd-vo standartov, 1990. – 11 p.
- 6 GOST 7348-81. Provoloka iz uglerodistoj stali dlya armirovaniya predvaritel`no napryazhenny`x zhelezobetonny`x konstrukcij. Texnicheskie xarakteristiki [Carbon steel wire for reinforcement of prestressed reinforced concrete structures. Specifications]. – Vved. 1983.01.01. – Moscow : Standartinform, 2003. – 8 p.

7 GOST 12004-81. Stal' armaturnaya. Metody' ispy'taniya na rastyazhenie [Reinforcement steel. Tensile test methods]. –Vved. 1983.07.01. – Moscow: Standartinform, 2009. –12 p.

8 GOST 6507-90. Mikrometry'. Texnicheskie usloviya [Micrometers. Specifications]. –Vved. 1991.01.01. – Moscow : Izd-vo standartov, 2000. –12 p.

9 Vnutrennie texnologicheskie reglamenty' TOO Kaz Metiz [Internal process regulations of Kaz Metiz LLP]. – № 1. – St. 10 s izm. i dopol. v red. ot 11.02.2009.

10 GOST 28840-90. Mashiny' dlya ispy'taniya materialov na rastyazhenie, szhatie i izgib. Obshhie texnicheskie trebovaniya [Machines for testing materials for tension, compression and bending. General Technical Requirements]. –Vved. 1993.01.01. – Moscow : Izd-vo standartov, 2004. – 8 p.

Material received on 22.06.23.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Адамчук, С. В.** Ресурсосберегающая технология производства арматурных канатов для предварительно напряженных железобетонных конструкций. Диссертация. Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова, 2002. – 301 с.

2 **Buzauova, T. Sivachenko, L., Aizhambaeva, S., Zhuldyzai, K., Abdugaliyeva, G.** Research of the unacceptable defects causes in the manufacture of reinforcing rope. Journal of applied engineering science Vol. 21 № 1 2023. – P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-36346>.

3 **Борисенко, А. Ю., Луценко, В. А., Луценко, О. В., Куренкова, Т. П., Серегина, Е. С., Демидов, А. В.** Структура и свойства патентованной высокоуглеродистой проволоки. Литье и металлургия. 4 (68), 2012. – С. 11–20.

4 **Мезин, И. Ю., Лимарев, А. С., Салганик, В. М., Гун, И. Г.** Влияние режимов патентирования углеродистой проволоки на ее свойства. Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет, Россия. 2020. – 245 с.

5 ГОСТ 13840-68. Арматурные стальные канаты 1х7. Технические характеристики. – Введ. 1990.01.23. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 11 с.

6 ГОСТ 7348-81. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические характеристики. – Введ. 1983.01.01. – М. : Стандартиформ, 2003. – 8 с.

7 ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – Введ. 1983.07.01. – М. : Стандартиформ, 2009. – 12 с.

8 ГОСТ 6507-90. Микрометры. Технические условия. –Введ. 1991.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 2000. –12 с.

9. «Внутренние технологические регламенты TOO Kaz Metiz» от 02.10.2007 № 45127-41 2009 г. – № 1. – Ст. 10 с изм. и допол. в ред. от 11.02.2009.

10 ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – Введ. 1993.01.01. –М. : Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.

\***Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, Ж. К. Қайзаум<sup>2</sup>, Ж. К. Қайзаум<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. Материал 22.06.23 баспаға түсті.

#### БОЛАТТЫ АРМАТУРАЛЫҚ АРҚАНДЫ ӨНДІРУ ҮШІН ДАЙЫНДАМА ТҮРІН ТАҢДАУ

*Арматуралық арқандар – машинажасау, құрылыс, ауыл шаруашылығы және т.б. салаларда кеңінен қолданыс тапқан жеті болат сымнан тұратын ең көп таралған өнімнің бірі. Аталған салаларда бұл өнім 2 және 3 сымнан тұратын арматуралық арқандарға қарағанда беріктігімен жоғары сұранысқа ие. ЖШС «Kaz-metiz» (Каз-метиз) өндірісінде арқанның механикалық қасиеттерін арттыру мақсатында екі түрлі дайындамадан (патенттелген және химиялық өңделген) сым әзірленді. Дайындамалар үзілуге және иілуге сыналды. РЭМ-100-М-1 сынақ стендіінде созылу сынағы кезінде бірінші үлгінің созылу күші және үзілуге уақытша төзімділік көрсеткіштері жоғары болды. Иілу сынақтары кезінде дайындамалардың ауыспалы деформациялар кезінде бұзылуға қарсы тұру қабілеті анықталды. РГМ-600-М-1 сынақ стендіінде үзілуге, қысылуға, иілуге сынау мақсатымен сынақтар жүргізіліп болғаннан кейін осы дайындамалардан  $L = 520$  мм, диаметрі 12 мм арқан үлгілері әзірленді. Тәжірибелік және өндірістік зерттеулер нәтижесінде ЖШС «Kaz-metiz» (Каз-метиз) өндірісінің дайын өнімдеріне қойылатын талаптарына сәйкес дайындаманың түрі таңдалды.*

*Кілтті сөздер: арматуралық арқандар, сынақ, қысылу, метрологиялық қамтамасыз ету, дайындама.*

\***Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, Ж. К. Қайзаум<sup>2</sup>, А. К. Матешов<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда. Материал поступил в редакцию 22.06.23.

#### ВЫБОР ВИДА ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОГО АРМАТУРНОГО КАНАТА

*Арматурные канаты - один из самых распространенных видов изделий, состоящий из семи стальных проволок, нашедших широкое применение в машиностроении, строительстве, сельском хозяйстве и в других отраслях. В указанных отраслях данная продукция пользуется повышенным спросом по причине более высокой прочности, чем арматурные канаты, состоящие из 2-х и 3-х проволок. В производстве TOO «Kaz-metiz» (Каз-метиз) с целью повышения механических свойств каната произведена проволока из двух видов заготовок (патентованная и химически обработанная). Заготовки испытывались на растяжение и на изгиб. При испытании на растяжение на стенде РЭМ-100-М-1 у первого образца были высокие показатели разрывного усилия и временного сопротивления к разрыву проволоки. Во время испытании*

на изгиб определены способность заготовок сопротивляться разрушению при знакопеременных деформациях. После проведенных испытаний из данных заготовок изготовлены образцы каната размерами  $L = 520$  мм, диаметром 12 мм для дальнейшего испытания их на разрыв, сжатие и изгиб на испытательном стенде РГМ-600-М-1. По результатам экспериментальных и промышленных исследований выбран вид заготовки, который отвечает требованиям, предъявляемым к готовой продукции производства ТОО «Kazmetiz» (Каз-метиз).

Ключевые слова: арматурные канаты, испытание, сжатия, метрологическое обеспечение, заготовка.

SRSTI 53.31.15

<https://doi.org/10.48081/LLCV2136>

**G. M. Bazenov<sup>1</sup>, \*G. T. Itybayeva<sup>2</sup>, R. B. Kussainov<sup>3</sup>,  
A. L. Galinovskiy<sup>4</sup>, Zh. K. Mussina<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>4</sup>Bauman Chuvash State University, Russian Federation, Moscow.

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

### **STRESS-DEFORMABLE STATE OF GLASS DURING WATERJET CUTTING**

*The most common modern technology for cutting float glass is cutting with cutting wheels, which have a wedge-shaped obtuse cross section and are made of hard alloys. Cutting glass is the creation of a system of cracks. During this, an area of destruction is inevitably formed, consisting of a large number of tiny digs and cracks that occur because of the action of the cutting tool.*

*In the process of waterjet cutting, the depth of surface and lateral cracks increases. In addition, this increases the variation in the depth of the middle cracks. These factors worsen the quality of the cut and increase the likelihood of a split not along the cut. All this results in the necessity to ensure the wheel sharpening angle, pressure and cutting speed that are optimal for the quality of the cut. These optimal values depend on the thickness of the glass and the retained stresses in the glass.*

*The quality of the cut depends on the number and depth of microcracks (especially the middle ones). With a decrease in the angle of sharpening of the wheel, an increase in cutting pressure and speed, the average depth of the median cracks increases, which has a positive effect on the quality of the cut.*

*As a result of the conducted research, optimal parameters of waterjet cutting (treatment) were established, namely, the angle of sharpening of the wheel (110°-160°), cutting pressure (35 N) and speed, which is favorable for the quality of the cut and a reduction in the reject percentage.*

*Keywords: stress-deformable state, glass, waterjet cutting, wheel, sharpening, sharpening angle.*

#### **Introduction**

The most common modern technology for cutting float glass is cutting with cutting wheels. The glass cutting wheels have a wedge-shaped obtuse-angle section and are made of hard alloys (mainly based on tungsten carbide). The sharpening angle of the wheel used depends on the thickness of the glass. In this case, the cutting takes place in two stages: first a notch is made, that is a scratch is formed with a chain of cracks appearing under it (usually from edge to edge of a sheet of glass with a straight cut), and then a bending force is applied across the cutting line (splitting). Such glass cutting is not cutting in the ordinary understanding of the word (such as cutting bread), but the creation of microcracks in the glass under the action of a cutting wheel, along which the glass then splits.

Thus, cutting glass is not cutting in the usual sense of the word, but the creation of a system of cracks. In this case, an area of destruction is inevitably formed, consisting of a large number of tiny digs and cracks that occur because of the action of the cutting tool. A thinner trace, contributing to a better separation of the cut surfaces, is obtained using a diamond. Diamond, being the hardest mineral, regardless of whether its natural or polished face touches the glass, is the most suitable tool for cutting glass [1–7].

**Materials and methods**

The quality of the cut is influenced by many technological factors – the type and quality of the wheels, the quality of their fixation in the cutting head, the cutting pressure and speed, the brand of cutting fluid and the uniformity of its flow, the type and thickness of the glass, the quality (roughness, presence of scratches, cuts, surface bubbles and stones) and the temperature of its surface, the size of the glass sheets, cutting chart, stress distribution in glass (annealing curve), etc. The quality of the cut depends on the number and depth of microcracks (especially the middle ones). With a decrease in the angle of sharpening of the wheel, an increase in cutting pressure and cutting speed, the average depth of the middle cracks increases, has a positive effect on the quality of the cut [8–14].

Waterjet treatment increases the depth of surface and lateral cracks. In addition, this increases the variation in the depth of the middle cracks. These factors worsen the quality of the cut and increase the likelihood of a split not along the cut. All this results in the necessity to ensure the wheel sharpening angle, pressure and cutting speed that are optimal for the quality of the cut. These optimal values depend on the thickness of the glass and the retained stresses in the glass [15–21].

**Results and discussions**

Most manufacturers of cutting equipment give their recommendations on the parameters of cutting various types of glass in the documentation for the equipment. It is also very important to properly fix the wheel in the cutting head: it must rotate freely around its axis, while remaining perpendicular to the plane of the glass. When the wheel slips, a large number of cracks parallel to the surface are formed and the edge of the glass is crumbling. With the inclined position of the wheel, the main crack does not pass perpendicular to the surface of the glass and the cut is also non-perpendicular. If the wheel swings on its axis, then the cut turns out to be intermittent and wavy and therefore the split will be non-linear.

Figures 1, 2 and 3 show the types of glass cuts.

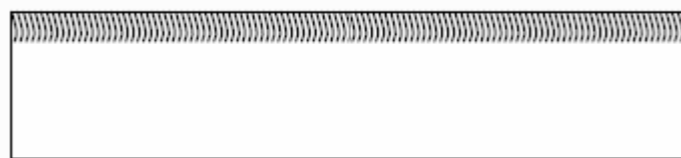


Figure 1 – A clean cut of good quality with small notches

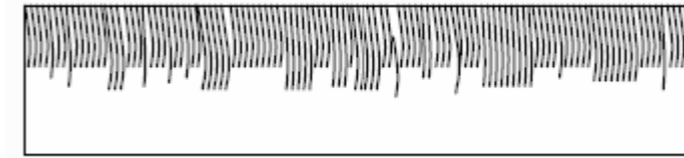


Figure 2 – Poor quality of the cut with noticeable notches and chips

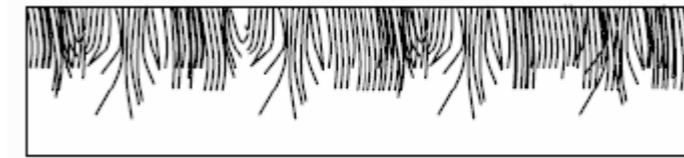


Figure 3 – Very bad cut with notches, chips and a jagged edge

The critical load of microcrack development depends on its depth. When splitting, in the case of large bending loads applied to the cut, it is necessary to ensure a large difference in size between the middle and other cracks. At the same time, the depth of cracks is not too important here, since with large bending loads, the applied load exceeds the critical value for most middle cracks.

As a result, for example, for cutting glass of large thickness, it is necessary to select cutting parameters in such a way as to reduce the number of surface and lateral cracks, even at the expense of a general reduction in the size of all cracks, including the «useful» middle ones. For this reason, for cutting heavy thickness glasses, equipment manufacturers recommend wheels with a high sharpening angle. Depending on the thickness of the glass and the equipment used, wheels with a sharpening angle from 110° (for thin glass) to 165° (for thick glass) are used. For example, Bottero company recommends using the following wheels for its cutting tables, depending on the thickness of the glass: 4–6 mm – 145°, 8–19 mm – 155°, 25 mm – 160°. When increasing the thickness of the glass, it is also recommended to increase the cutting pressure and reduce its speed.

The recommendations of Bohle company on the choice of the angle of sharpening of the wheel for rectangular cutting of float glass are given in Table 1.

Table 1 – Recommended sharpening angles of the wheel (diameter 5 mm)

Glass thickness	Sharpening angle
0.8-1.0 mm	110°
1.0-2.0 mm	120°
2.0-3.0 mm	130°
3.0-4.0 mm	135°
4.0-10.0 mm	140°
5.0-12.0 mm	145°
8.0-15.0 mm	150°
10.0-20.0 mm	155°
20.0-25.0 mm	160°



Figure 4 shows the distribution of stresses created by the wheel over the thickness of the glass.

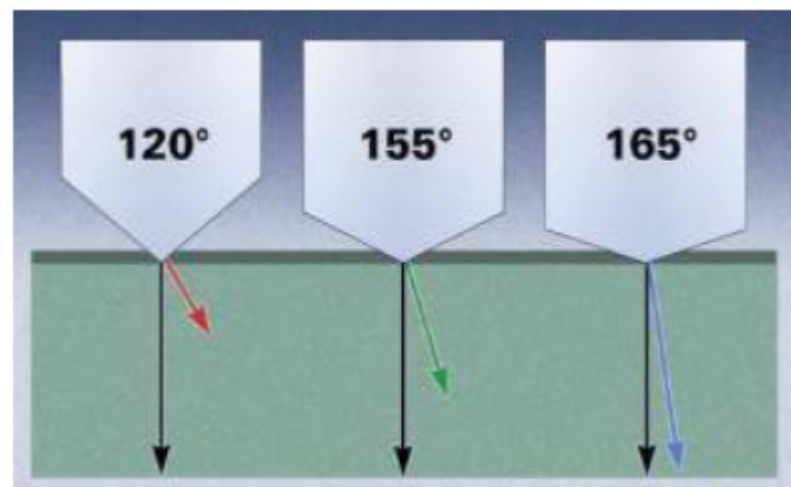


Figure 4 – Distribution of stresses created by the wheel over the thickness of the glass

Figure 5 shows the stress distribution in the glass after cutting.

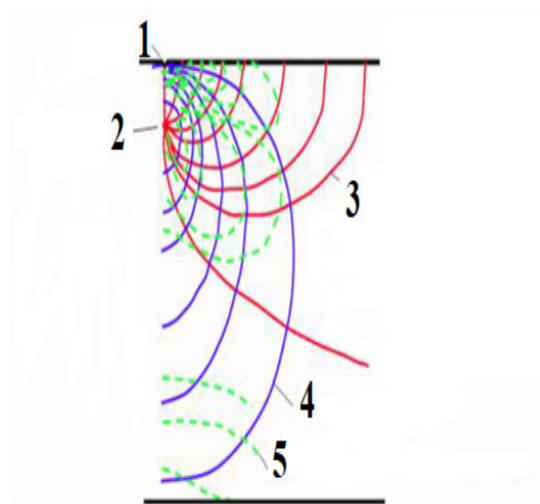
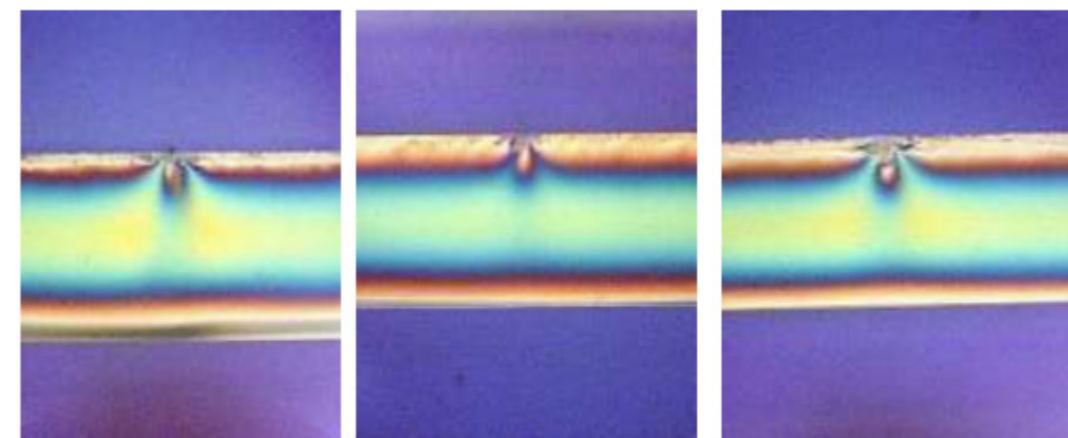


Figure 5 – Stress distribution in glass  
1 – cutting depth; 2 – pressure depth; 3 – tensile stress;  
4 – compressive stress; 5 – reduced tensile stress

The wheel force is the most important cutting parameter. Figure 6 shows photographs (in polarized light) of the edge of the glass. Cutting was performed with wheels with the same sharpening angle (135°), but at different pressures: 35 N, 100 N and 35 N (photo 30 minutes after cutting).



35 N 100 N 35 N (in 30 minutes)

Figure 6 – Stress distribution in glass

### Conclusions

As a result of the conducted research, optimal parameters of waterjet cutting (treatment) were established, namely, the angle of sharpening of the wheel (110°-160°), cutting pressure (35 N) and speed, which is favorable for the quality of the cut and a reduction in the reject percentage.

### REFERENCES

- 1 **Popelyukh, A. I., Tyurin, A. G., Plotnikova, N. V.** Promising methods of material processing: Textbook– Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2014. – P. 49.
- 2 **Ablyaz, T. R., Vil'deman, V. E., Muratov, K. R. et al.** Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining // Russian Engineering Research, 2018 – Vol. 39 – Issue 10 – P. 892–894.
- 3 **Dudak, N. S., Itybaeva, G. T., Musina, Zh. K. et al.** A New Pass-Through Lathe Cutter // Russian Engineering Research, 2014 – Vol. 34 – Issue 11 – P. 705–707.
- 4 **Zvezdin, V. V., Khisamutdinov, R. M., Grechishnikov, V. A. et al.** Laser Machining of Tool Steels // Russian Engineering Research, 2018 – Vol. 38 – Issue 12 – P. 1038–1041.
- 5 **Mukanov, R. B., Kasenov, A. Z., Itybaeva, G. T. et al.** Face Turning of Holes // Russian Engineering Research, 2019 – Vol. 39 – Issue 1 – P. – 75–78.
- 6 **El-Hofy, H.** Advanced machining processes. Nontraditional and Hybrid machining processes // The McGraw-Hill Companies. – 2005. – P. 32–46.
- 7 **Ospantaev, M. K.** Geometric parameters of a peakless cutting tool in the instrumental coordinate system // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – № 1. – P. 40–51. – DOI 10.48081/VYTH5824.
- 8 **Mendaliyeva, S. I., Kossatbekova, D. Sh., Akulovich, L. M.** Technology and equipment of hydraulic cutting and waterjet treatment in modern mechanical engineering

// Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin. – 2016. – № 2 (89). – P. 144–153.

9 **Galinovsky, A. L., Tarasov, V. A., Elfimov, V. M.** Minimization of the technological cost of waterjet cutting taking into account the cost and technological parameters of the treatment process // News of higher educational institutions «Mechanical Engineering». – 2011. – № 4. – P. 46–54.

10 **Stepanova, E. Yu., Kozhus, O. G., Barsukov, G. V.** Innovative cutting technologies with supersonic liquid jet: economy, market, state and prospects of development // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2017. – № 1 (54). – P. 243–253.

11 **Stepanov, Yu. S., Barsukov, G. V., Alyushin, E. G.** Modern technologies of hydro- and hydroabrasive processing of workpieces // Science-driven technologies in mechanical engineering. – 2012. – № 6. – P. 15–20.

12 **Tikhonov, A. A.** Improving the efficiency of the process of waterjet treatment: dissertation, Candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don. 2011. – P. 156.

13 **Verchenko, A. V., Tamarkin, M. A., Kishko, A. A.** Research of the roughness of the cut surface in case of waterjet cutting // Advanced Engineering Research. 2017. – № 2 (89). – P. 116–130.

14 **Smirnov, M. I., Spiridonov, Yu. A., Karapetyan, A. R.** Modern technologies of sheet glass cutting // Glass and ceramics. – 2011 – № 1 – P. 6–10.

15 **Galinovskiy, A. L., Izotov, N. A.** An experimental study of hydroerosion of surface of a chill metal under the influence of an abrasive-liquid ultra-jet // AIP Conference Proceedings, 2021 – Vol. 2318. – Art. No 150013.

16 **Dudak, N., Itybaeva, G., Kasenov, A. et al.** Multi-flute drill-broach for precision machining of holes // Scientia Iranica, 2019 – Vol. 26 – Issue 3 – P. 1415–1426.

17 **Popov, V., Yanyushkin, A., Arkhipov, P.** Combined electric diamond grinding of materials prone to adhesive diffusive interaction // Materials Today: Proceedings this link is disabled, 2019 – № 11 – P. 36–41.

18 **Shpilev, V. V.** Improving the efficiency of the process of waterjet cutting of sheet parts by optimizing the processing modes and parameters of the working fluid jet: dissertation, Candidate of Technical Sciences. Saratov, 2012. – P. 147.

19 **Kasenov, A.** Precision of hole processing by reamer-broaching // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 1. – P. 28–36. – DOI 10.48081/MSMF5347

20 **Bazenov, G. M.** On the issue of the use of waterjet treatment in modern mechanical engineering // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 2. – P. 39–47. – DOI 10.48081/BDFH9117

Material received on 22.07.23.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Попелюх, А. И., Тюрин, А. Г., Плотникова, Н. В.** Перспективные способы обработки материалов: Учебное пособие – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2014. – 49 с.

2 **Ablyaz, T. R., Vil'deman, V. E., Muratov, K. R. et al.** Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining // Russian Engineering Research, 2018 – Vol. 39 – Issue 10 – P. – 892–894.

3 **Dudak, N. S., Itybaeva, G. T., Musina, Zh. K. et al.** A New Pass-Through Lathe Cutter // Russian Engineering Research, 2014 – Vol. 34 – Issue 11 – P. 705–707.

4 **Zvezdin, V. V., Khisamutdinov, R. M., Grechishnikov, V. A. et al.** Laser Machining of Tool Steels // Russian Engineering Research, 2018 – Vol. 38 – Issue 12 – P. – 1038–1041.

5 **Mukanov, R. B., Kasenov, A. Z., Itybaeva, G. T. et al.** Face Turning of Holes // Russian Engineering Research, 2019 – Vol. 39 – Issue 1 – P. – 75–78.

6 **El-Hofy, H.** Advanced machining processes. Nontraditional and Hybrid machining processes // The McGraw-Hill Companies. – 2005. – P. 32–46.

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

8 **Мендалиева, С. И., Косатбекова, Д. Ш., Акулович, Л. М.** Технология и оборудование гидрорезки и гидроабразивной обработки в современном машиностроении // Вестник науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. – 2016. – № 2 (89). – С. 144–153.

9 **Галиновский, А. Л., Тарасов, В. А., Елфимов, В. М.** Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки // Известия высших учебных заведений «Машиностроение». – 2011. – № 4. – С. 46–54.

10 **Степанова, Е. Ю., Кожус, О. Г., Барсуков, Г. В.** Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 1 (54). – С. 243–253.

11 **Степанов, Ю. С., Барсуков, Г. В., Алюшин, Е. Г.** Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – № 6. – С. 15–20.

12 **Тихонов, А. А.** Повышение эффективности процесса гидроабразивной обработки: дис. кандидат технических наук. Ростов-на-Дону. 2011. – 156 с.

13 **Верченко, А. В., Тамаркин, М. А., Кишко, А. А.** Исследование шероховатости поверхности реза при гидроабразивной резке // Advanced Engineering Research. 2017. – № 2 (89). – С. 116–130.

14 **Смирнов, М. И., Спиридонов, Ю. А., Карапетян, А. Р.** Современные технологии резки листового стекла // Стекло и керамика. – 2011 – №1 – С. 6–10.

15 Galinovskiy, A. L., Izotov, N. A. An experimental study of hydroerosion of surface of a chill metal under the influence of an abrasive-liquid ultra-jet // AIP Conference Proceedings, 2021 – Vol. 2318. – Art.no 150013.

16 Dudak, N., Itybaeva, G., Kasenov, A. et al. Multi-flute drill-broach for precision machining of holes // Scientia Iranica, 2019 – Vol. 26 – Issue 3 – P. 1415–1426.

17 Popov, V., Yanyushkin, A., Arkhipov, P. Combined electric diamond grinding of materials prone to adhesive diffusive interaction // Materials Today: Proceedingsthis link is disabled, 2019 – № 11 – P. 36–41.

18 Шпилев, В. В. Повышение эффективности процесса гидроабразивной резки листовых деталей путем оптимизации режимов обработки и параметров струи рабочей жидкости: дис. канд. техн. наук. Саратов, 2012. – 147 с.

19 Kasenov, A. Precision of hole processing by reamer-broaching // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 1. – P. 28–36. – DOI 10.48081/MSMF5347.

20 Bazenov, G. M. On the issue of the use of waterjet treatment in modern mechanical engineering // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 2. – P. 39–47. – DOI 10.48081/BDFH9117.

*Г. М. Базенов<sup>1</sup>, \*Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, Р. Б. Кусаинов<sup>3</sup>,*

*А. Л. Галиновский<sup>4</sup>, Ж. К. Мусина<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>4</sup>Н. Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

Материал 22.07.23 баспаға түсті.

#### ГИДРОАБРАЗИВТІ КЕСУ КЕЗІНДЕГІ ШЫНЫНЫҢ КЕРНЕУ-ДЕФОРМАЦИЯЛАУ КҮЙІ

Флоат шыныларды кесудің ең кең таралған заманауи технологиясы-сына тәрізді догал қимасы бар және қатты қорытпалардан жасалған кескіш роликтермен кесу. Шыны кесу-бұл жарықтар жүйесін құру. Бұл жағдайда кесу құралының әсерінен пайда болатын көптеген ұсақ сынықтар мен жарықтардан тұратын жойылу аймағы сөзсіз қалыптасады.

Гидроабразивті оңдеу кезінде беткі және бүйірлік жарықтардың тереңдігі артады. Сонымен қатар, бұл ортаңғы жарықтардың тереңдігі бойынша таралуды арттырады. Бұл факторлар кесу сапасын нашарлатады және кесілмеген ақаулардың ықтималдығын арттырады. Мұның бәрі роликті қайрау бұрышының, қысымның және кесу жылдамдығының кесу сапасы үшін оңтайлы мәндерін қажет етеді. Бұл оңтайлы мәндер шыны қалыңдығына және шыныдағы қалдық кернеулерге байланысты.

Кесу сапасы микрожарықтардың саны мен тереңдігіне байланысты (әсіресе орташалар). Роликтің қайрау бұрышы азайған кезде, қысым және кесу жылдамдығы жоғарылағанда, ортаңғы жарықтардың орташа тереңдігі артады, бұл кесу сапасына оң әсер етеді.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде гидроабразивті кесудің (оңдеудің) оңтайлы параметрлері анықталды, атап айтқанда роликті қайрау бұрышы

(110°–160°), қысым (35Н) және кесу жылдамдығы, бұл кесу сапасына және ақау пайызының төмендеуіне жағымды әсер етеді.

Кілтті сөздер: кернеулі деформацияланатын күй, шыны, гидроабразивті кесу, ролик, қайрау, қайрау бұрышы.

*Г. М. Базенов<sup>1</sup>, \*Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, Р. Б. Кусаинов<sup>3</sup>,*

*А. Л. Галиновский<sup>4</sup>, Ж. К. Мусина<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,5</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>4</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Российская Федерация, г. Москва.

Материал поступил в редакцию 22.07.23.

#### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕКЛА ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКЕ

Наиболее распространенной современной технологией раскрытия флоат-стекла является резка режущими роликами, которые имеют клиновидное тупоугольное сечение и изготавливаются из твердых сплавов. Резка стекла является созданием системы трещин. При этом неизбежно образуется область разрушения, состоящая из большого количества мельчайших выколов и трещин, возникающих под действием режущего инструмента.

При гидроабразивной обработке увеличивается глубина поверхностных и боковых трещин. Кроме того, при этом увеличивается разброс по глубине срединных трещин. Эти факторы ухудшают качество реза и увеличивают вероятность разлома не по резу. Все это приводит к тому, что необходимы оптимальные для качества реза значения угла заточки ролика, давления и скорости реза. Эти оптимальные значения зависят от толщины стекла и остаточных напряжений в стекле.

Качество реза зависит от количества и глубины микротрещин (в особенности срединных). При уменьшении угла заточки ролика, увеличении давления и скорости реза средняя глубина срединных трещин увеличивается, что положительно влияет на качество реза.

В результате проведенных исследований установлены оптимальные параметры гидроабразивной резки (обработки), а именно угла заточки ролика (110°–160°), давления (35Н) и скорости реза, что благоприятно влияет на качество реза и уменьшение процента брака.

Ключевые слова: напряженно-деформируемое состояние, стекло, гидроабразивная резка, ролик, заточка, угол заточки.

\*Baigereyev S. R<sup>1</sup>, Guryanov G. A<sup>1</sup>, Suleimenov A. D<sup>2</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

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

**METHOD OF DECREASE IN ENERGY INTENSITY OF THE GRINDING PROCESS IN STIRRED MILLS**

One of the most important and difficult problems related to the grinding process in a stirred mill is the high energy intensity. This article proposes a method for reducing the energy intensity of the grinding process in a stirred mill. The essence of this method bases on the organization of the radial and axial impact on the particles of the grounded material. This is achieved by the use of a new stirred mill design. While the radial action is conducted by the rotation of the ellipsoidal stirrer, the axial one is conducted by the vibrational oscillations of the chamber. The dependence of the theoretical power on the functioning parameters of the new grinder was established, and a computational experiment was carried out on the basis of this. As the investigation results showed it is possible to reduce energy consumption in a stirred mill by 20 % as a result of the use of this method.

Keywords: energy intensity, stirred mill, grinding process, power, product fineness, grinding media.

**Introduction**

Stirred mills are considered to be as one of the perspective alternative for traditional ball and vibrational mill. This is explained by the fact that stirring milling process can be implemented under high-speed mode and, consequently, under high value of grinding energy providing the fine and ultrafine product [1].

However, the fine and ultrafine process in stirred mills is characterized by high energy consumption. For example, the well-known stirred mill «IsaMill» realizes high-speed grinding process under 8000 kWt of power (stirrer speed is 1200 rpm, product fineness is 7 μm) or the stirred mill «Vertimill» consumes 3000 kWt to achieve 15 μm of product fineness.

In order to decide the problem related to considered problem the previous investigations of the energy consumption in stirred mills have been analyzed. For example, author of the work [2] presented the shear based stirred mill power model. According to the shear based stirred mill power model the mathematical dependence between power and parameters of the stirred mill has been defined. The dependence allows to determine the operational parameters of the stirred mill to achieve energy efficiency of the grinding process. In the work [3, 4, 5] the effect of the stirrer design on the power of the stirred mill has been investigated. As the results of investigations

showed, while disk stirrer is characterized by low energy consumption, cross stirrer is characterized by high energy intensity. This is explained by the significant energy losses on the agitation of the grinding media by cross stirrer. However, comparing the product fineness, the use of cross stirrer allows to achieve the product with higher product fineness in comparison with the case of disk stirrer use.

As a method of decrease in the energy consumption in the stirred mills, the organization of the grinding process by action on the particles in radial and axial directions is proposed [6].

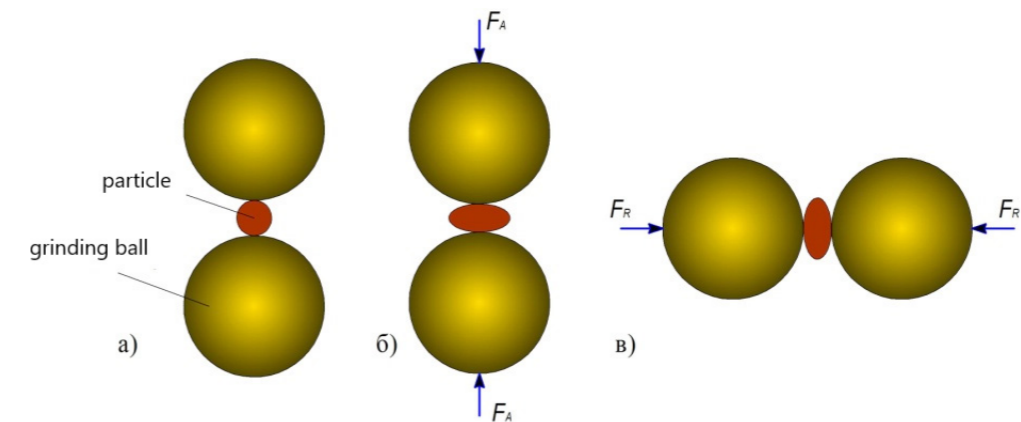


Figure 1 - The scheme of the proposed method

In order to realize this method a new design of the stirred mill has been used [7]. The radial effect on the particles of the material is conducted by an ellipsoidal stirrer, and the axial effect is conducted by vibration drive.

While the radial action is the action of the stirrer, the axial action is the action of the vibrational drive (Figure 2).

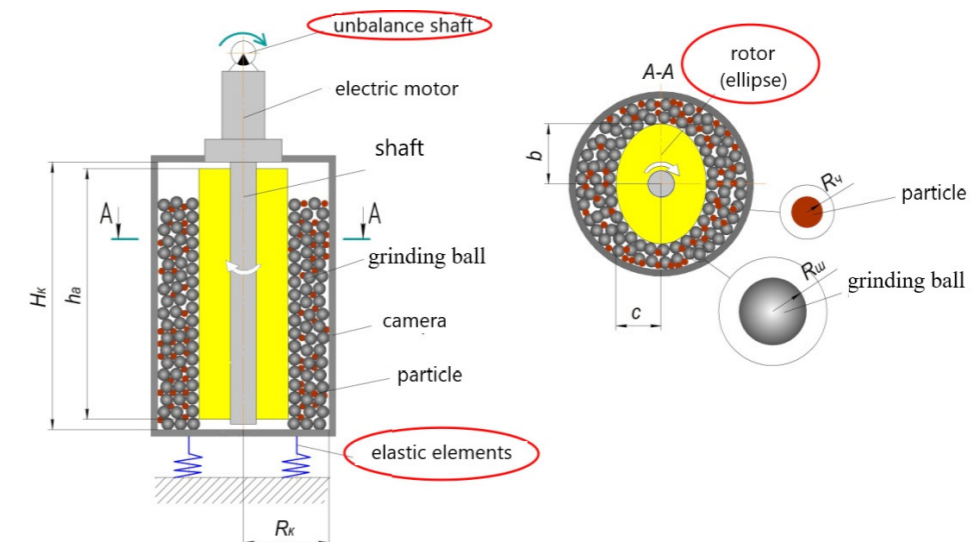


Figure 2 – The design of the stirred mill for implementation of the proposed method

In this case, the power spending on the stirrer action is decreased due to action of the vibrational drive.

Materials and methods.

Power consumption PR in the stirred mill is carried out for the circulation of the PbR grinding balls by means of the rotation of the ellipsoidal stirrer and the process of grinding particles of the PgR material. Accordingly, the power balance equation for determining the power PR can be written as follows:

$$P_R = P_{bR} + P_{gR} \quad (1)$$

The power required for circulation the grinding balls can be quantified by the following relationship:

$$P_{bR} = m_b \cdot g \cdot N_b \cdot \frac{(b-c) \cdot n_R}{7,5}, \quad (2)$$

In Eq. (2),  $m_b$  is the mass of one grinding ball (kg),  $N_b$  is the number of grinding balls,  $b$  is the major semi-axis of the ellipse (mm),  $c$  is minor semi-axis of the ellipse (mm),  $n_R$  is the rotation speed of the stirrer,  $g$  is the acceleration of gravity (mm/s<sup>2</sup>).

The determination of the number of grinding balls  $N_b$  is performed from the condition of the degree of filling the chamber with grinding balls, taken equal to  $\varphi_b = 0,8$  [8]. To do this, the location of the grinding balls is simulated (Figure 3).

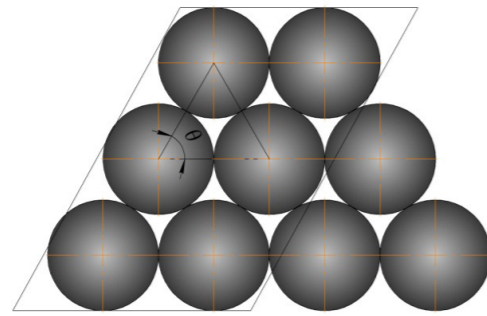


Figure 3 – Layout of the grinding balls (rhombic configuration)

As follows from Figure 3, a space (porosity) is formed between the grinding balls, the total volume of which is determined by the following formula [9]:

$$\sum V_{por} = k_{por} \cdot \sum V_b, \quad (3)$$

In Eq. (3),  $k_{por}$  is the porosity coefficient ( $k_{por} = 0.259$ ) corresponding to the rhombic configuration of the grinding balls (Figure 3),  $\sum V_b$  is the total volume of grinding balls (m<sup>3</sup>).

The determination of the porosity coefficient  $k_{por}$  was made according to the Slichter formula:

$$k_{por} = 1 - \frac{\pi}{6 \cdot (1 - \cos \theta) \sqrt{1 + \cos \theta}}, \quad (4)$$

In Eq. (4),  $\theta$  is the the angle of intersection of the lines connecting the centers of the grinding balls.

With a rhombic configuration of the balls, which most closely corresponds to the real layout of the grinding bodies, the angle  $\theta = 60^\circ$  because lines connecting the centers of the balls form an equilateral triangle. According to formula (4), the porosity coefficient at the value is  $k_{por} = 0.259$ .

The total volume of the balls is determined by the following formula:

$$\sum V_b = N_b \cdot V_b = 4,1888 \cdot N_b R_b^3, \quad (5)$$

In Eq. (5),  $N_b$  is number of grinding balls,  $V_b$  is volume of one grinding ball (mm<sup>3</sup>) ( $V_b = \frac{4}{3} \pi R_b^3$ ).

Taking into account Eq. (5), Eq. (3) can be written as follows:

$$\sum V_{por} = 1,0849 \cdot N_b R_b^3 \quad (6)$$

Taking into account Eqs. (5) and (6) the volume of filling the chamber with grinding balls  $\sum V_{bo}$  with the formation of «interspherical voids» can be determined by the following formula:

$$\sum V_{bo} = \sum V_b + \sum V_{por} = 5,2737 \cdot N_b R_b^3 \quad (7)$$

Taking into account the formula for determining the degree of chamber filling with grinding balls:

$$\varphi_b = \frac{\sum V_{bo}}{V_U} = \frac{5,2737 \cdot N_b R_b^3}{V_U} \quad (8)$$

In Eq. (8),  $V_U$  is the «useful volume» of the chamber, i.e. the space of the mill chamber with the exception of the volume occupied by the stirrer. The «useful volume» of the stirred mill chamber can be determined by the following formula:

$$V_U = V_{ch} - V_{st}, \quad (9)$$

In Eq. (9),  $V_{ch}$  is cylindrical chamber volume (mm<sup>3</sup>),  $V_{st}$  is the stirrer volume (mm<sup>3</sup>).

Taking into account the geometric shape of the mill chamber designed as a rectangular cylinder with radius  $R_{ch}$  and height  $H_{ch}$  the volume of the cylindrical chamber is determined by the following formula:

$$V_{ch} = \pi R_{ch}^2 \cdot H_{ch} \quad (10)$$

The volume of the ellipsoidal stirrer is determined by the following formula:

$$V_{st} = \pi \cdot b \cdot c \cdot h_{st}, \quad (11)$$

In Eq. (11),  $h_{st}$  is the stirrer height (mm).

Then, taking into account Eqs. (10) and (11), Eq. (9) takes the form:

$$V_U = \pi(R_{ch}^2 \cdot H_{ch} - b \cdot c \cdot h_{st}). \quad (12)$$

The dependance for calculation the number of grinding balls follows from Eq. (8) with taking into account Eq. (12):

$$N_b = \frac{\varphi_b \cdot \pi(R_{ch}^2 \cdot H_{ch} - b \cdot c \cdot h_{st})}{5,2737 \cdot R_b^3}. \quad (13)$$

The total drive power of the ellipsoidal stirrer:

$$P_R = \left(\frac{3}{1-2\mu}\right)^3 \cdot (b-c) \cdot n_R \left[ \frac{\beta^2 \cdot \sigma^3}{1,4512 \cdot \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_p}\right)^2} + \frac{m_b \cdot N_b \cdot g}{7,5} \right]. \quad (14)$$

Similarly to Eq. (1), the required power of the vibration drive is determined by the formula:

$$P_A = P_{bA} + P_{grA}. \quad (15)$$

The power expended on the movement of grinding balls in the vertical direction due to the vibrational movement of the chamber is determined by the following formula:

$$P_{bA} = m_b \cdot N_b \cdot g \cdot A \cdot \varphi_A \quad (16)$$

The power expended for the operation of the mill in the axial direction:

$$P_A = \left(\frac{3}{1-2\mu}\right) \cdot \frac{m_b \cdot N_b \cdot g \cdot \beta^2 \cdot \sigma \cdot A^2 \cdot \varphi_A^2}{0,1935 \cdot \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_p}\right)} \quad (17)$$

Therefore, the total power of the mill can be determined by summing the Eqs. (14) and (17), i.e.:

$$P = P_R + P_A. \quad (18)$$

Thus, a calculation formula for determining the theoretical power of a new design of mill has been obtained.

**Results and discussion.**

To evaluate the effectiveness of the proposed method for reducing energy consumption in a stirred mill, the computational experiment using a mill with the following parameters (Table 1) has been conducted.

Table 1 – The parameters of the stirred mill

Parameter	Symbol	Value
Chamber radius	$R_{ch}$	120 mm
Camera height	$h_{ch}$	100 mm
The major semi-axis of the ellipsoidal rotor	b	40 mm
The minor semi-axis of the ellipsoidal rotor	c	30 mm
Rotation speed of the unbalance	$n_A$	

The kinematic parameters of the stirred mill are represented by the following operating parameters which are the speed of rotation of the ellipsoidal stirrer  $n_R$ , the amplitude of the chamber oscillations  $A$  and the speed of rotation of the unbalance shaft  $n_A$ .

For a joint study of these factors on the energy consumption a multifactorial computational experiment has been conducted. The experiment consists in a theoretical calculation of the product fineness at various levels of numerical values of the speed of rotation of the ellipsoidal rotor  $n_R$ .

As a simulated material in a computational experiment, the river sand with the following physical and mechanical characteristics has been chosen (Table 2).

Table 2 – Physical and mechanical parameters of the particle material

Parameter	Symbol	Value
Ultimate tensile stress	$\sigma_{BP}$	0,9 MPa $\left(\frac{N}{m^2}\right)$
Elastic modulus	$E$	18000 MPa $\left(\frac{N}{m^2}\right)$
Poisson's ratio	$\mu$	0,32

The values of ultimate tensile stress, modulus of elasticity and Poisson's ratio for a particle of river sand are selected based on reference information [10,11].

The levels of factor variation correspond to the smallest (min), average (med), and largest (max) parameter values within the selected ranges, i.e.  $1000 \leq n_R \leq 2000$  rpm ( $n_R = 1000$  rpm - min,  $n_R = 1500$  rpm - med,  $n_R = 2000$  rpm - max).

After the calculations, the values of the product fineness and, accordingly, the power costs were determined. The results are shown in the Table 3.

Table 3 – Results of a multifactorial computational experiment

$n_R$ , rpm	1000	1500	2000
$d_{\text{чРА}}^{(\text{min})}$ , $\mu\text{m}$	4,71	3,1	2,1
$P$ , Вт	950	1383	1816

Graphical interpretation of the results of the study of the influence of the speed of rotation of the ellipsoidal stirrer on the product fineness and power is shown in Figure 4.

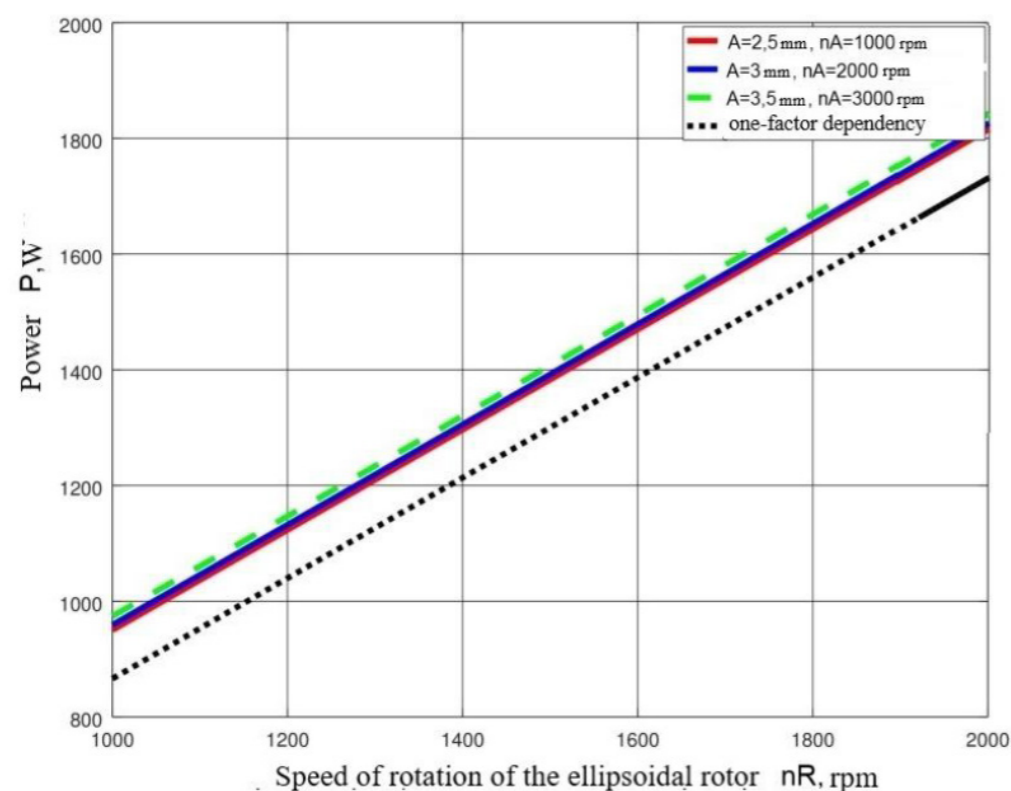


Figure 4 – The graph of dependence of mill power on the speed of rotation of the ellipsoidal stirrer

For comparison, within the specified range of ellipsoidal rotor speeds, we the one-factor dependence of the theoretical fineness of grinding and power on the speed value  $n_R$  has been determined. The calculation results are shown in Table 4.

Table 4 – The results of calculating the theoretical product fineness and power depending on the speed of rotation of the ellipsoidal rotor

$n_R$	1000	1500	2000
$2R_{\text{=R}}^{(\text{min})}$ , мкм	11,32	5,03	2,83
$P_R$ , Вт	866	1300	1732

Thus, analyzing the values in Tables 3 and 4, it can be seen that in order to obtain a specific value of the product fineness, it is required to spent less power applying the proposed method.

Conclusion.

The grinding process in stirred mills is one of the most energy-intensive processes. As a rule, a significant power for the grinding process is expended in the process of stirring the load.

To solve this problem, a method is proposed to reduce energy consumption by acting on the particles of the material simultaneously in the radial and axial directions. To implement this method, a new design of the mill was used. The radial effect on the particles of the material is carried out by an ellipsoidal stirrer, and the axial effect is carried out by means of a vibration drive.

To evaluate the effectiveness of this method, a theoretical dependence of the power on the parameters of the mill is derived. Using this dependence a computational experiment was conducted.

Under a computational experiment a comparative analysis of the calculation of powers for radial-axial and only radial action has been conducted. The results of a comparative analysis showed the effectiveness of reducing the energy intensity of the grinding process by 20 % while achieving the same product fineness.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Sterling D., Breitung-Faes S., Kwade A. Experimental evaluation of the energy transfer within wet operated stirred media mills / Powder Technology. – Vol 425, 2023. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118579>
- 2 Radziszewski P. Shear based stirred mill power model - An adimensional analysis / Minerals Engineering. – Vol. 73, 2015. – P. 16–20.
- 3 Suleimenov A. D., Mukanov R. B., Sembaev N. S., Zaripov R. Yu., Imangazinova D. B. Innovative ball mill in road construction / Science and technology of Kazakhstan – № 2, 2021. – P. 166–172.
- 4 Altyn O., Benzer H., Enderle U. Effects of operating parameters on the efficiency of dry stirred milling / Minerals Engineering. – Vol. 43–44, 2013, P. 58–66.

5 **Altyn O., Benzer H., Enderle U.** The effects of the chambe diameter and stirrer design on dry horizontal stirred mill performance / Minerals Engineering. – Vol. 69, 2014, P. 24–28.

6 **Baigereyev S., Guryanov G.** New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. – P. 768–778.

7 **Гурьянов Г. А., Байгереев С. Р.** Устройство для тонкого измельчения материалов. // Патент на изобретение РК №33204. МПК В02С 17/16. Оpubл. 26.10.2018, Бюл.№ 40.

8 **Jayasundara C. T., Yang R. Y., Yu, J. A. B.** Rubenstein Effects of disc rotation speed and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill // International Journal of Mineral Processing. – 2010. – P. 27–35.

9 **Ромм Е. С.** Структурные модели порового пространства горных пород. – Ленинград: Недра, 1985. – 240 с.

10 **Кошкин, Н. И., Ширкевич, М. Г.** Справочник по элементарной физике. – М. : Наука, 1972. – 256 с.

11 **Романенко, В. Е.** Физико-химические основы гидратационного твердения порошковых сред / В. Е. Романенков, Е. Е. Петюшик. – Минск : Беларус. наука, 2012. – 197 с.

#### REFERENCES

1 **Sterling D., Breitung-Faes S., Kwade A.** Experimental evaluation of the energy transfer within wet operated stirred media mills / Powder Technology. – Vol 425, 2023. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118579>

2 **Radziszewski P.** Shear based stirred mill power model - An adimensional analysis / Minerals Engineering. – Vol. 73. – 2015, P. 16–20.

3 **Suleimenov A. D., Mukanov R. B., Sembaev N. S., Zaripov R. Yu., Imangazinova D. B.** Innovative ball mill in road construction / Science and technology of Kazakhstan – № 2, 2021. – P. 166–172.

4 **Altyn O., Benzer H., Enderle U.** Effects of operating parameters on the efficiency of dry stirred milling / Minerals Engineering. – Vol. 43–44, 2013. – P. 58–66.

5 **Altyn O., Benzer H., Enderle U.** The effects of the chambe diameter and stirrer design on dry horizontal stirred mill performance / Minerals Engineering. – Vol. 69, 2014. – P. 24–28.

6 **Baigereyev S., Guryanov G.** New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. – P. 768–778.

7 **Gur'yanov G. A., Bajgereev S. R.** Ustrojstvo dlya tonkogo izmel'cheniya materialov [Device for fine grinding of materials] // Patent na izobretenie RK №33204. МПК В02С 17/16. Оpubl. 26.10.2018, Byul.№ 40.

8 **Jayasundara C. T., Yang R. Y., Rubenstein A. B. Yu, J.** Effects of disc rotation speed and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill // International Journal of Mineral Processing. – 2010. – P. 27–35.

9 **Romm, E. S.** Strukturnye modeli porovogo prostranstva gornyh porod [Structural models of the pore space of rocks] – Leningrad : Nedra, 1985. – 240 p.

10 **Koshkin, N. I., Shirkevich, M. G.** Spravochnik po elementarnoj fizike [Handbook of elementary physics.] – М. : Nauka, 1972. – 256 p.

11 **Romanenko, V. E.** Fiziko-himicheskie osnovy gidratatsionnogo tverdeniya poroshkovyh sred [Physical and chemical bases of hydration hardening of powder media] / V. E. Romanenkov, E. E. Petyushik. – Minsk : Belarus. navuka, 2012. – 197 p.

Material received on 31.07.23

\***С. Р. Байгереев<sup>1</sup>, Г. А. Гурьянов<sup>2</sup>, А. Д. Сулейменов<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

<sup>3</sup>Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,  
Материал баспаға түсті 31.07.23

#### БИСЕРЛІК ҰСАҚТАҒЫШТАРДА ҰНТАҚТАУ ПРОЦЕСІНІҢ ЭНЕРГИЯ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫН ТӨМЕНДЕТУ ӘДІСІ

*Бисер ұсақтағыштың ұнтақтау процесіне байланысты ең маңызды және күрделі мәселелердің бірі – жоғары энергия сыйымдылығы. Бұл мақалада бисерлік ұсақтағыштағы ұнтақтау процесінің энергия сыйымдылығын төмендету әдісі ұсынылады. Бұл әдістің мәні ұсақталған материалдың бөліктеріне радиалды және аксиалды әсер етуді ұйымдастыруда жатыр. Бұған жаңа бисерлік ұсақтағыштың конструкциясын пайдалану арқылы қол жеткізіледі. Радиалды әрекет эллипсоидты ротордың айналуы есебінен, ал аксиалды – камераның тербеліс қозғалысы арқылы жүзеге асырылады. Жаңа ұсақтағыштың жұмыс істеу параметрлеріне теориялық қуаттың тәуелділігі орнатылып, соның негізінде есептеу эксперименті жүргізілді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бұл әдісті қолданудың арқасында бисерлік ұсақтағыш энергия шығынын 20 %-ға азайтуға болады.*

*Кілтті сөздер: энергия сыйымдылығы, бисерлік ұсақтағыш, ұнтақтау үрдісі, қуат, ұнтақтау жіңішкелігі, ұнтақтау денелері.*

\***С. Р. Байгереев<sup>1</sup>, Г. А. Гурьянов<sup>2</sup>, А. Д. Сулейменов<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

<sup>3</sup>Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
Материал поступил в редакцию 31.07.23

#### СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БИСЕРНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

*Одной из наиболее важных и сложных проблем, связанных с процессом измельчения в бисерной мельнице, является высокая энергоёмкость. В данной*



статье предложен метод снижения энергоемкости процесса измельчения в бисерной мельнице. Сущность данного метода заключается в организации радиального и аксиального воздействия на частицы измельчаемого материала. Это достигается за счет применения новой конструкции бисерной мельницы. Радиальное воздействие осуществляется за счет вращения эллипсоидного ротора, а аксиальное - посредством вибрационных колебаний камеры. Установлено зависимость теоретической мощности от параметров функционирования нового измельчителя и на основе этого проведен вычислительный эксперимент. Как показали результаты исследований, вследствие применения данного метода, возможно снизить энергозатраты в бисерной мельнице на 20 %.

Ключевые слова: энергоемкость, бисерная мельница, процесс измельчения, мощность, тонкость помола, мелющие тела.

SRSTI 55.24.99

<https://doi.org/10.48081/MFBQ8991>\*A. Rakishev<sup>1</sup>, B. Donenbayev<sup>2</sup>, K. R. Jamaludin<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Republic of Kazakhstan, Karaganda;<sup>3</sup>Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, Kuala Lumpur;\*e-mail: [a.rakishev@kstu.kz](mailto:a.rakishev@kstu.kz)

### STUDY OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FDM (3D PRINTED) PARTS: EMPIRICAL AND COMPUTATIONAL METHODS

*Fused deposition modelling, alternatively referred to as Fused Filament Fabrication, is an additive manufacturing technique that has garnered significant attention across various industries due to its diverse applications. This research investigates the ultimate tensile strength and elastic modulus of 3D-printed Polylactic acid samples, following the ISO-527-2-2012 standard. The mechanical performance of the created parts is considered from both experimental and computational points of view. The finite element method within the ANSYS environment was employed for computer-based load and strength calculations.*

*Tensile specimens are fabricated using the Fused deposition modelling approach. The experimental outcomes were utilised to derive all the essential engineering constants required for evaluating the mechanical behaviour. The validity of the theoretical model has been confirmed through a comprehensive comparison with a substantial volume of experimental data, exhibiting mean errors of approximately 1 %.*

*The objective of this research is to assess the effectiveness and efficacy of analytical models in predicting the structural and mechanical behaviour of components produced through fused deposition modelling.*

*Keywords: additive technology, fused deposition modelling (FDM), PLA, mechanical properties, analytical model.*

#### Introduction

Achieving optimal product quality and affordability, coupled with rapid production timelines and competitive pricing while adhering to safety standards and other benchmarks, is essential for maintaining competitiveness in the worldwide manufacturing arena. A crucial aspect of product development is the engineering design journey, beginning with requirement identification and culminating in a prototype primed for manufacturing. The industrial perspective has shifted from conventional product development approaches to additive technology, owing to the substantial capacity of additive manufacturing techniques to curtail product development cycles and expenses.

Additive technologies, commonly known as 3D printing, have demonstrated significant relevance and potential across various scientific disciplines. These technologies involve creating three-dimensional objects by adding material layer by layer, as opposed to traditional subtractive manufacturing methods that involve cutting away material from a solid block.

Additive technologies are extensively used in scientific research for rapid prototyping and iterative design. Scientists and researchers can quickly create physical models of complex structures, devices, or experimental setups, allowing them to visualise and test ideas more effectively. Also, additive technologies can fabricate intricate and complex geometries that are challenging or impossible to produce using traditional manufacturing methods. This is particularly valuable in fields such as aerospace, materials science, and nanotechnology. It should also be noted that 3D printing enhances science education by providing tangible, hands-on experiences. It enables students and the general public to interact with physical models, enhancing understanding and engagement in various scientific concepts. One of the main advantages Additive technologies are explored for sustainable practices, such as recycling plastics to create 3D printing filament and fabricating energy-efficient components. Overall, additive technologies have a broad and transformative impact on scientific research, offering innovative solutions across diverse disciplines and fostering new avenues for exploration and discovery.

There are seven categories of additive manufacturing (AM) processes [1]. These categories are based on the type of energy source and the materials used. Thus, parts can be printed using various additive manufacturing processes, including Material Extrusion, Photopolymerization, Jetting, Lamination, and other techniques. Each of these processes has its own unique characteristics, advantages, and limitations, making them suitable for different applications and industries. These processes offer a wide range of options for AM. As mentioned earlier each process has its own advantages, such as speed, accuracy, material compatibility, and post-processing requirements. The choice of which process to use depends on factors like the intended application, material requirements, part complexity, and production volume.

As technology continues to evolve, new AM processes and variations are being developed, expanding the possibilities for creating complex and functional parts through additive manufacturing. It's essential to stay up-to-date with the latest advancements in the field to make informed decisions about which process to use for a particular project [2].

Among AM processes Material Extrusion is an inexpensive, faster printing method and widely used technique. It is often referred to as Fused Deposition Modelling (FDM) or Fused Filament Fabrication (FFF). There are several reasons for its popularity, namely, accessibility and affordability, material variety, ease of use, build volume and scalability, diverse applications, post-processing options, open-source community. FDM uses a variety of thermoplastic materials that are extruded through a heated nozzle to build up layers and create 3D objects. The choice of material depends on the specific application, functional requirements, and desired properties of the final part. The mechanical properties of different Fused Deposition Modelling materials can vary significantly. Each material has its own set of strengths, weaknesses, and characteristics that make it suitable for specific applications.

This article uses Polylactic Acid (PLA) material as an example. PLA is a widespread and environmentally friendly bioplastic derived from renewable resources like cornstarch or sugarcane. It's easy to print, has low warping, and is suitable for a wide range of

applications. The print material plays a key role in the mechanical properties of the manufactured part. This article proposes to conduct a study in order to determine the mechanical properties of parts manufactured by FDM and compare the results with a computer model. Currently, numerous studies have been made by different researchers [3-7]. Kumar and Singh [3] use multi-objective optimization to examine mechanical characteristics of PLA. The accepted mechanical properties of PLA were unified by optimising the FDM process parameters using Taguchi method. Crococo et al. [8] compares obtained experimental data with an analytical model which was developed to predict the strength and the stiffness characteristics of FDM parts. Obtained model was compared with experimental and affirmed.

Current study investigates simulation models of specimens that previously were tested under different axial loads. Considering the works observed earlier, the relevance of the work is proved by the theoretical and practical significance of the topic.

### Materials and Methods

This article mainly explores the mechanical properties of parts that are made using 3D printing. The experimental process includes samples made of polylactic acid, as was mentioned earlier a widely used material for FDM parts. The selected filament belongs to Filamentive and has a diameter of 2.85 mm in white colour. All samples were printed on an Ultimaker S5 printer with one nozzle. The nozzle was 0.8 mm in diameter. A Cura program was used to obtain the G-code. It is also known that print settings have an impact on part quality [9-11]. For this reason, all print parameters were constant for all samples. At the same time, past experience and recommendations from equipment producers were taken into account in order to set parameters. Sample density was set at 100 %.

The schematic diagram and dimensions of the samples were indicated in Figure 1. ISO-527-2-2012 standard was taken into consideration to prototype the 3D model of the tensile test specimens in the CAD software. The experiments were conducted on a Hounsfield-H10Ks universal testing machine with a capacity of 10 kN. The uniaxial test is one of the most commonly performed tests in the field of mechanical testing of materials. This test is designed to assess the mechanical properties of a material under different forces. It provides valuable information about how a material responds to applied loads, allowing it to determine various mechanical characteristics. This information is crucial for material selection, design, and ensuring the safety and reliability of various engineering applications.

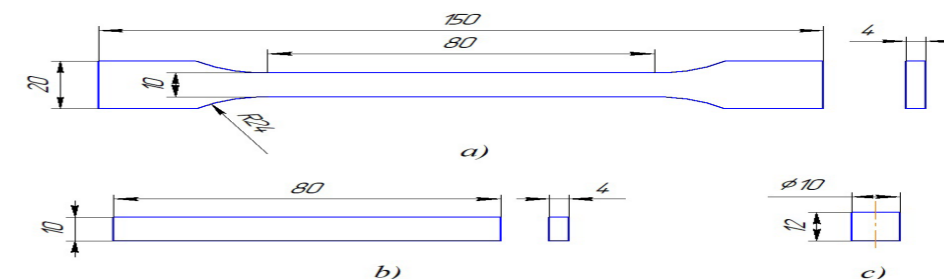


Figure 1 – Tensile specimen dimensions (mm)

In addition to the experimental model for strength assessment, a computer model was also built by means of the ANSYS program. Computer simulations can be utilised to predict and analyse the behaviour of material and structures under different conditions. This software program is based on the finite element method (FEM). The finite element method is a numerical technique used to solve complex engineering and mathematical problems by breaking down a continuous system into smaller, more manageable elements. However, it's important to note that the accuracy of the simulation heavily relies on the accuracy of the input data and assumptions made during the modelling process.

Calculation scheme of the sample outlined on Figure 2. One end of the part is rigidly fixed, the second end is subjected to a vertical tensile force of 2466 N.

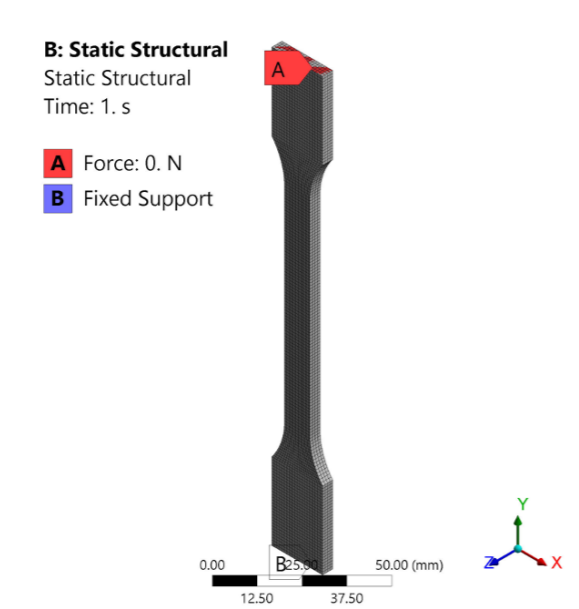


Figure 2 – Specimen boundary conditions for tension

Young's modulus was adopted on the basis of engineering tests of 5 samples and corresponds to the arithmetic mean. Other values of the boundary conditions are presented in Table 1.

Table 1 – Linear parameters of PLA specimens

Young's Modulus, MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus, MPa	Shear Modulus, MPa
2964	0.3	2470	1140

**Result and Discussion**

The aim of this research is to assess the mechanical characteristics of components produced using the FDM technique through a combination of experimental and computational approaches. Tensile, flexural and compression loads were applied to the specimens in figure 1.

Figure 3 represents the tensile and flexural test results for the set of specimens investigated in this study. As indicated in this diagram, the specimens exhibit tensile strengths of 61, 62.5, 61.9, 61.9, and 61.5 MPa (with a standard deviation of 0.5 MPa). In this manner, it can be asserted that the trials are reliable.

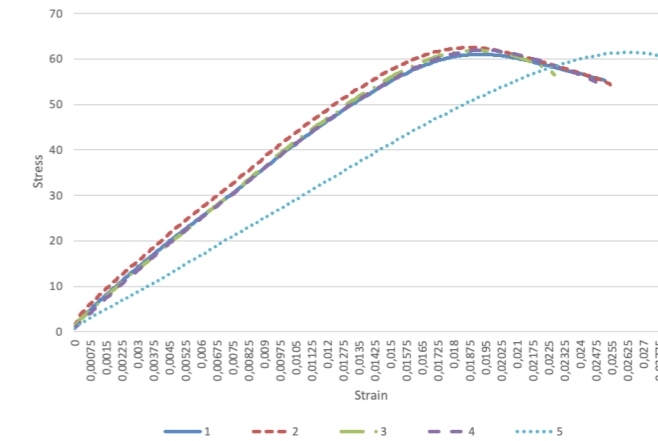


Figure 3 – Stress-strain curves for PLA samples

Additionally, the empirical results align with the values presented in previous studies conducted by other researchers [12, 13].

The numerical technique yielded a normal stress of 62.43 MPa along the Y-axis at the midpoint of the estimated sample length (Figure 4). Thus, the value of the numerical method slightly exceeds the arithmetic mean value of the stress obtained on the basis of the experiment on 0.67 MPa.

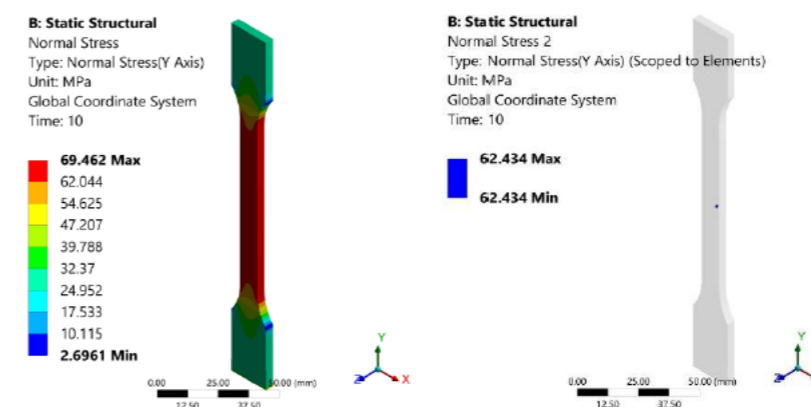


Figure 4 – Y-axis normal stress and its value at the midpoint of the estimated sample length

This problem was solved in a linear formulation, where Hooke's law is satisfied, and this is obvious from Figure 5. For evaluation purposes, we can determine the Young's Modulus utilising the following equation:

$$E = \frac{\delta_{comp}}{\varepsilon_{comp}} = \frac{62.434}{2.1064 \cdot 10^{-2}} = 2964 \text{ MPa}$$

As a result, the same average value is obtained, which was obtained empirically.

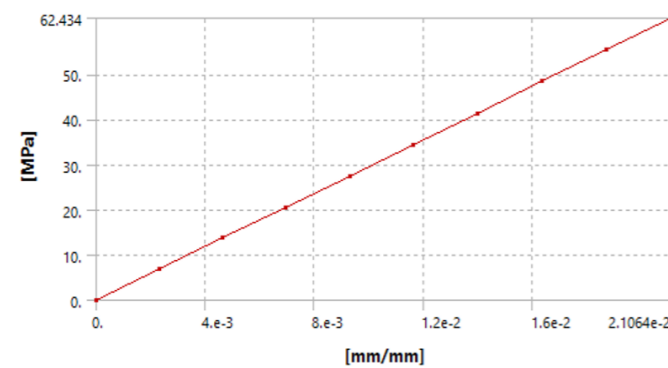


Figure 5 – Graph of stress versus relative longitudinal strain at the midpoint of a PLA sample

### Conclusions

The primary outcome of the research paper revolves around the potential to forecast the mechanical characteristics of Fused Deposition modelled components through the utilisation of empirical data. Using experimentally derived mechanical attributes, a linear formulation was employed to conduct a numerical computation. The variance between the two techniques was negligible, constituting a mere 1 % disparity.

The suggested analytical model holds the potential to serve as a valuable instrument for FDM designers and manufacturers. Specifically, it can offer guidance in assessing attainable strength or stiffness by adjusting parameters related to the components.

Hence, it is feasible to employ analytical models for foreseeing the structural performance of FDM components or similar types of AM components, relying on material characteristics. As a result, these analytical models can support the 3D printing procedure, thereby mitigating the necessity for time-intensive and expensive conventional experimental methods.

### REFERENCES

1 ISO/ASTM52900 Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2015.

2 Parikh, H. H., Jadav, R., Joshi, P. 3-D Printing: A Review of Manufacturing Methods, Materials, Scope and Challenges, and Applications//Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023 P. 243–256.

3 Kumar, K., Singh, H. Multi-Objective Optimization of Fused Deposition Modeling for Mechanical Properties of Biopolymer Parts Using the Grey-Taguchi Method//Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2023. – 36:30

4 Khalili, A., Kami, A., Abedini, V. Tensile and Flexural Properties of 3D-Printed Polylactic Acid/Continuous Carbon Fiber Composite // Mechanics of Advanced Composite Structures 10. 2023. – 407 – 418.

5 Cerda-Avila, S. N., Medellín-Castillo, H. I. and Lim, T. Analytical models to estimate the structural behaviour of fused deposition modelling components//Rapid Prototyping Journal, 2021. – Vol. 27 № 4, P. 658–670.

6 Cuan-Urquizo, E., Barocio, E., Tejada-Ortigoza, V., Pipes, R. B., Rodriguez, C. A., Roman-Flores, A. Characterization of the Mechanical Properties of FFF Structures and Materials : A Review on the Experimental, Computational and Theoretical Approaches//Materials 2019, 12(6), 895.

7 Bragaglia, M., Cecchini, F., Palcari, 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, Volume 322, 2023, 117379.

8 Croccolo, D., De Agostinis, M., Olmi, G. Experimental characterization and analytical modelling of the mechanical behaviour of fused deposition processed parts made of ABS-M30//Comput. Mater. Sci. 79, 506–518. – 2013.

9 Xu, J., Xu, F., Gao, G. The Effect of 3D Printing Process Parameters on the Mechanical Properties of PLA Parts//Journal of Physics: Conference Series, 2133 (2021) 012026, doi:10.1088/1742-6596/2133/1/012026.

10 Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E. and Núñez, P. J. Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection//Materials & Design, (2017) Volume 124, P.143–157.

11 Chen, Y. K., Shi, T. C. and Zhang, J. H. Influence of Printing Parameters on Properties of Fused Deposition Modeling ABS Samples Engineering Plastics Application, 2019. – 47. – 47–52.

12 Laureto, J. J., Pearce, J. M. Anisotropic mechanical property variance between ASTM D638-14 type i and type iv fused filament fabricated specimens. Polym. Test. 2018, 68, 294–301.

13 Dobos, J., Hanon, M. M., Oldal, I. Effect of infill density and pattern on the specific load capacity of FDM 3D-printed PLA multi-layer sandwich, J Polym Eng 2022. – 42(2), 118–128.

Material received on 30.08.23.

\*А. Ракишев<sup>1</sup>, Б. Доненбаев<sup>2</sup>, Х. Р. Джамалудин<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

<sup>3</sup>Малайзия технология университеті, Малайзия, Куала-Лумпур.

Материал 30.08.23 баспаға түсті.

### FDM (3D БАСЫЛҒАН) БӨЛШЕКТЕРІНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ: ЭМПИРИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК ӘДІСТЕР

Балқытып тұндырумен үлгілеу, сонымен қатар жіпті балқытумен жасау әдісі, аддитивті өндіріс әдісі болып табылады. Әртүрлі пайдалану мүмкіндіктеріне байланысты өндірістің әр саласында үлкен қызығушылыққа ие. Бұл жұмыста ISO-527-2-2012 стандартына сәйкес 3 D басып шығарылған полилактикалық қышқыл (PLA) үлгілерінің созылу күші мен серпімділік модулі зерттеледі. Жасалған бөлшектердің механикалық сипаттамалары тәжірибелік жағынан да, есептелген жағынан да қарастырылады. Компьютердің жүктемесі мен беріктігін есептеу үшін ANSYS бағдарламасында соңғы элементтер әдісі қолданылды.

Тәжірибе үлгілері балқытып тұндыру тәсілі арқылы дайындалды. Тәжірибе нәтижелері механикалық сипаттамаларды бағалау үшін қажетті барлық негізгі инженерлік константаларды алу үшін пайдаланылды. Теориялық модельдің дұрыстығы шамамен 1% орташа қателерді көрсететін эксперименттік деректердің мәнімен жан-жақты салыстыру арқылы расталды.

Бұл зерттеудің мақсаты балқытып тұндырумен үлгілеу арқылы алынған компоненттердің механикалық қасиеттерін болжаудағы аналитикалық үлгінің тиімділігін бағалау болып табылады.

Кілтті сөздер: аддитивті технологиялар, балқытып тұндыру әдісі (FDM), PLA, механикалық қасиеттер, аналитикалық үлгі.

\*А. Ракишев<sup>1</sup>, Б. Доненбаев<sup>1</sup>, Х. Р. Джамалудин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Қарагандинский технический университет имени

Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>3</sup>Университеты технологий Малайзии, Малайзия, Куала-Лумпур.

Материал поступил в редакцию 30.08.23.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК FDM ДЕТАЛЕЙ (3D ПЕЧАТИ): ЭМПИРИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ

Моделирование с наплавлением, также называемое изготовлением наплавленных нитей, представляет собой метод аддитивного производства, который привлек значительное внимание в различных отраслях промышленности из-за его разнообразных применений. В этой работе

исследуются предельная прочность на разрыв и модуль упругости образцов полимолочной кислоты (PLA), напечатанных на 3D-принтере, в соответствии со стандартом ISO-527-2-2012. Механические характеристики созданных деталей рассматриваются как с экспериментальной, так и с расчетной стороны. Метод конечных элементов в среде ANSYS использовался для компьютерных расчетов нагрузки и прочности.

Образцы для растяжения изготавливаются с использованием подхода моделирования наплавления. Экспериментальные результаты были использованы для получения всех основных инженерных констант, необходимых для оценки механического поведения. Обоснованность теоретической модели была подтверждена путем всестороннего сравнения со значительным объемом экспериментальных данных, демонстрирующих средние ошибки примерно 1%.

Целью данного исследования является оценка эффективности и действенности аналитических моделей при прогнозировании структурного и механического поведения компонентов, полученных с помощью моделирования методом послойного наплавления.

Ключевые слова: аддитивные технологии, метод послойного наплавления (FDM), PLA, механические свойства, аналитическая модель.

\*A. A. Sagitov<sup>1</sup>, K. T. Sherov<sup>2</sup>, B. T. Mardonov<sup>3</sup>, J. R. Ravshanov<sup>4</sup>,  
G. M. Tussupbekova<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>3,4</sup>Navoi State University of Mining and Technology,

Republic of Uzbekistan Navoi.

\*e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru)

### STUDY OF RELATIONSHIP BETWEEN THE PROCESSED MATERIAL HARDNESS AND THE PRETREATMENT SPEED

*This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14972884). This research has shown that a serious limiting factor inhibiting the use of harder metals and alloys as dressing materials is the loss of form stability of the cutting edge when, due to high contact loads, it is plastically deformed with deterioration of cutting properties caused by changes in the geometry of the cutting edge. To address this issue, a study of the relationship between the hardness of the machined material and the pre-treatment rate was carried out. Pretreatment was carried out on two heat-treated hardened 20X steel materials with a hardness of HRC 21...23 and HRC 19...20.*

*As a result it is established that by varying the hardness of the machined material during tool lapping it is possible to increase the hardening effect and significantly reduce the material consumption.*

*Also plots of influence of pre-treatment duration on tool life of T5K10 when turning steel 20X (HRC 16...17) and influence of hardness of working material on optimum rate of pre-treatment of R6M5 tool and time of pre-treatment are presented.*

*Keywords: Hardness, pre-treatment, hardening, optimum rate, wear resistance, pre-treatment time.*

#### Introduction

The existence of optimum regimes of tool pre-treatment is theoretically and experimentally proved [1–5], but their fast and reliable determination is still an open question. Taking into account that the main role in formation of the wear resistant contact secondary structures is played by the deformation hardening processes, it is necessary to solve the optimization of the pre-treatment mode from the deformation-thermal point of view. Deformation hardening processes during tool pre-treatment are realized on the background of technological factors, therefore when solving problems of optimization of pre-treatment it is necessary to take into account all technological features of exploitation of concrete type of the tool [6].

Numerous experimental studies have established that for the majority of metal-cutting tools, optimum conditions for pre-treatment lie in the area of reduced cutting

conditions, which can be achieved by reducing either the cutting speed or feed rate. In order to clarify the efficiency of pre-treatment when varying different parameters of cutting conditions, a special series of experiments was presented, when an optimum condition was achieved by autonomous undercutting of cutting speed and feed.

The effect of improved durability when running at a reduced speed was almost twice as effective as running at the optimum cutting speed compared to running at the optimum feed rate, and this process of varying the cutting speed is much easier to implement [6].

#### Materials and methods

The optimum mode of tool pretreatment provides the best deformation and thermal hardening conditions, which can be further improved if the pretreatment is carried out on a harder material. To clarify this circumstance by special experiments a study was carried out to find out the effect of hardness of the machined material on the wear resistance of the secondary contact structure [5, 7]. The results of this series of experiments are presented in figure 1, where the effect of hardness ratio of machined material to tool material on the degree of increase of tool material durability after machining in relation to a conventional tool is presented [7].

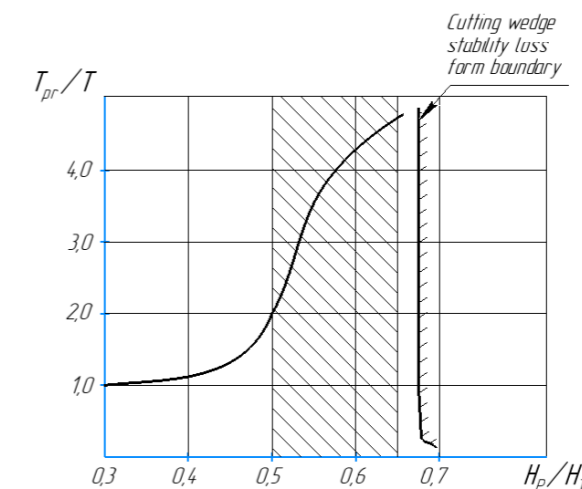


Figure 1 – Effect of hardness ratios of machined (NP) and tooled (NT) materials on the magnitude of the increase in pre-treatment durability

The dependence has monotonically increasing character, showing that with the increase of hardness of the processed material the hardening effect of working surfaces of the tool increases, thus the degree of increase of durability can reach values at a level of 4.5...4.6 times. The character of the specified dependence once again confirms that deformation processes play an important role in the mechanism of formation of wear-resistant secondary contact structure [6–8].

A serious limiting factor restraining the use of harder metals and alloys as running materials is the loss of dimensional stability of the cutting wedge, when, due to high contact loads, its plastic deformation occurs with deterioration of cutting properties caused by changes in the geometry of the cutting edge. According to the existing

conceptions [9–11] the loss of form stability takes place, when the hardness ratio of tool material to tool material is greater than 1.4...1.6. Then the boundary of loss of form stability on figure 1 can be represented by the vertical line, drawn through the abscissa axis at the level of . A doubling of the resistance takes place starting with a hardness ratio of 0.5. Therefore the range of hardnesses of processed materials providing double increase of firmness is 0,5...0,65 [6-8].

An important parameter of the pre-treatment process is its duration, which determines the degree of completion of the secondary structure.

**Results and discussion**

Experimental studies on the pre-treatment of lathe cutters were carried out in the laboratory of the «Technological machinery and equipment» department of the S. Seifullin Kazakh Agrarian-Technical Research University. Machining of workpiece from steel 20X during pre-treatment of cutters was made on screw-cutting lathe 1K62.

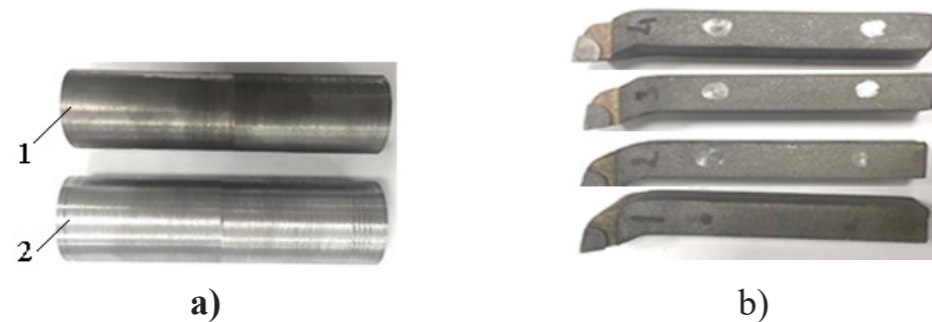


Figure 2 – shows the workpieces and cutters used during pre-treatment

1 – with hardness HRC 21...23; 2 – with hardness HRC 19...20;

a) workpieces of 20X steel hardened by heat treatment; b) undercutting tools from T5K10

Figure 2 – Workpieces and cutters used during pre-treatment

Figure 3 shows the pre-treatment process for picks.

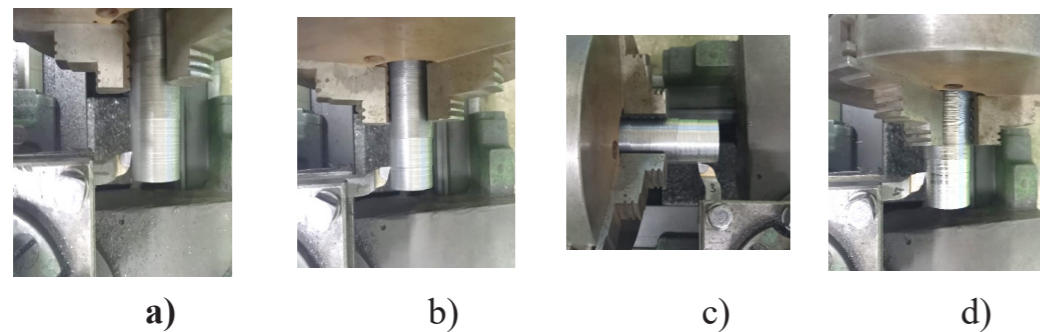


Figure 3 – Process of pre-treatment of cutters

a) cutter №1; b) cutter №2; c) cutter №3; d) cutter №4

Figure 4 shows the machined workpieces during pre-treatment.

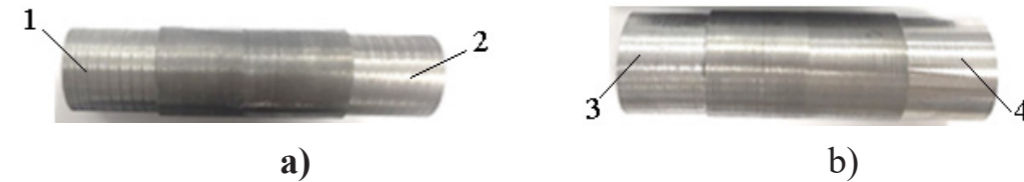


Figure 4 – Machined workpieces during pre-treatment

1 – frequency of rotation  $n_{sp} = 20$  rpm; 2 – frequency of rotation  $n_{sp} = 40$  rpm; 3 – frequency of rotation  $n_{sp} = 63$  rpm; 4 – frequency of rotation  $n_{sp} = 80$  rpm

a) workpiece with a hardness of HRC 21...23; b) workpiece with a hardness of HRC 19...20

In figure 5 results of researches on influence of duration of the period of preliminary pre-treatment on durability of the cutter from T5K10 at turning 20X with HRC 16...17 on modes  $V=60$  m/min;  $S=0,2$  mm/rev;  $t=0,3$  mm are resulted.

Pre-treatment was carried out on two heat-treated hardened 20X steel materials with a hardness of HRC 21...23 and HRC 19...20. In the first case, the pre-treatment speed was  $V_n = 3$  m/min, and in the second case,  $V_n = 6$  m/min. The pre-treatment time was varied from zero to 6 minutes. The received results showed the following: at pre-treatment on a workpiece with hardness 21...23, optimum duration of pre-treatment was 3 minutes, and at cutting on a material with hardness 19...20 – 5 minutes, i.e. with increase of hardness of processed material, duration of pre-treatment providing maximal durability decreases. Depending on the pre-treatment time the character of wear accumulation curve also changes. Thus, with the pre-treatment duration shorter than the optimum, the catastrophic wear area is faintly visible on the blunting curve, which disappears as the pre-treatment duration approaches the optimum one. Pre-treatment at the optimum variant provides tool operation up to the accepted criterion of blunting in the mode of steady-state wear. If the pre-treatment period is longer than the optimum, tool durability decreases due to the high value of pre-treatment wear. Optimum mode of pre-treatment corresponds to the value of pre-treatment wear in the range  $h_p = 0,18 \dots 0,22$  mm.

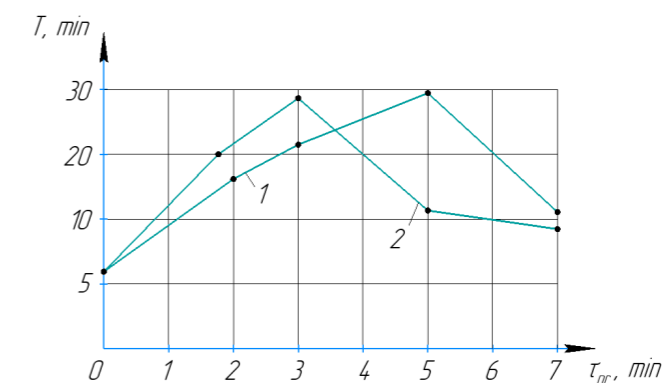


Figure 5 – Effect of pre-treatment duration on durability of T5K10 cutter when turning steel 20X (HRC 16...17)

1 – hardness of pre-treatment steel HRC 19...20; 2 – hardness of pre-treatment steel HRC 21...23

In earlier works on pre-treatment in order to substantiate the physical nature of optimum regimes the studies on the independent influence of temperature and velocity factors on the formation of wear resistant contact structures have been given [12–14]. In particular, it was noted that in the real process of cutting the temperature and velocity factors are inseparable and are determined by machining modes. It was found that the experimental character of the influence of cutting speed on the hardening and wear resistance of the secondary contact structure of the tool is determined by temperature factors, while the degree of hardening and the numerical value of wear resistance are determined by the speed factor. In addition, it has been shown that the autonomous velocity effect represents one of many, and not always dominant, factors responsible for the degree of hardening. Indeed, the amount of hardening is determined by the degree of plastic deformation, the numerical value of which depends on specific contact loads, contact adhesion forces, process duration and sliding speed. Therefore, it can be assumed that in many cutting modes, the contact layers of the tool reach the ultimate hardening state, and the degree of completion of this process will mainly depend on time.

The effect of the hardness of the material to be machined on the optimum pre-treatment speed and pre-treatment time is shown in Figure 6, from which it can be seen that the optimum pre-treatment speed and time decrease as the hardness increases.

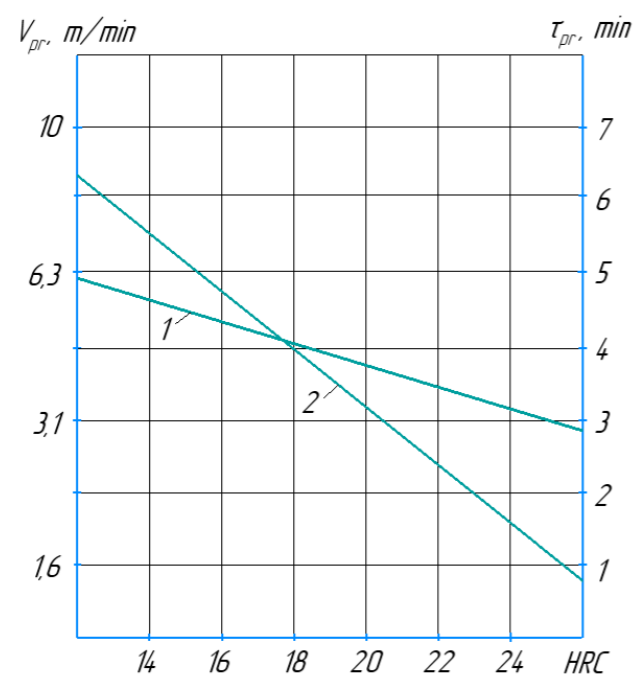


Figure 6 – Influence of hardness of the machined material on the optimum pre-treatment speed of the R6M5 tool and the pre-treatment time

1 – pre-treatment time  $\tau_{pr}$ ; 2 – pre-treatment speed  $V_{pr}$

The optimum pre-treatment speed in this case for a high-speed tool can be determined according to the empirical formula

$$V_{opt} = 1,87 - 0,047 \cdot HRC_m$$

where  $V_{opt}$  is the optimum pre-treatment speed, m/s;  
HRC<sub>m</sub> is the hardness of the pre-treatment material.

Based on the above it is possible to conclude that by varying the hardness of the workpiece during tool-hardening it is possible to increase the hardening effect and significantly reduce material consumption. So, we are using steel with hardness HRC 20, optimum cutting speed is 28 mm/min, and grinding time is 5 minutes, while length of the travelled path (or material consumption) is 160 m. With steels in hardness HRC 23, an optimum cutting speed of 4 m/min and a pre-treatment time of 3 minutes, which corresponds to a travel distance of 12 m. Hence, pre-treatment on a billet with HRC 23 saves more than 10 times the material, and shortens the process by more than 15 times compared with the raw steel process.

### Conclusions

1. The efficiency of the pre-treatment of cutting tools can be improved by using steels with higher hardness as the pre-treatment material. Higher contact loads occurring during the cutting process provide greater strain hardening and shorten the pre-treatment time.
2. Pre-treatment increases not only the wear resistance of tool working surfaces, but also the operational reliability and heat resistance of contact structures.

Based on the above, it can be concluded that by varying the hardness of the machined material during the tool pre-treatment period it is possible to increase the hardening effect.

**Funding.** This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14972884).

### REFERENCES

- 1 **Yakubov, F. Ya., Kim, V. A.** Strukturno-energeticheskie aspekty` uprochneniya i povыsheniya stojkosti rezhushhego instrumenta [Structural and energy aspects of hardening and improving the durability of cutting tools // Simferopol`: Kry`mskoe uchebno-pedagogicheskoe gosudarstvennoe izdatel`stvo, 2005. – 300 p.
- 2 **Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Irzaev, A.** Vliyanie rezhimov predvaritel`noj prirabotki na povыshenie stojkosti rezhushhego instrumenta [The effect of regimes of pre-treatment on increasing the service life of cutting tools] // Vestnik TashGTU. – Tashkent: Izd-vo TashGTU, 2005. – № 4. – P. 68–71.
- 3 **Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Irzaev, A., Karimov, Sh. A.** Sposob povыsheniya iznosostojkosti i nadyozhnosti chervyachny`x frez [Method of increasing wear resistance



and reliability of worm mills] // Problemy` mexaniki. Tashkent: Izd-vo «Fan» AN RUz, 2005. – № 3. – P.100–103.

4 **Sherov, K. T., Sagitov, A. A., Userbaev, M. T., Sherov, A. K., Tusupbekova, G. M.** Sposob povыsheniya iznosostoykosti metallovezhushhix instrumentov [Method of increasing the wear resistance of metal-cutting tools] // VESTNIK ENU imeni L. N. Gumileva. Seriya texnicheckie nauki i texnologii – Nur-Sultan : Izd-vo ENU, 2022. – № 3(140) – P. 141–149 DOI: [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-141-149>

5 **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 texnicheckie nauki i texnologii – Astana: Izd-vo ENU. 2022. – № 4(141) – P. 87–97 DOI: [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97>.

6 **Mardonov, B. T., Ravshanov, J. R.** Issledovanie processa rezaniya metodom teplofizicheskogo analiza [Investigation of cutting process by method of thermophysical analysis] // Akademicheskaya nauka kak faktor i resurs innovacionnogo razvitiya Sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii – Petrozavodsk: MCzNP «Novaya nauka», 2021 – P. 79–83.

7 **Mardonov, B. T., Sherov, K. T., Ravshanov, J. R., Smajlova, B. K.** Issledovanie vliyaniya tverdosti obrabaty`vaemogo materiala na optimal`nuyu skorost` predvaritel`noj prirabotki [Research of influence of hardness of machining material on optimum speed of precharge] // Science and Technology of Kazakhstan. Pavlodar: Izd-vo PGU, 2021. – № 4. – P. 22–29.

8 **Klepikov, V. V.** Opredelenie zhestkosti uprugoy texnologicheskoy sistemy` tokarny`x i frezerny`x stankov staticheskim i proizvodstvenny`m metodami [Determination of rigidity of elastic technological system of lathes and milling machines by static and production methods] // M. : MGIU, 2011. – 35 p.

9 **Yulikov, M. I., Gorbunov, B. I., Kolesov, N. B.** Proektirovanie i proizvodstvo rezhushhego instrumenta [Design and manufacture of cutting tools] // M. : Mashinostroenie, 2007. – 296 p.

10 **Kim, V. A.** Samoorganizatsiya v processax uprochneniya, treniya i iznashivaniya rezhushhego instrumenta [Self-organization in processes of hardening, friction and wear of cutting tools] // Vladivostok: Dal`nauka, 2001. – 203 p.

11 **Youcef, A.** Analysis of the compromise between cutting tool life, productivity and roughness during turning of C45 hardened steel [Analysis of the compromise between cutting tool life, productivity and roughness during turning of C45 hardened steel] // Production Engineering Archives. 2021. – 27(1). – P. 30–35. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1063/1.5112619>

12 **Kim, V.A., Karimov, Sh. A.** Proyavlenie fizicheskoy mezomekhaniki pri kontaktnom vzaimodejstvii i iznashivanii [Manifestation of physical mesomechanics in contact interaction and wear] // Ucheny`e zapiski Kry`mskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. 2014. – № II-1(18). – P. 79–85.

13 **Kartamy`shev, A. Yu.** Povy`shenie rabotosposobnosti lezviynogo instrumenta pri obrabotke detalej, vosstanovlenny`x i uprochnenny`x metodami e`lektrokontaktny`x texnologij [Serviceability increase of the blade tool at detail processing, restored and hardened by the methods of the electrical contact technologies] // avtoref. diss. kand. texn. nauk. – Ivanovo, IvGu, 2011. – 22 p.

14 **Yakubov, F. Ya., Kim, V. A.** Strukturno-e`nergeticheskie aspekty` uprochneniya materialov [Structural-energetic aspects of strengthening materials] // Nauchnaya stat`ya Mezhdunarodnogo nauchnogo zhurnala «Uchyony`e zapiski Kry`mskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta» № 24. Simferopol`, Kry`m. – 2010. – P. 4–10.

15 **Mardonov, B. T., Ravshanov, J. R.** Investigation of Deformation-Thermal Processes in the Structural Adaptability of the Tool // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. – Vol. 8. – Issue 9. – pp. 18206-18209. [Electronic resource]. – [http://ijarset.com/upload/2021/september/23-kh\\_ashurov-36.PDF](http://ijarset.com/upload/2021/september/23-kh_ashurov-36.PDF)

Material received on 17.08.23.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Якубов, Ф. Я., Ким, В. А.** Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента // Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство. 2005. – 300 с.

2 **Шеров, К. Т., Мардонов, Б. Т., Ирзаев, А.** Влияние режимов предварительной приработки на повышение стойкости режущего инструмента // Вестник ТашГТУ. – Ташкент: Изд-во ТашГТУ. 2005. – № 4. – С. 68–71.

3 **Шеров, К. Т., Мардонов, Б. Т., Ирзаев, А., Каримов, Ш. А.** Способ повышения износостойкости и надёжности червячных фрез // Проблемы механики. Ташкент: Изд-во «Фан» АН Руз. 2005. – № 3. – С. 100–103.

4 **Шеров, К. Т., Сагитов, А. А., Усербаев, М. Т., Шеров, А. К., Тусупбекова Г. М.** Способ повышения износостойкости металлорежущих инструментов // Вестник ЕНУ имени Л. Н. Гумилева. Серия технические науки и технологии – Нур-Султан: Изд-во ЕНУ. 2022. – № 3(140). – С. 141–149. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-141-149>

5 **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 – Астана: Изд-во ЕНУ, 2022. – № 4(141) – С. 87–97. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97>.

6 **Мардонов, Б. Т., Равшанов, Ж. Р.** Исследование процесса резания методом теплофизического анализа // Академическая наука как фактор и ресурс инновационного развития Сборник статей II Международной научно-практической конференции. Петрозаводск : МЦНП «Новая наука», 2021 – С. 79–83.

7 **Мардонов, Б. Т., Шеров, К. Т., Равшанов, Ж. Р., Смайлова, Б. К.** Исследование влияние твердости обрабатываемого материала на оптимальную

скорость предварительной приработки. // Наука и техника Казахстана. Павлодар: Изд-во ПГУ. 2021. – № 4. – С. 22–29.

8 **Клепиков, В. В.** Определение жесткости упругой технологической системы токарных и фрезерных станков статическим и производственным методами // М. : МГИУ, 2011. – 35 с.

9 **Юликов, М. И., Горбунов, Б. И., Колесов, Н. Б.** Проектирование и производство режущего инструмента // М. : Машиностроение, 2007. – 296 с.

10 **Ким, В. А.** Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изнашивания режущего инструмента // Владивосток: Дальнаука, 2001. – 203 с.

11 **Youcef, A.** Analysis of the compromise between cutting tool life, productivity and roughness during turning of C45 hardened steel // Production Engineering Archives. 2021. – Vol. 27. – Issue 1 – P. 30–35. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1063/1.5112619>

12 **Ким, В. А., Каримов, Ш. А.** Проявление физической мезомеханики при контактно-взаимодействии и изнашивании // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2014. – № II-1(18). – С. 79–85.

13 **Картамышев, А. Ю.** Повышение работоспособности лезвийного инструмента при обработке деталей, восстановленных и упрочненных методами электроконтактных технологий // автореф. дисс. канд. техн. наук. Иваново. – ИвГУ. – 2011. – 22 с.

14 **Якубов, Ф. Я., Ким, В. А.** Структурно-энергетические аспекты упрочнения материалов // Научная статья Международного научного журнала «Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета» № 24. Симферополь. Крым. 2010. – С. 4–10.

15 **Мардонов, Б. Т., Равшанов, Ж. Р.** Investigation of Deformation-Thermal Processes in the Structural Adaptability of the Tool // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. – Vol. 8. – Issue 9. – P. 18206-18209 [Электронный ресурс]. – [http://ijarset.com/upload/2021/september/23-kh\\_ashurov-36.PDF](http://ijarset.com/upload/2021/september/23-kh_ashurov-36.PDF).

\***А. А. Сагитов<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Б. Т. Мардонов<sup>3</sup>, Ж. Р. Равшанов<sup>4</sup>, Г. М. Тусупбекова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>3,4</sup>Навои мемлекеттік тау-кен технологиялық университеті,

Өзбекстан Республикасы, Навои қ.

Материал 17.08.23 баспаға түсті.

#### ӨНДЕЛГЕН МАТЕРИАЛДЫҢ ҚАТТЫЛЫҒЫ МЕН АЛДЫН АЛА ӨНДЕУ ЖЫЛДАМДЫҒЫ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫСТЫ ЗЕРТТЕУ

*Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант № AP14972884).*

*Зерттеулер көрсеткендей, қатты металдар мен қорытпаларды түзету ретінде қолдануға кедергі келтіретін маңызды шектеу факторы кесу жиегінің геометриясының өзгеруінен туындаған кесу қасиеттерінің нашарлауымен жоғары жанасу жүктемелерінің әсерінен пластикалық деформацияланған кезде кесу жиегінің пішінге төзімділігін жоғалту болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін өңделген материалдың қаттылығы мен алдын ала өңдеу дәрежесі арасындағы байланыс зерттелді. Алдын ала өңдеу HRC 21...23 және HRC 19...20 қаттылығы бар 20X қатайтылған болаттан жасалған екі термиялық өңделген материалда жүргізілді.*

*Нәтижесінде, құралды сыру кезінде өңделетін материалдың қаттылығын өзгерту арқылы беріктендіру әсерін арттыруға және материалды тұтынуды едәуір азайтуға болатындығы анықталды.*

*Сондай-ақ, алдын-ала өңдеу ұзақтығының 20X (HRC 16...17) болатты өңдеу кезінде T5K10 құралының тұрақтылығына әсер ету графиктері және өңделетін материалдың қаттылығының P6M5 құралын алдын ала өңдеудің оңтайлы жылдамдығына және алдын ала өңдеу уақытына әсері келтірілген.*

*Кілтті сөздер: қаттылық, алдын-ала өңдеу, шынықтыру, оңтайлы жылдамдық, тозуға төзімділік, алдын-ала өңдеу уақыты.*

\***А. А. Сагитов<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Б. Т. Мардонов<sup>3</sup>, Ж. Р. Равшанов<sup>4</sup>, Г. М. Тусупбекова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,5</sup>Қазахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>3,4</sup>Навоийский государственный горно-технологический университет, Республика Узбекистан, г. Навои.

Материал поступил в редакцию 17.08.23.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ТВЕРДОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА И СКОРОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРИРАБОТКИ

*Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14972884). Проведенные исследования показали, что серьезным ограничивающим фактором, препятствующим использованию более твердых металлов и сплавов в качестве правки, является потеря формоустойчивости режущей кромки, когда под действием высоких контактных нагрузок она пластически деформируется с ухудшением режущих свойств, вызванных изменением геометрии режущей кромки. Для решения этой проблемы было проведено исследование связи между твердостью обработанного материала и степенью предварительной обработки. Предварительная обработка проводилась на двух термообработанных материалах из закаленной стали 20X с твердостью HRC 21...23 и HRC 19...20.*

*В результате установлено, что, изменяя твердость обрабатываемого материала при притирке инструмента, можно повысить эффект упрочнения и значительно снизить расход материала.*

Также представлены графики влияния продолжительности предварительной обработки на стойкость инструмента Т5К10 при токарной обработке стали 20Х (HRC 16...17) и влияния твердости обрабатываемого материала на оптимальную скорость предварительной обработки инструмента Р6М5 и время предварительной обработки.

Ключевые слова: твердость, приработка, закалка, оптимальная скорость, износостойкость, время приработки.

## МЕТАЛЛУРГИЯ

МРНТИ 53.37.91

<https://doi.org/10.48081/RTBP8301>

\*Н. К. Досмухамедов<sup>1</sup>, Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. А. Аргын<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы.

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

### ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ

В работе проведен анализ современных методов переработки золы от сжигания углей и их влияние на окружающую среду. Показано, что с развитием угольной отрасли растет выход золошлаковых отходов, которые занимают большие территории для хранения и их отрицательное влияние на окружающую среду.

В работе разработана технологическая схема комплексной переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего продукта с высоким до 50 % содержанием железа, чистого кремнезема с содержанием 99,9 % SiO<sub>2</sub> и металлургического глинозема марки Г-0, пригодного для производства алюминия.

Показано, что от переработки 1 т золы по новой технологии дополнительно можно получать товарные продукты с высокой добавленной стоимостью: ~100 кг железосодержащего продукта, ~400 кг чистого SiO<sub>2</sub> и около 265 кг металлургического глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) марки Г-0.

Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли путем полной их утилизации с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью и повысить эффективность ТЭЦ работающих на сжигании угля за счет вовлечения в переработку отходов золы в качестве дополнительного источника сырья.

Ключевые слова: золошлаки, переработка, технология, технологические расчеты, алюминий, цветные металлы, РЗЭ, распределение.

#### Введение

Угольные электростанции ежегодно производят большие объемы золы. 50 % летучей золы, произведенной в США, утилизируются в различных областях хозяйства. Большая часть золы расположена на полигонах и зольных лагунах. Зола содержит опасные микроэлементы (As, В, Cr, Mo, Ni, Se, Sr и V), которые оказывают негативное влияние на окружающую среду из-за потенциального выщелачивания кислотными дождями и грунтовыми водами. Зола – крупнейший вид отхода. Ежегодно в США производится более 100 миллионов тонн. Объемы

ежегодного выхода золы в разрезе развитых стран в млн. т: Индия – 112, Китай – 100, Германия – 40 и Великобритания – 15 [1, 2, 3].

В Российской Федерации действует более 170 тепловых электростанций (ТЭЦ) на угольном топливе, в которых сжигается ежегодно 650 млн. т угля с образованием 300 млн. т золы. Под хранение золошлаковых отходов в России отчуждено более 20 тыс. км<sup>2</sup> земельных участков, на которых находится 1,3–1,5 млрд. т золы [4].

Зола выгодно отличается от обычных месторождений полезных ископаемых, находится на поверхности и не требует больших затрат на добычу. По вещественному составу золу можно рассматривать как самостоятельное комплексное сырье для извлечения целого спектра ценных металлов. Накопленные объемы золы очень значительны, и с каждым годом продолжают расти в геометрической прогрессии.

Результаты технологических опытов процесса 2-х стадийного выщелачивания огарка соляной кислотой показывают, что построение технологии с целью ее оптимизации, в части сокращения расхода соляной кислоты и снижения объема раствора, не является однозначным [5, 6]. При 2-х стадийном выщелачивании, несмотря на двухкратное снижение объема раствора качество растворов, направляемых на дальнейший процесс кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия, оставляет желать лучшего. Алюминий содержащие растворы характеризуются повышенным содержанием примесей, г/л: 69,05 Ca; 0,46 Si; 1,81 Fe, что оказывает существенное влияние на извлечение кремнезема и качество получаемых продуктов в дальнейших процессах. Хотя во второй стадии и удается получение кремнезема высокого качества, % масс: Ca – 0,02; Al – 0,01; Fe – 0,02, циркуляция получаемого при этом промежуточного раствора состава, г/л: 5,86 Ca; 1,86 Si; 1,89 Al; 0,07 Fe, ведет к потерям алюминия и кремния между продуктами. Как следствие, при организации процесса 2-х стадийного выщелачивания огарка не достигается высокого извлечения кремнезема в конечный товарный продукт. Извлечение кремния в товарный продукт составляет 98,1 %, против 99,7 %, соответствующей извлечению кремнезема в условиях одностадийного выщелачивания огарка соляной кислотой с 50-ти процентным ее избытком. Исходя из этого, применение одностадийного выщелачивания огарка представляется более перспективным. В пользу этого свидетельствует и то, что с практической точки зрения применение 2-х стадийного выщелачивания усложняет аппаратно-технологическую схему общей технологии в целом. Выбор и использование 2-хстадийной технологии выщелачивания огарка должно осуществляться исходя из конкретных условий и возможности предприятий.

Ввиду отсутствия рациональной технологии переработки золы они не используются, а продолжают накапливаться, занимая большие территории и выводя их из землепользования. Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли республики за счет повышения эффективности ТЭЦ путем вовлечения их в переработку в качестве дополнительного источника сырья с полной их утилизацией и получением товарных продуктов с высокой добавленной

стоимостью. Исключение использования дорогостоящих материалов и реагентов, образования дополнительных твердых и/или жидких отходов, расширение ассортимента товарной продукции снизит издержки производства на ТЭЦ. Значительно уменьшатся объемы накопленной золы, сократятся энерго- и материальные затраты, расходуемые на складирование и хранение золы. Для эффективной глубокой очистки газов от SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и CO<sub>2</sub>, получаемых при обжиге золы совместно с CaCl<sub>2</sub>, можно использовать технологии, описанные в работах [7, 8, 9].

С экономической точки зрения применение новой технологии для комплексной переработки золы обеспечит стабильные условия для селективного извлечения ценных металлов в товарные продукты за счет использования новых технических решений («ноу-хау»). К примеру, по новой технологии при комплексной переработке 1 т золы (при усредненном ее составе) можно получить ~100 кг железосодержащего продукта, ~560 кг чистого SiO<sub>2</sub> и около 265 кг металлургического глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) марки Г-0.

В настоящей работе приведены результаты технологических результатов по переработке золы ТЭЦ-2 г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/час золы.

Материалы и методы. Расчеты проведены для переработки золошлаковых отходов ТЭЦ-2 г. Алматы состава, % масс: 2,54 Ca; 27,16 Si; 14,12 Al; 5,34 Fe; 0,52 Mg; 0,67 Ti; прочие.

Технологические расчеты проведены с использованием специально разработанной программы авторами настоящей работы с учетом оптимальных параметров и режимов каждого отдельно взятого процесса.

Результаты и обсуждение. Принципиальная технологическая схема комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ с получением чистого кремнезема и металлургического глинозема представлена на рис.1.

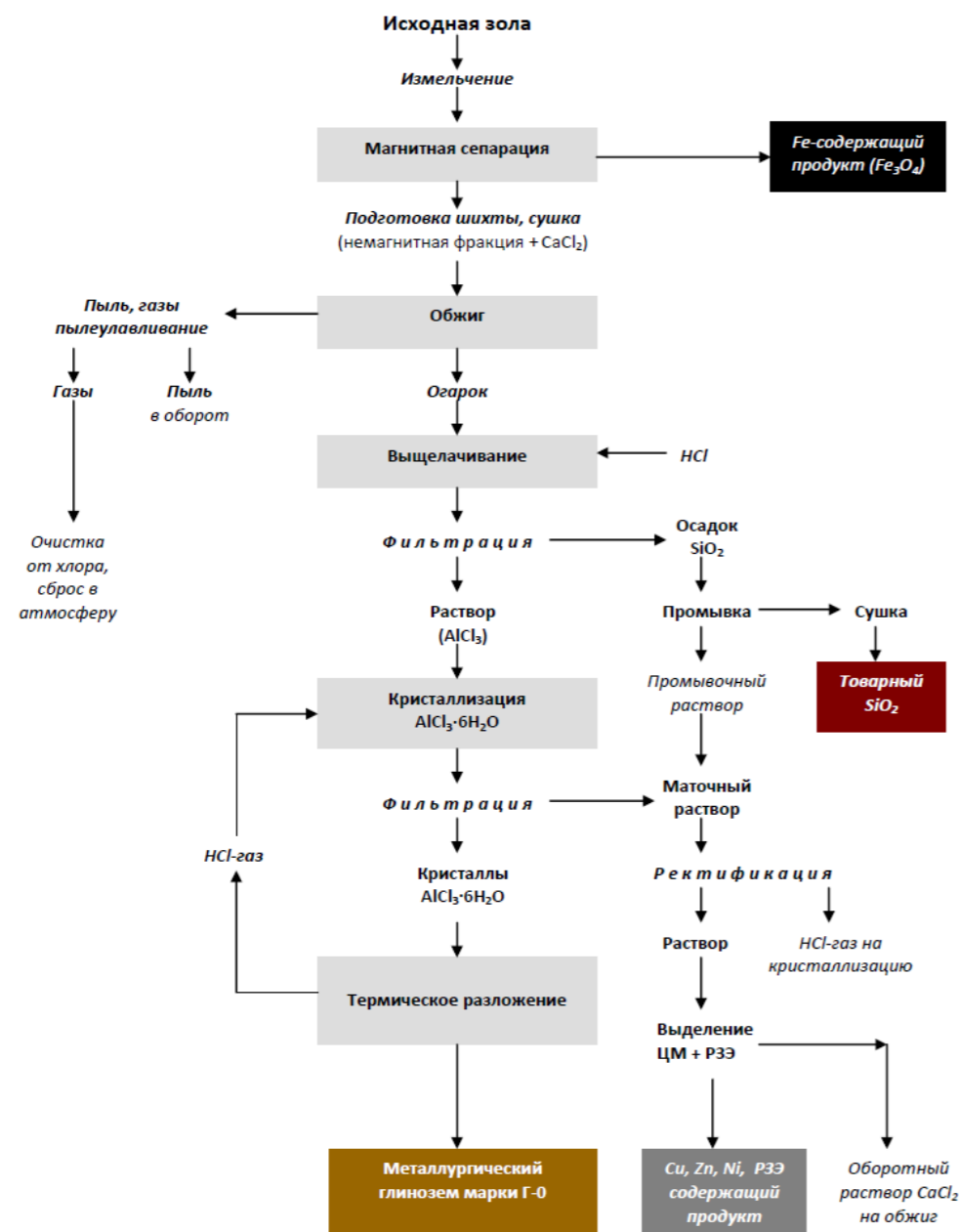


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ с получением товарных продуктов.

По результатам технологических расчетов для переработки золы с удельной производительностью 100 кг/ч золы были установлены оптимальные параметры и режимы каждого отдельно взятого процесса, которые приведены в табл.1.

Таблица 1 – Технологические параметры и режимы процессов

№\№пп	Наименование процесса	Параметры и режимы	Значения
1	Измельчение исходной золы	Крупность	100 меш
2	Магнитная сепарация золы с получением товарного железосодержащего продукта	Выход железосодержащего продукта / содержание железа / извлечение железа в товарный продукт, %	10 / 50 / 80.
3	Обжиг немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция в окислительной атмосфере	Температура Продолжительность Расход CaCl <sub>2</sub>	1100 °С 1 час 2 раза больше стехиометрии для разложения муллита
4	Выщелачивание огарка соляной кислотой с получением товарного кремнезема	Т:Ж Температура Продолжительность Концентрация HCl	1:3 60 °С 1 час 30 %
5	Кристаллизация гексагидрата хлорида алюминия	Температура Расход HCl-газа Концентрация HCl Продолжительность Промывка кристаллов	60 °С 0,5 л/мин 26-30 % 1 час Многоразовая, HCl (30 %)
6	Термическое разложение AlCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Температура Продолжительность	450-500 °С 1 час
7	Ректификация маточного раствора	Расход NH <sub>4</sub> OH (25 %) Температура Продолжительность	Избыток 1,2 от стехиометрии для разложения хлоридов цветных металлов и РЗЭ 293 К 90 мин.

Магнитная сепарация исходной золы

Количество и состав продуктов магнитной сепарации показан в табл.2.

Таблица 2 – Количество и состав продуктов магнитной сепарации

Продукты	Кол-во, кг	Содержание элементов, % масс.				
		Ca	Si	Al	Fe	ЦМ+РЗЭ*

Магнитная фракция	9,23	0,85	2,63	2,92	47,63	-
Немагнитная фракция	90,77	2,03	29,23	14,56	1,3	0,03
*ЦМ, ppm: 22 Cu, 221 Zn, 55 Ni; PЗЭ, ppm: 29 Sc, 45 Y.						

## Обжиг немагнитной фракции золы

Выход огарка после обжига составляет 154,41 кг. Состав полученного огарка приведен в табл.3.

Таблица 3 – Химический состав огарка

Элементы	кг	%
Ca	41,73	27,03
Si	26,16	16,94
Al	13,85	8,97
Fe	0,94	0,61
Σ (ЦМ+PЗЭ)	0,05	0,03

## Выщелачивание огарка соляной кислотой

В процессе выщелачивания получается чистый кремнезем – 56,11 кг, промывочный раствор в количестве 143,87 кг и раствор, направляемый на процесс кристаллизации, в количестве 410,03 кг.

Химические составы продуктов выщелачивания приведены в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 – Химический состав кремнезема

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,01
Si	26,16	46,63
Al	0,01	0,01
Fe	0,02	0,04

Таблица 5 – Химический состав промывочного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	1,71	1,19	4,25
Si	-	-	-
Al	01	0,07	2,31
Fe	0,01	0,01	0,01
Σ (ЦМ+PЗЭ)	0,01	0,004	0,0001

Таблица 6 – Химический состав раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	40,01	9,76	68,0
Al	13,74	3,35	35,37
Fe	0,92	0,22	0,5
Σ (ЦМ+PЗЭ)	0,04	0,01	0,002

## Кристаллизация гексагидрата хлорида алюминия (ГХА)

В процессе кристаллизации выход ГХА составляет 97,44 кг. Выход маточного раствора – 312,69 кг. Химические составы продуктов показаны в таблицах 7, 8.

Таблица 7 – Химический состав ГХА

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,01
Al	13,7	14,06
Fe	0,003	0,003

Таблица 8 – Химический состав маточного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	40,0	12,79	57,18
Si	-	-	-
Al	0,05	0,02	0,69
Fe	0,92	0,29	0,38
Σ (ЦМ+PЗЭ)	0,04	0,01	0,23

## Термическое разложение ГХА

Продуктами термического разложения ГХА является металлургический глинозем марки Г-0 – 26,05 кг и раствор, в количестве 234,6 кг, направляемый на ректификацию для выделения цветных металлов и PЗЭ. Химические составы глинозема и раствора показаны в таблицах 9, 10.

Таблица 9 – Химический состав глинозема

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,05
Al	13,7	52,6
Fe	0,003	0,01

Таблица 10 – Химический состав раствора, направляемого на ректификацию

Элементы	кг	%	г/л
Ca	35,2	15,0	190,4
Si	-	-	-
Al	0,14	0,06	2,29

Fe	0,23	0,1	1,28
Σ (ЦМ+РЗЭ)	0,01	0,004	0,3

Ректификация раствора с выделением цветных металлов и РЗЭ

В процессе ректификации выделяется 0,04 кг осадка цветных металлов, содержащих РЗЭ, и оборотный раствор хлорида кальция в количестве 234,64 кг, который направляется в голову технологической схемы – на обжиг золы.

Извлечение цветных металлов, содержащих РЗЭ, составляет 99,9 %.

Химический состав оборотного раствора хлорида кальция приведен в таблице 11.

Сводный материальный баланс комплексной технологии переработки золы с удельной производительностью 100 кг/час представлен в таблице 12.

Таблица 11 – Химический состав оборотного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	35,74	14,99	190,4
Al	0,43	0,18	2,29
Fe	0,24	0,1	1,28

Сравнительный анализ полученных результатов с данными балансовых опытов по переработке золы в количестве 2000 г [10] показывают хорошую согласованность между собой, что свидетельствует о высокой эффективности разработанной технологии.

Из табл. 12 видно, что при переработке золы с удельной производительностью 100 кг/час получается 9,23 кг товарного железосодержащего продукта с высоким содержанием в нем железа (47,63 %), чистого кремнезема в количестве 56,11 кг с извлечением кремнезема в товарный продукт 96,33 % и 0,04 кг промежуточного продукта, содержащего цветные металлы и РЗЭ.

I – количество, кг; II – содержание, %; III – распределение, %.

Наименование	кг	%	Al			Si			Ca			Fe			(Cu+Zn+Ni)+РЗЭ			
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
<b>Загружено:</b>																		
Зола	100	9,59	14,12	14,12	100	27,16	27,16	100	2,54	2,54	6,09	5,34	5,34	100	0,05	0,05	100	
CaCl <sub>2</sub>	183,63	17,61							39,19	36,13	93,91							
HCl (30 %)	759,01	72,79																
NH <sub>4</sub> OH (25 %)	0,12	0,01																
<b>Всего:</b>	<b>1042,76</b>	<b>100,0</b>	<b>14,12</b>		<b>100</b>	<b>27,16</b>		<b>100</b>	<b>41,73</b>		<b>100</b>	<b>5,34</b>		<b>100</b>	<b>0,05</b>		<b>100</b>	
<b>Получено:</b>																		
Магнитная фракция	8,19	0,79	0,40	4,87	2,82	0,21	2,60	0,78	0,02	0,20	0,04	4,42	54,0	82,82				
Кремнезем	58,87	5,65	0,01	0,01	0,04	16,12	27,38	59,35	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,22				
Глинозем Г-0	26,58	2,55	13,57	51,04	96,09				0,01	0,05	0,03	0,003	0,01	0,05				
ЦМ и РЗЭ продукт	0,04	0,001													0,04	99,9	80,00	
Пыль, газы	301,98	28,96							1,69	0,56	4,05	0,638	0,21	11,95				
Оборотные газы HCl	382,15	36,68																
Оборотный раствор CaCl <sub>2</sub>	264,6	25,37	0,16	0,06	1,12				40,0	15,12	95,86	0,26	0,1	4,96	0,01	0,004	20,00	
<b>Всего:</b>	<b>1042,76</b>	<b>100,0</b>	<b>14,12</b>		<b>100</b>	<b>27,16</b>		<b>100</b>	<b>41,73</b>		<b>100</b>	<b>5,34</b>		<b>100</b>	<b>0,05</b>		<b>100</b>	

Таблица 12 – Сводный материальный баланс технологии комплексной переработки золы ТЭЦ г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/час

## Выводы

Разработана технологическая схема комплексной переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего продукта с высоким до 50 % содержанием железа, чистого кремнезема с содержанием 99,9 % SiO<sub>2</sub> и металлургического глинозема марки Г-0, пригодного для производства алюминия.

Показано, что от переработки 1 т золы по новой технологии дополнительно можно получать товарные продукты с высокой добавленной стоимостью: ~100 кг железосодержащего продукта, ~400 кг чистого SiO<sub>2</sub> и около 265 кг металлургического глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) марки Г-0.

Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли путем полной их утилизации с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью и повысить эффективность ТЭЦ работающих на сжигании угля за счет вовлечения в переработку отходов золы в качестве дополнительного источника сырья.

На основании результатов по комплексной переработке золы ТЭЦ-2 г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/ч выданы данные по выходу продуктов, определены оптимальные параметры и технологические режимы каждого отдельно взятого процесса, составляющих основу общей технологии.

Информация о финансировании. Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан на 2021–2023 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта № AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Elliot Roth and other.** Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017. – May 9–11.

2 **Aakash, D., Manish, K. Jain.** Fly ash – waste management and overview: A Review // Recent Research in Science and Technology. – 2014. – Vol. 6(1). – P. 30–35.

3 **Suhas, V. Patil, Suryakant, C. Nawle, Sunil, J. Kulkarni.** Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1659–1663.

4 **Черкасова, Т. Г. и др.** Угольные отходы, как сырье для получения редких и рассеянных элементов // Вестник Кубанского государственного технического университета. – 2016. – № 6. – С.185–189.

5 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Technology of ash and slag waste processing by chloridizing roasting // Metallurgist. – 2022. – Vol. 66. – P. 180–189. DOI 10.1007/s11015-022-01315-0.

6 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A.** Integrated Chlorination Technology For Producing Alumina And Silica From Ash-Slag Waste Of The Tpp Of Kazakhstan // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 23. – P. 1432-1446. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.140>.

7 **Dosmukhamedov, N., Kaplan, V.** Flue gas purification from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1–12.

8 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Egizekov, M. G., Argyn, A. A.** Behavior of the components of carbon-containing ash from the combustion of power coals under the conditions of chlorination roasting // Eurasia Mining. – 2022. – № 2. – P. 40–44.

9 **Жолдасбай, Е. Е., Аргын, А. А., Досмухамедов, Н. К.** Инновационные технологии для утилизации отходов от сжигания угля – ядро устойчивого развития угольной отрасли // Горный журнал Казахстана. – 2023. – № 5. – С. 24–30.

10 **Досмухамедов, Н. К., Жолдасбай, Е. Е.** Балансовые опыты комплексной переработки золы хлорированием с получением металлургического глинозема и кремнезема // Горный журнал Казахстана. – 2022. – № 10. – С. 44–52.

## REFERENCES

1 **Elliot Roth and other.** Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017, May 9-11.

2 **Aakash, D., Manish, K. Jain.** Fly ash – waste management and overview: A Review // Recent Research in Science and Technology. –2014. – Vol. 6(1). – P. 30-35.

3 **Suhas, V. Patil, Suryakant C. Nawle, Sunil, J. Kulkarni.** Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1659–1663.

4 **Cherkasova, T. G. i dr.** Ugol'ny'e otxody, kak sy'r'e dlya polucheniya redkix i rasseyanny'x e'lementov [Coal waste as a raw material for the production of rare and dispersed elements] // Vestnik Kubanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2016. – № 6. – P. 185–189.

5 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Technology of ash and slag waste processing by chloridizing roasting // Metallurgist. – 2022. – Vol. 66. – P. 180–189. DOI 10.1007/s11015-022-01315-0.

6 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A.** Integrated Chlorination Technology For Producing Alumina And Silica From Ash-Slag Waste Of The Tpp Of Kazakhstan // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 23. – P. 1432–1446. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.140>.

7 **Dosmukhamedov, N., Kaplan, V.** Flue gas purification from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1–12.

8 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Egizekov, M. G., Argyn, A. A.** Behavior of the components of carbon-containing ash from the combustion of power coals under the conditions of chlorination roasting // Eurasia Mining. – 2022. – № 2. – P. 40–44.

9 **Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A., Dosmuxamedov, N. K.** Innovacionny'e texnologii dlya utilizacii otxodov ot szhiganiya uglya – yadro ustojchivogo razvitiya ugol'noj otrasli [Innovative technologies for waste disposal from coal burning are the core of the sustainable development of the coal industry] // Gornyj zhurnal Kazaxstana. – 2023. – № 5. – P. 24–30.

10 **Dosmuxamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Balansovy'e opy'ty kompleksnoj pererabotki zoly xlorirovaniem s polucheniem metallurgicheskogo glinozema i kremnezema [Balance experiments of complex ash processing by chlorination to obtain metallurgical alumina and silica] // Gornyj zhurnal Kazaxstana. – 2022. – № 10. – P. 44–52.

Материал поступил в редакцию 28.07.23.

\***Н. К. Досмухамедов<sup>1</sup>, Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. Ә. Аргын<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға түсті 28.07.23.

#### КҮЛДІ КЕШЕНДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ: КҮЛДІ КӘДЕГЕ ЖАРАТУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРІ

*Жұмыста көмірді жағудан алынған күлді өңдеудің заманауи әдістеріне және олардың қоршаған ортаға әсері бойынша талдау жасалды. Көмір өнеркәсібінің дамуымен күл-қож қалдықтарының өнімділігі өсуде, бұл оларды сақтау үшін алып жатқан үлкен аумақтарды және қоршаған ортаға теріс әсері артып келе жатқаны көрсетілген.*

*Жұмыста тауарлық өнімдерді – құрамында 50%-ға дейін темірі бар темір құрамды өнімді, құрамында 99,9% SiO<sub>2</sub> бар таза кремнеземді және алюминий өндіруге жарамды Г-0 маркалы металлургиялық глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ала отырып, күлді кешенді өңдеудің технологиялық схемасы әзірленді.*

*Жаңа технология бойынша 1 тонна күлді өңдеуден қосымша қосылған құны жоғары тауарлық өнімдерді алуға болатындығы көрсетілген: ~100 кг темір құрамды өнім, ~400 кг таза SiO<sub>2</sub> және шамамен 265 кг Г-0 маркалы металлургиялық глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).*

*Күлді кешенді қайта өңдеудің әзірленген технологиясын пайдалану қосылған құны жоғары тауарлық өнімдерді ала отырып, оларды толық кәдеге жарату жолымен энергетика саласын дамытуды ынталандыруға және шикізаттың қосымша көзі ретінде күл қалдықтарын қайта өңдеуге тарту есебінен көмір жағумен жұмыс істейтін ЖЭО тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: күл-қождар, қайта өңдеу, технология, технологиялық есептеулер, алюминий, түсті металдар, ЖСЭ, бөлініп таралу.*



### TECHNOLOGY OF COMPLEX ASH PROCESSING: TECHNOLOGICAL CALCULATIONS FOR ASH UTILIZATION

*The paper analyzes modern methods of ash processing from coal burning and their impact on the environment. It is shown that with the development of the coal industry, the output of ash and slag waste is growing, which occupy large areas for storage and their negative impact on the environment.*

*The work has developed a technological scheme for the complex processing of ash to produce commercial products – an iron-containing product with a high iron content of up to 50 %, pure silica with a content of 99.9 % SiO<sub>2</sub> and metallurgical alumina grade G-0, suitable for the production of aluminum.*

*It is shown that from the processing of 1 ton of ash using the new technology, it is additionally possible to obtain marketable products with high added value: ~100 kg of iron-containing product, ~ 400 kg of pure SiO<sub>2</sub> and about 265 kg of metallurgical alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) grade G-0.*

*The use of the developed technology of integrated ash processing will stimulate the development of the energy industry by completely recycling them to obtain commodity products with high added value and increase the efficiency of thermal power plants operating on coal combustion by involving ash waste in processing as an additional source of raw materials.*

*Keywords: ash slags, processing, technology, technological calculations, aluminum, non-ferrous metals, REE, distribution.*

### \*М. Елубай<sup>1</sup>, Г. Айткалиева<sup>2</sup>, Д. Ержанова<sup>3</sup>, Д. Қарлы<sup>4</sup>, С. Масакбаева<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>2,3,4</sup>Сатпаев университет, г. Алматы.

\*e-mail: [yelubay.m@tou.edu.kz](mailto:yelubay.m@tou.edu.kz)

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>. +77071225811

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3671-0210>. +77471315591

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>. +77056124252

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>. +77772853802

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-3764-9666>. +77071638786

### КРАСНЫЙ ШЛАМ – СЫРЬЕ ДЛЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

*С началом нового столетия во всем мире активно развивается тенденция для создания экологически устойчивых материалов во всех сферах жизнедеятельности человека. В то же время ежегодно растет количество промышленных отходов, которые из-за отсутствия области применения, подлежат захоронению на полигонах с огромными площадями. В связи с этим одним из реализуемых направлений является разработка новых строительных материалов, в частности, вяжущего вещества с использованием различных отходов. На сегодняшний день, повсеместно используемый вяжущий материал - портландцемент имеет ряд недостатков и не является безопасным для окружающей среды. Поэтому необходимо найти его аналог, который бы обладал всеми желаемыми свойствами. Как раз таки материалы на основе геополимеров являются таковыми. Существующие подходы для синтеза геополимерных строительных материалов нуждаются в усовершенствовании. В настоящей обзорной статье рассмотрены научно-исследовательские работы по методам получения геополимерных материалов из различных видов сырья, обсуждены и сопоставлены результаты, а также приведены условия и физико-химические параметры, влияющие на свойства конечного продукта. В этом исследовании оценивалась возможность использования красного в качестве прекурсоров для получения геополимеров на их основе.*

*Ключевые слова: геополимер, отходы, промышленные отходы, красный шлам, сырье.*

#### Введение

Геополимерные композиты считаются более экологически устойчивой альтернативой бетону на портландцементе (ПК), поскольку последний является вторым по величине источником выбросов CO<sub>2</sub> (4–8 % мировых выбросов CO<sub>2</sub>) и третьим по величине потребителем энергии [1], что привело к увеличению исследований и разработке геополимеров.

Геополимеры это трехмерные аморфные материалы Si–O–Al, полученные активацией раствора щелочью или силиката щелочного металла источником

алюмосиликата при комнатной температуре [2]. В исследованиях по всему миру в качестве необходимых источников алюмосиликатов использовались следующие материалы (рис. 1) [3].

Традиционным и высоко реакционноспособным принято считать метакаолин, получаемый из каолина, очень распространенного в земной коре [4]. Примесями каолина являются кварц, слюда, полевой шпат, мусковит, биотит, оксид титана и гидроксид железа [5, 6], и ожидается, что каолин будет богат каолинитом. Каолинит переходит из кристаллической в аморфную структуру между 650 и 800°C [6–8], но это зависит от свойств исходной глины. Различное геологическое происхождение, процессы термической обработки (быстрое кальцинирование, кальцинирование во вращающейся печи) и содержание примесей могут изменять реакционную способность метакаолинов [9] и, следовательно, влиять на свойства геополимеров [10,11].

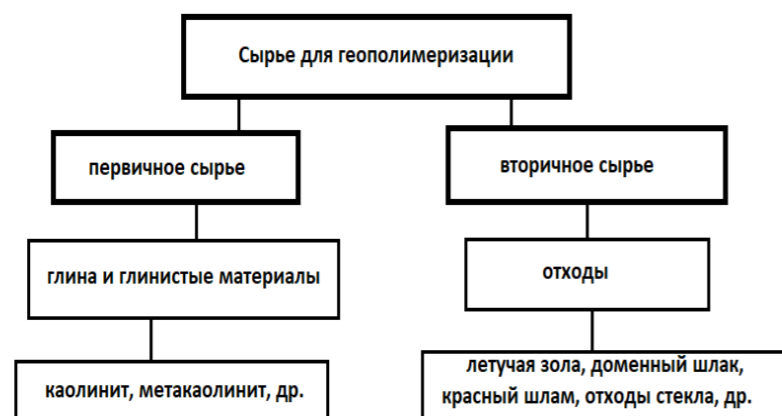


Рисунок 1 – Исходное сырье для получения геополимеров

Однако с целью улучшения экологического профиля геополимеров требуется использования в качестве сырья промышленных побочных продуктов.

Большой интерес в качестве сырья для получения геополимерных материалов представляет красный шлак ввиду повышенного содержания щелочи и алюмината [12].

Авторы работы [13] изучали способность соединения красного шлака и летучей золы отвердевать тяжелые металлы. На основании полученных результатов показано, что смесь красного шлака и летучей золы можно использовать в качестве недорогого цеолитного продукта с эффективностью отверждения 98,23 %, 99,09 %, 99,72 % и 98,21 % для Cu, Zn, Pb и Cd соответственно. Учеными [14] изучены свойства геополимера на основе красного шлака с различным содержанием красного шлака в процессе изготовления кирпича и установлено, что оптимальная доля добавки красного шлака составляет 30 %. В работе [15] определены две схемы для оценки влияния содержания красного шлака и пористости на свойства геополимеров на основе красного шлака. Результаты исследований показали,

что комбинация алюминиевой пудры и 40 % массы красного шлака проявляет наилучший эффект замещения.

Однако, несмотря на большое количество исследований в данном направлении, материалы и схемы дозирования в разных исследованиях сильно различаются, что затрудняет получение регулярных результатов по характеристикам геополимера на основе красного шлака. В связи с этим нами были проведены работы по исследованию основных характеристик красного шлака, образующегося на предприятиях РК.

**Материалы и методы**

В качестве объекта исследований служил красный шлак или бокситовый остаток, отобранный на АО «Алюминий Казахстана».

Химический состав красного шлака охарактеризован рентгенофлуоресцентной спектрометрией. Минералогический состав оценивали методом рентгеновской дифракции (РФА) на дифрактометре Phaser Bruker.

**Результаты и обсуждение**

Состав красного шлака представлен в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – Химический состав бокситового шлака [16]

Содержание оксидов, мас. %							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
65.98	8.91	1.57	8.37	9.56	1.70	0.15	3.76

По результатам таблицы 1 основными оксидами, присутствующими в красном шлаке, являются оксиды алюминия, кремния и железа, что подтверждает возможность получения геополимерных композитов на его основе. Кроме того, шлак содержит оксиды натрия, кальция и калия, которые применялись в процессе производства стекла при снижении вязкости кремнезема.

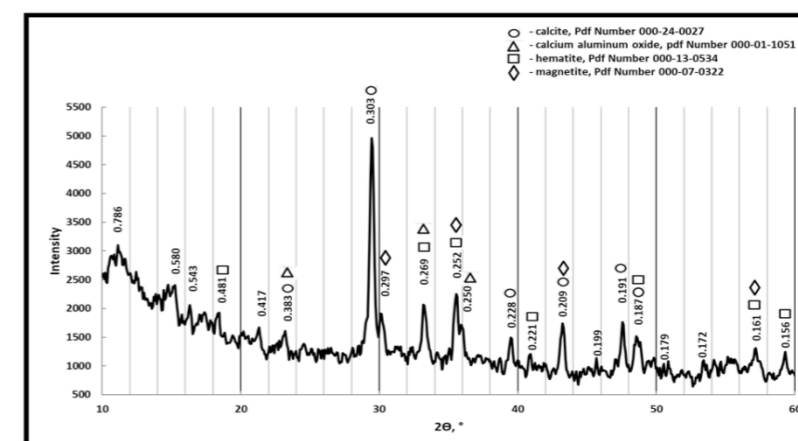


Рисунок 1 – Дифрактограмма красного шлака

Основными минералами красного шлама, выявленными методом рентгеноструктурного анализа (рисунок 1), были кальцит, трёхкальциевый алюминат, гематит, магнетит и др.

По результатам исследований можно отметить, что красный шлам имеет более высокую концентрацию оксида кальция и натрия, что соответственно повышает его pH. В этой связи важно учесть [17], что присутствие кальция в избыточном количестве негативно для образования трехмерной алюмосиликатной сетки.

Вместе с тем, авторы работы [19] считают, что атомы Fe могут замещать только 25 % атомов Al в структуре геополимера, из чего следует, что  $Fe_2O_3/Al_2O_3 > 0,37$  оказывает отрицательное влияние на прочность на сжатие. По результатам таблицы 1 видно, что содержание  $Fe_2O_3$  составляет 8,37 %, тогда как  $Al_2O_3$  составляет 8,91 % и соответствует соотношению  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  около 1,0.

Известно, что молярное соотношение Si/Al очень важно при производстве геополимеров и влияет на микроструктуру и механические свойства геополимеров, которые образуются при комнатной температуре. Также сообщается о влиянии соотношения  $SiO_2/Al_2O_3$  в повышении прочности геополимерного материала. Оптимальным соотношением  $SiO_2/Al_2O_3$  для достижения наибольшей прочности является 3,4–3,8 [20]. В образце исследуемого красного шлама выявлено соотношение 7,4, что оказалось за пределами необходимого диапазона. Установлено [20], что геополимеры с более высоким соотношением  $SiO_2/Al_2O_3$  затвердевают дольше, в связи с тем, что время отверждения геополимера контролируется частицами алюминия. Таким образом, данный красный шлам не является хорошим материалом для получения геополимеров и требует комбинирования с другими дополнительными материалами, состоящими из алюминия.

#### Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP09259187).

#### Выводы

В настоящей работе представлен обзор по применяемым сырьевым источникам по разработке геополимерных композитов. Показано, что одним из перспективных сырьевых источников может служить красный шлам, образующийся в алюминиевой промышленности в результате процесса Байера для извлечения глинозема ( $Al_2O_3$ ) из бокситовой руды, который включает обработку бокситовой руды раствором гидроксида натрия, был охарактеризован как прекурсор для получения геополимерных композитов. Выявлено, что использование красного шлама для геополимеризации удовлетворило бы необходимость надлежащей утилизации отхода, что уменьшило его негативное воздействие на окружающую среду. На основании проведенных исследований установлено, что для получения качественного и прочного геополимерного композита необходимо комбинировать красный шлам с дополнительными материалами с высоким содержанием алюминия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Abdulkareem, M., Komkova, A., Havukainen, J., Habert, G., Horttanainen, M.** Identifying Optimal Precursors for Geopolymer Composite Mix Design for Different Regional Settings: A Multi-Objective Optimization Study // *Recycling*. –2023. 8 (32). [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.3390/recycling802003>.
- 2 **N'cho, W. C., Gharzouni, A., Jouin, J., Rossignol, S.** Impact of different metakaolin mixtures on oligomer formation and geopolymer properties: Impurity effect // *Open Ceramics*. –2023. –№ 15.
- 3 **Cong, P., Cheng, Y.** Advances in geopolymer materials: A comprehensive review // *Journal of traffic and transportation engineering*. –2021. –№ 8 (3). – С. 283–314. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>.
- 4 **Nergis, D. D. B., Abdullah, M. M. A. B., Vizureanu, P., Tahir, M. F. M.** Geopolymers and their uses: review // *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. –2018. –№374.
- 5 **Sahnoun, R. D., Bouaziz, J.** Sintering characteristics of kaolin in the presence of phosphoric acid binder // *Ceramics International*. –2012. –№ 38. –С. 1–7.
- 6 **Albidah, A. S.** Effect of partial replacement of geopolymer binder materials on the fresh and mechanical properties: a review// *Ceramics International*. – 2021. – № 47. –С. 14923–14943.
- 7 **Mansour, S. M., Ghernouti, Y., Chaid, R.** Valorization of calcined kaolinitic clay used in high performance mortar // *Journal of Building Materials and Structures*. –2020. – № 7. – С. 32–41.
- 8 **Kamseu, E., Alzari, V., Nuvoli, D., Sanna, D., Lancellotti, I., Mariani, A.** Dependence of the geopolymerization process and end-products to the nature of solid precursors : challenge of the sustainability // *Journal of Cleaner Production*. –2021. –№ 278.
- 9 **Elimbi, A., Tchakoute, K. H., Njopwouo, D.** Effects of calcination temperature of kaolinite clays on the properties of geopolymer cements // *Construction and Building Materials*. –2011. –№ 25. – С. 2805–2812.
- 10 **Wan, Q., Rao, F., Song, S., Cholico-Gonzalez, D. F., Ortiz, N. L.** Combination formation in the reinforcement of metakaolin geopolymers with quartz sand // *Cement and Concrete Composites*. –2017. – № 80. – С. 115–122.
- 11 **Autef, A., Joussein, E., Poulesquen, A., Gasgnier, G., Pronier, S., Sobrados, I., Sanz, J., Rossignol, S.** Influence of metakaolin purities on potassium geopolymer formulation: the existence of several networks // *Journal of Colloid and Interface Science*. –2013. – № 408. – С. 43–53.
- 12 **Du, Z., Sheng, S., Guo, J.** Effect of composite activators on mechanical properties, hydration activity and microstructure of red mud-based geopolymer // *Journal of materials research and technology*. – 2023. – № 24. – С. 8077–8085.
- 13 **Ma, W. J., Liang, Z. Y., Liu, M. S., Xu, Z. W., Zhao, Q. X.** Synthesis of lowcosting 4A-zeolite and stabilization of heavy metals from municipal solid waste incineration fly ash and activated red mud // *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. – 2022. – № 17 (5).

14 Singh, S., Aswath, M. U., Ranganath, R. V. Performance assessment of bricks and prisms: red mud based geopolymer composite // Journal of Building Engineering. –2020. – № 32.

15 Ascensao, G., Seabra, M. P., Aguiar, J. B., Labrincha, J. A. Red mudbased geopolymers with tailored alkali diffusion properties and pH buffering ability // Journal of Cleaner Production. – 2017. – № 148. –С. 23–30.

16 Сергеев, Н. П., Максимова, В. В., Толегенов Д. Т. Перспективы использования красных шламов в керамических технологиях // Материалы XXIII Международной конференции «Химия и химическая технология в XXI веке». – 2022. – С. 149–150.

17 Abbasi, S. M., Ahmadi, H., Khalaj, G., Ghasemi, B. Microstructure and mechanical properties of a metakaolinite-based geopolymer nanocomposite reinforced with carbon nanotubes // Ceramics International. –2016. – № 42. – С. 15171–15176.

18 Davidovits, J., Davidovits, R. Ferro-sialate geopolymers. Geopolymer Institute Library. –2020. – 1–6. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25792.89608/2>.

19 Lahoti, M., Yang, E. H., Tan, K. H. Proc. Int. Conf. on 40th Advanced Ceramics and Composites (United States: Florida/Wiley). – 2017. – С. 21–33.

20 Faradilla, F. S. et al. Optimization of SiO<sub>2</sub> /Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> Ratio in the Preparation of Geopolymer from High Calcium Fly Ash // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. –2020. –№ 616.

Материал поступил в редакцию 07.09.23.

**M. Yelubay<sup>1</sup>, G. Aitkaliyeva<sup>2</sup>, D. Yerzhanova<sup>3</sup>, D. Karly<sup>4</sup>, S. Massakbayeva<sup>5</sup>**

<sup>1,2,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>3,4</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 07.09.23.

## RED MUD – A RAW MATERIAL FOR GEOPOLYMER COMPOSITES

*With the beginning of the new century, a trend is actively developing around the world to create environmentally sustainable materials in all spheres of human life. At the same time, the amount of industrial waste is growing every year, which, due to the lack of a field of application, are subject to burial in landfills with huge areas. In this regard, one of the areas being implemented is the development of new building materials, in particular, a binder material using various wastes. Today, the widely used binder - Portland cement has a number of disadvantages and is not safe for the environment. Therefore, it is necessary to find its analogue, which would have all the desired properties. Materials based on geopolymers may be promising. Existing approaches for the synthesis of geopolymer building materials need to be improved. This review discusses research works on methods for obtaining geopolymer materials from various types of raw materials, discusses and compares the results, and also presents the conditions and physicochemical parameters that affect the properties of*

*the final product. This study evaluated the possibility of using red as precursors for obtaining geopolymers based on them.*

*Key words: Geopolymer, waste, industrial waste, red mud, raw material.*

**M. Елубай<sup>1</sup>, Г. Айткалиева<sup>2</sup>, Д. Ержанова<sup>3</sup>, Д. Қарлы<sup>4</sup>, С. Масакбаева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>3,4</sup>Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға түсті 07.09.23.

## ҚЫЗЫЛ БАЛШЫҚ – ГЕОПОЛИМЕРЛІК КОМПОЗИТТЕРДІҢ ШІКІЗАТЫ

*Жаңа ғасырдың басталуымен бүкіл әлемде адам өмірінің барлық салаларында экологиялық тұрақты материалдарды жасау үрдісі белсенді түрде дамып келеді. Сонымен қатар, өндіріс қалдықтарының көлемі жыл сайын артып келеді, қолдану саласының жоқтығынан оларды үлкен аумақтары бар полигондарға көмуге тура келеді. Осыған байланысты жүзеге асырылып жатқан бағыттардың бірі – жаңа құрылыс материалдарын, атап айтқанда, әртүрлі қалдықтарды пайдаланатын байланыстырғышты әзірлеу. Бүгінгі күні кеңінен қолданылатын байланыстырғыш – портландцементтің бірқатар кемшіліктері бар және қоршаған орта үшін қауіпті болып табылады. Сондықтан барлық қажетті қасиеттерге ие болатын оның аналогын табу керек. Геополимерлер негізіндегі материалдар солар қатарына жатады. Геополимерлік құрылыс материалдарын синтездеудің қолданыстағы тәсілдерін жетілдіру қажет. Бұл шолу мақаласында түрлі шикізат түрлерінен геополимерлік материалдарды алу әдістері бойынша зерттеу жұмыстары қарастырылады, нәтижелер талқыланады және салыстырылады, сонымен қатар соңғы өнімнің қасиеттеріне әсер ететін шарттар мен физика-химиялық параметрлер ұсынылады. Бұл зерттеуде қызыл боксит қалдығы геополимерлер алу үшін прекурсорлар ретінде пайдалану мүмкіндігін бағаланды.*

*Кілтті сөздер: геополимер, қалдықтар, өндірістік қалдықтар, қызыл балшық, шикізат.*

**\*Н. А. Улмаганбетов<sup>1</sup>, М. С. Алмагамбетов<sup>2</sup>, О. В. Заякин<sup>3</sup>,  
М. С. Досекенов<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG,

Республика Казахстан, г. Актөбе;

<sup>3</sup>Институт металлургии, Российская Федерация, г. Екатеринбург.

e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ РАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*В данной статье рассматривается одна из ключевых проблем разливочных ковшей ферросплавного производства. А именно стойкость футеровки к механическим и высокотемпературным нагрузкам. Описаны стандартные режимы работ и периодичность замены футеровки. Проведены лабораторные исследования по поиску оптимального состава защитного слоя. Опробованы несколько вариантов составов для защиты футеровки от контакта жидкого металла и шлака. В работе приведен литературный обзор по применению защитных огнеупорных обмазок. Подробно описана целесообразность применения защитного слоя разливочных ковшей. Также представлен в качестве примера использование защитных обмазок для сталеплавильного производства. На настоящий момент огнеупорные обмазки существуют в обширном ассортименте, с огнеупорностью в интервале от 500°C до 1900°C. В статье приведено описание разных видов огнеупорных материалов, применяемых в современное время, такие как глиноземистые, алюмосиликатные, силикатные, магнезитовые, хромитовые материалы и использование защитных обмазок в разливочных ковшах производства высокоуглеродистого феррохрома. Определены оптимальные виды и составы защитных обмазок и приводятся результаты сравнения со стандартными режимами использования разливочных ковшей и с применением ковшей с защитным слоем.*

*Ключевые слова: феррохром, разливочный ковш, защитный слой, футеровка, стойкость.*

#### **Введение**

Производство высокоуглеродистого феррохрома (далее ФХ (в/у)) на Актюбинском заводе ферросплавов ведется в двух плавильных цехах. Основная их доля выплавляется в плавильном цехе № 4, оснащенный современными печами постоянного тока. Оставшаяся часть приходится на плавильный цех № 1, где выплавка ФХ (в/у) производится в печах переменного тока. Несмотря на то, что эти цеха выплавляют идентичные марки ФХ (в/у) существуют значительные отличия в проводимых в них технологических процессах. Среди отличий можно выделить операции по выпуску и разливке расплава. В плавильном цехе № 4 не

предусмотрено использование промежуточных технологических приспособлений для разлива металла, тогда как в плавильном цехе № 1 использует целый парк различной посуды. Основным технологическим средством при разливке металла являются специальные разливочные ковши. Ковш представляет собой глухондную металлическую конструкцию из листовой стали с симметрично расположенными боковыми цапфами для грузоподъемных механизмов (рисунок 1).

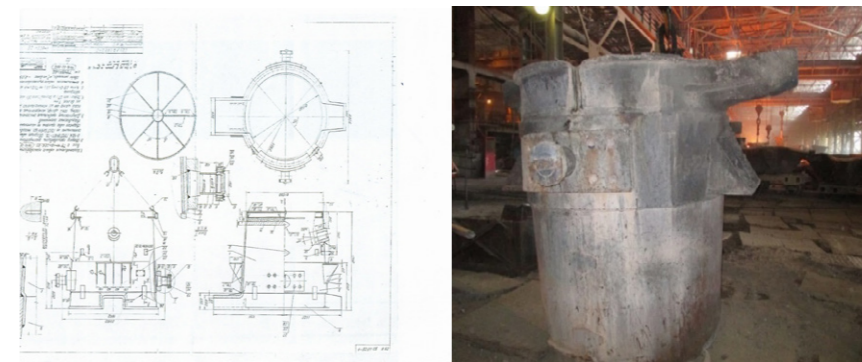


Рисунок 1 – Сборочный чертеж и общий вид разливочного ковша ПЦ-1

Разливочные ковши изнутри имеют огнеупорную футеровку, выполненную из шамотных кирпичей марки типа ШБ-5. Огнеупорную кладку выполняют в один или два слоя в зависимости от выплавляемой марки феррохрома. Чем ниже содержание углерода в сплаве, тем больше слоев огнеупорной кладки. При выплавке феррохрома марок ФХ800-950 с содержанием углерода от 8,01 до 9,49 масс. %, разливочные ковши футеруют шамотным кирпичом в один слой. Кладку выполняют с установкой кирпичей на ребро в радиальном направлении от вертикальной оси. В среднем такая кладка выдерживает до 10 разливок феррохрома. Если выплавляется феррохром марок ФХ600-650 содержанием углерода от 6,01 до 6,49 масс. %, то огнеупорную кладку выполняют в два слоя. Здесь кирпичи устанавливают на плашку как показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Футеровка ковша для разлива феррохрома марок ФХ600-650

Данная схема футеровки ковша позволяет оперативно заменять кирпичную кладку рабочего слоя в короткий промежуток времени из-за более высокой химической агрессивности металлического расплава по сравнению с рядовыми марками ФХ (в/у). Срок службы кирпичей рабочего слоя футеровки не превышает 6 выпусков расплава. Таким образом, одним из основных факторов, влияющим на стойкость огнеупорной кладки ковшей, является химический состав шлако-металлического расплава и перегрев металла над температурой плавления. Исходя из физико-химических свойств выплавляемого сплава подбирается огнеупорный материал, инертный к нему или в некоторых случаях сходный по химическому составу.

Также для выбора типа огнеупоров для футеровки ковшей определяющими факторами являются повышенная термостойкость и низкая теплопроводность, способствующая снижению тепловых потерь через стенки ковша, что в свою очередь уменьшает образование шлако-металлического гарнисажа, избыточное образование которого является причиной вывода ковшей из эксплуатации с последующей их чисткой, а также снижению показателей производства.

Другим фактором, влияющим на стойкость футеровки ковшей, служит механическое воздействие на нее при чистке ковшей от шлако-металлических настывей после разливки. При удалении настывей футеровка подвергается механическим ударным нагрузкам в процессе обработки на специальных металлических пиках или гидромолотах. На кладке остаются сколы и выбоины, образуя шероховатую поверхность. В последствии эти шероховатости создают условия для адгезии расплава в слой кирпичной кладки и постепенному его разрушению, что в конечном итоге приводит к снижению стойкости футеровки ковша. В целом, с учётом вышеизложенного можно выделить две основные причины снижения стойкости футеровки ковшей, это термохимическое воздействие шлако-металлического расплава и механические повреждения в процессе обслуживания ковшей. В этой связи, поиск способов увеличения стойкости футеровок ковшей за счет уменьшения влияния этих двух факторов весьма актуальна. Увеличить срок эксплуатации огнеупорной футеровки можно за счет добавления дополнительного количества слоев кладки огнеупорных кирпичей или использования наливных футеровок. Но в первом случае это приведет к уменьшению полезного объема ковшей и изменению его массы. Это потребует изменить габариты ковша в сторону их увеличения и соответственно увеличить расходы, как на металлоизделия, так и на огнеупорные материалы. Дополнительно увеличивается нагрузка на разливочные краны ввиду изменения весовых параметров ковшей. При таком раскладе предпочтительнее применение наливных футеровок. Наливная футеровка более компактная и не приводит к уменьшению полезного объема ковша. Несмотря на положительные моменты, наливная футеровка имеет ряд недостатков. К ним относятся высокая стоимость огнеупорных материалов, сложность и длительность процесса футеровки, а также последующей термообработки.

Альтернативным вариантом для увеличения срока службы огнеупорной кладки ковшей могут служить защитные обмазки. Огнеупорные защитные обмазки представляют собой порошки из различных огнеупорных материалов определенной зернистости в смеси с разного рода добавками, обеспечивающими связывание компонентов обмазки с защищаемым материалом. Обмазки на рабочую поверхность огнеупорной футеровки можно наносить вручную или, что предпочтительнее, методом торкретирования (рисунок 3). Торкретирование является наиболее эффективным способом повышения стойкости футеровки. Для торкретирования применяют как алюмосиликатные, так и кремнеземистые и другие массы [1].



Рисунок 3 – Торкретирование разливочных ковшей

Учитывая вышеизложенное, можно сделать заключение о перспективности и привлекательности использования огнеупорных обмазок для защиты огнеупорных кладок (футеровки) разливочных ковшей. Технология достаточно простая и легко поддается механизации. Таким образом, целью работы является оценка технологической возможности использования защитных обмазок для увеличения срока службы футеровки на разливочных ковшах путем постановки лабораторных опытов и опытно-промышленных испытаний.

Использование огнеупорных обмазок получило широкое распространение в большой металлургии. В частности, сталеплавильная отрасль успешно применяет такие приемы для защиты разливочных ковшей. На настоящий момент существует обширный ассортимент различных смесей с огнеупорностью в интервале 500–1900 °С. Опираясь на литературные данные [2] огнеупорные обмазки условно можно разделить на следующие виды (в зависимости от типа наполнителя):

- глиноземистые (муллитовые, корундовые, муллит-корундовые);
- алюмосиликатные (шамот);
- силикатные (кварц или кварциты);
- магнезитовые (периклаз, магнезитовый порошок термообработанный);
- хромитовые (хромиты).

Огнеупоры обычно изготавливают из природного сырья или после термообработки в результате дегидратации, декарбонизации глины [3]. Известно, что для защиты огнеупорной кладки сталеплавильных ковшей зачастую

используют шамотные обмазки, состоящие из шамотного порошка и огнеупорной глины [4]. В качестве связующего материала обычно применяют жидкое стекло. Также встречаются данные по использованию молотого кварцита или дисперсного хромита [4].

#### Материалы и методы

Сухой молотый материал и связующее вещество предварительно взвешивают, затем засыпают в лабораторный смеситель, включают режим смешения. После этого в смеситель небольшими порциями подают связующее. Процесс смешивания производят до полной однородности смеси. Для материалов, обладающих низкой смачиваемостью и пластичностью предусматривается ввод пластификатора в виде огнеупорной или бентонитовой глины. Пластификатор подается в сам материал и после предварительного сухого смешивания подается связующее. Для смесей, где выступает связующим бентонит, сперва осуществляют сухое смешение материала и бентонитовой глины, затем подается вода.

Готовый образец укладывают на огнеупорный поддон и просушивают в сушильном шкафу при температуре не более 200 °С в течение 15 минут для удаления лишней влаги и избежания термоудара. После сушки образец остужают, осматривают на наличие трещин, выплавления связующего. Затем муфельную печь нагревают до 1000 °С (показатель средней температуры сушильного горна печи) и после набора необходимой температуры в нее помещают образец (на защитный поддон) с выдержкой в течение 15 мин. По истечении времени выдержки образец извлекают и оставляют остужаться. Остывший образец повторно осматривают на наличие трещин (деформации), измеряют толщину (усадку). Составы, отвечающие выдвигаемым критериям, дополнительно подвергают испытаниям на металло- и шлакоустойчивость. Для этой цели в печи Таммана в тигле расплавляют ФХ (в/у) /шлак ФХ (в/у). Затем в расплав металла/шлака опускают предварительно термообработанный образец обмазки (предварительно нанесенный на фрагмент шамотного кирпича) и выдерживают в течение 30 мин. После выдержки образец извлекают из расплава, остужают и измеряют глубину адгезии металла/шлака. В таблице 1 приведены составы смеси для обмазки огнеупоров.

Таблица 1- Составы огнеупорных обмазок

№ п/п	Состав смеси	Огнеупорность*, °С	Примечание
1	Молотый шамот-85%	1730	Бентонит в качестве пластификатора
	Бентонит (глина огнеупорная)-8-10%		
2	Жидкое стекло-10-20%	1750	-
	Микросилика-75%		
	Шлак РФХ-5%		
	Жидкое стекло-20%		

3	Кварцит	1750	--
	Жидкое стекло-20%		
4	Шлак ВУ ФХ -80 %	1730	-
	жидкое стекло 20%		
5	Пыль АТУ -90%	1890	Бентонит в качестве пластификатора
	Бентонит-5%		
6	Жидкое стекло (по необходимости)	1800	-
	Молотый корунд с желобов		
	Жидкое стекло / алюминат натрия		

\*Температура указанных смесей были определены путем лабораторных исследований.

#### Определение свойств и выбор оптимального состава огнеупорной смеси

Перед проведением тестов были определены наиболее важные оценочные критерии для огнеупорных смесей. В этот перечень вошли следующие показатели:

- пластичность исходной увлажненной смеси
- адгезия смеси при нанесении на огнеупорный кирпич
- стойкость при предварительной сушке (200 °С)
- стойкость термическим нагрузкам (1000 °С, для моделирования сушки ковшей)
- стойкость при смачивании расплавом (моделирование контакта с расплавом в ковше).

Из шести вариантов опробованных вариантов смесей, вышеперечисленным критериям отвечали составы на основе молотого шамота, шлака ФХ (в/у) и кварцита (составы № 1, № 3 и № 4). Состав на основе молотого корунда (№6) обладал низкой пластичностью и адгезией к огнеупору и дальнейшие тесты с этой смесью были прекращены. Смесью на основе микросилики обладает достаточно высокой пластичностью, но требует повышенного увлажнения (состав № 2). Добавка воды составила порядка 40 % от сухой массы наполнителя. При этом показатели по адгезии к огнеупору были неудовлетворительными, смесь отслаивалась от кирпича. По этой причине тесты по оставшимся критериям не проводились.

Смесью на основе хромитовой пыли АТУ-4 (состав № 5) обладала высокой пластичностью и адгезией к шамотному кирпичу. Однако при предварительной сушке при 2000°С (во избежание термошока при высокотемпературной обработке) обмазка покрылась глубокими трещинами с отслоением отдельных фрагментов.

Промышленные испытания в условиях выплавки ФХ800-850 на печах плавильного цеха № 1

В участок футеровки ковшей установили ковш с предварительным демонтажем отработанной огнеупорной кладки. После установки ковша, рабочим персоналом цеха произведена кладка футеровки ковша шамотным кирпичом согласно действующего технологического регламента. Поверх шамотной кладки

примерно на треть ее площади нанесли огнеупорную обмазку из смеси молотого боя шамота, бентонита и жидкого стекла. Следующую треть кладки обмазали смесью кварцита и стекла. На оставшуюся площадь нанесли обмазку на основе молотого шлака ФХ (в/у) также на связке из жидкого стекла. При попытке перемещения ковша к узлу сушки произошло отлипание всех трех видов обмазки с оголением огнеупорной кладки. Увеличение расхода связующего (жидкого стекла) не привело к каким-либо изменениям. С учетом этого, опыты со смесями на связке из раствора силиката натрия прекратили. Ковш зачистили от остатков смеси и перешли к использованию комбинированной связки, состоящей из смеси цемента, бентонита и органического связующего (далее Лигно). Использование комбинированной связки позволило устранить проблему отслоения обмазок вне зависимости от типа наполнителя. С учетом этого, на первом этапе ковш полностью обмазали смесью на основе шамота (рисунок 4). Смесью состояла из 85 % молотого шамотного боя, 6 % цемента, 3 % Лигно и 6 % бентонита. Влажность смеси составляла порядка 20 %.



Рисунок 4 – Нанесенная защитная обмазка на основе молотого боя шамота

Готовый ковш заправили песком и установили на узел сушки. По истечении 30-40 мин сушки (согласно принятым нормам) произвели осмотр обмазки ковша. При визуальном осмотре трещин или отслоения огнеупорной обмазки не обнаружено. Далее ковш использовали при выпуске с последующим осмотром состояния огнеупорной кладки. Повреждений огнеупорной кладки не было зафиксировано и эксплуатацию ковша продолжался в штатном режиме. Технологических отклонений и каких-либо затруднений при их эксплуатации не зафиксировано. Ковши выдержали от 13 до 18 наливов против 10 наливов в базовом варианте без обмазки. Необходимо отметить, что в этот период основную долю выплавленного и разлитого металла составляла марка ФХ800.

На следующем этапе в качестве обмазки использовали молотый кварцит крупностью 0-1мм. Смесью состояла также из 85 % кварцита, по 6 % цемента и бентонита, а также 3 % Лигно. Здесь средняя влажность смеси не превышала 16 %. Смесью обладала хорошей адгезией к огнеупорной кладке и не вызывала затруднений при обмазке ковша. Процесс сушки ковша и дальнейшей эксплуатации прошел

без осложнений. На этом типе обмазки также было испытано 3 ковша. Количество выпусков составило от 10 до 14 выпусков. Следующие опыты были проведены с использованием молотого шлака ФХ (в/у) также на трех ковшах. Процентный состав и влажность смеси была аналогичной испытаниям на основе кварцита. Ресурс ковшей не превышало 8 выпусков несмотря на то, что выплавляли ФХ (в/у) марки ФХ850. Иначе говоря, показатели по ходимости ковшей получились ниже чем в базовом режиме. Средние значения наливов по всем проведенным испытаниям представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний различных типов огнеупорных обмазок в условиях выплавки ФХ800-850 в ПЦ № 1 (количество наливов)

Наименование	Количество наливок
Без обмазки (базовый период)	10
Шамот	15
Кварцит	11
Шлак ФХ (в/у)	8

### Результаты и обсуждение

Проведены тестовые лабораторные опыты по подбору защитных огнеупорных обмазок футеровок разливочных ковшей ПЦ-1. По результатам тестов определены 3 состава смесей на основе молотого боя шамота, молотого кварцита и шлака ФХ (в/у). Опробованы опытно-промышленные испытания на разливочных ковшах ПЦ-1 при производстве феррохрома марок ФХ800-850, в связи с чем выявлено, что:

– стойкость футеровки ковшей с обмазкой на основе молотого боя шамота в среднем составляет 15 наливов против 10 выпусков при базовом режиме на марке ФХ800;

– стойкость футеровки ковшей с обмазкой на основе молотого кварцита составила в среднем 11 наливов против 10 выпусков при базовом режиме на марке ФХ850;

– стойкость футеровки ковшей с обмазкой на основе молотого шлака ФХ (в/у) составила в среднем 8 наливов против 10 выпусков при базовом режиме на марке ФХ850.

### Выводы

Проведенные опытно-промышленные испытания показали, перспективность использования защитных обмазок для повышения стойкости футеровки. Данный метод положительно влияет на увеличение срока службы огнеупорной кладки ферросплавных разливочных ковшей. Применение защитных обмазок на основе шамота показывают наиболее высокий результат по сравнению с защитными слоями содержащие кварцит и шлак ФХ (в/у).



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Кашеев, И. Д.** Свойства и применение огнеупоров. Справочное издание. – М.: Теплотехник, 2004. – 352 с.
- 2 **Папко, Л. Ф.** Огнеупоры для стекловаренных печей: учебное пособие / Л. Ф. Папко, Павлюкевич Ю. Г. – Минск : БГТУ, 2008. – 100 с.
- 3 **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов : [Учеб. пособие для металлург. специальностей вузов] / К. К. Стрелов, И. Д. Кашеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Metallurgiya, 1996. – 606 с.
- 4 **Ульянов, В. А.** Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы для печей: учебное пособие / В. А. Ульянов, М. А. Ларин, В. Н. Гушин. – М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 152 с.
- 5 **Кашеев, И. Д.** Футеровка дуговых электросталеплавильных печей / И. Д. Кашеев, И. П. Басьяс, Г. А. Фарафонов, В. И. Сизов ; под ред. И. Д. Кашеева. – М. : Интермет Инжиниринг, 2010. – 190.
- 6 **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М. : Metallurgiya, 1985. – 480 с.
- 7 **Кашеев, И. Д., Стрелов, К. К.** Волокнистые огнеупорные материалы. – Екатеринбург : УПИ, 1992. – 88 с.
- 8 **Абдулабеков, Е. Э., Каскин, К. К., Нурумғалиев, А. Х.** Теория и технология производства хромистых сплавов. – Алматы : Республиканский издательский кабинет по учебной и методической литературы, 2010. – 280 с.
- 9 **Дятлова, Е. М.** Химическая технология керамики и огнеупоров. В 2 ч. Ч. 1 : тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 010109 «Технология тонкой функциональной и строительной керамики» / Е. М. Дятлова, Ю. А. Климош. – Минск : БГТУ, 2014. – 224 с.
- 10 **Карклит А. К.** Огнеупорные изделия, материалы и сырье / А. К. Карклит, Н. М. Пориньш, Г. М. Каторгин, А. С. Норкина, И. Ю. Соломинская. – М. : Metallurgiya, 1991. – 416 с.

## REFERENCES

- 1 **Kashheev I. D.** Svoystva i primeneniye ogneuporov [Properties and application of refractories]. Teplotekhnika, Moscow, 2004. – 169 p.
- 2 **Papko, L. F.** Ogneupory` dlya steklovarenyy`x pechej: uchebnoe posobie/ L. F. Papko, Pavlyukevich Yu. [Refractories for glass furnaces: textbook]. Minsk, BSTU, 2008. – 100 p.
- 3 **Strelov K. K., Kashheev I. D.** Teoreticheskie osnovy` tehnologii ogneuporny`x materialov [Theoretical foundations of the technology of refractory materials]. Moscow, «Metallurgy» 1996. – 4 p.
- 4 **Ulyanov, V. A.** Ogneuporny`e, teploizolyacionny`e i stroitel`ny`e materialy` dlya pechej: uchebnoe posobie [Refractory, heat-insulating and building materials

for furnaces: study guide]. V. A. Ulyanov, M. A. Larin, V. N. Gushchin. – Moscow, Vologda: Infra-Engineering, 2019. – 152 p.: ill., tab.

5 **Kashheev I. D., Bas`yas I. P., Farafonov G. A., Sizov V. I.** Futеровка dugovy`x e`lektrostaleplavil`ny`x pechej [Lining of electric arc furnaces]. Moscow, Internet Engineering. 2010.

6 **Strelov, K. K.** Teoreticheskie osnovy` tehnologii ogneuporny`x materialov: [Theoretical foundations of technology of refractory materials]. – М : Metallurgiya, 1985. – 480 p.

7 **Kashheev, I. D., Strelov, K. K.** Voloknisty`e ogneuporny`e materialy` [ Fibrous refractory materials]. – Ekaterinburg : UPI, 1992, 88 p.

8 **Abdulabekov, E. E., Kaskin, K. K., Nurumgaliev, A. X.** Teoriya i tehnologiya proizvodstva xromisty`x splavov [Theory and technology of production of chromium alloys]. – Almaty, 2010. – 280 p.

9 **Dyatlova E. M., Klimosh Yu. A.** Ximicheskaya tehnologiya keramiki i ogneuporov [Chemical technology of ceramics and refractories]. Minsk, 2014.

10 **Karklit, A. K., Porin`sh, N. M., Katorgin, G. M., Norkina, A. S., Solominskaya, I. Y.** Ogneuporny`e izdeliya, materialy` i sy`r`e [Refractory products, materials and raw materials]. Metallurgiya. Moscow. 1991.

Материал поступил в редакцию 14.07.23.

\***Н. А. Ұлмағанбетов<sup>1</sup>, М. С. Алмағамбетов<sup>2</sup>,**

**О. В. Заякин<sup>3</sup>, М. С. Досекенов<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>ERG Ғылыми зерттеу инжинирингтік орталығы,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ;

<sup>3</sup>Металлургия институты, Ресей, Екатеринбург қ.

Материал 14.07.23 баспаға түсті.

### ФЕРРОҚОРЫТПА ӨНДІРІСІНІҢ ҚҰЮ ШӨМІШІНІҢ ФУТЕРОВКАСЫНЫҢ ТӨЗІМДІЛІГІН ОҢТАМАЛАНДЫРУ

*Бұл мақалада ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің негізгі мәселелерінің бірі қарастырылады. Атап айтқанда, төсемнің механикалық және жоғары температуралық жүктемелерге төзімділігі. Жұмыстың стандартты режимдері және төсемді ауыстыру жиілігі сипатталған. Қорғаныс қабатының оңтайлы құрамын табу үшін зертханалық зерттеулер жүргізілді. Сұйық металдың және шлақтың жанасуынан қаптаманы қорғауға арналған композициялардың бірнеше нұсқалары сынақтан өтті. Жұмыста қорғаныш отқа төзімді жабындарды қолдану бойынша әдебиеттерге шолу берілген. Құю шөміштерінің қорғаныш қабатын қолданудың орындылығы егжей-тегжейлі сипатталған. Мысал ретінде болат балқыту үшін қорғаныш жабындарын қолдану да келтірілген. Қазіргі уақытта отқа төзімді жабындар кең ауқымда бар, отқа төзімділігі 500 °C-тан 1900 °C-қа дейін. Мақалада алюминий, алюминосиликат, силикат, магнезит, хромит сияқты*

қазіргі уақытта қолданылатын әртүрлі типтер сипатталған. Бұл жұмыста қорғаныс жабындарын өндірістік жағдайларда, атап айтқанда жоғары көміртекті феррохром алу үшін құю шөміштерінде қолдану сипатталған. Қорғаныс жабындарының оңтайлы түрлері мен құрамы анықталады. Құю шөміштерін пайдаланудың стандартты режимдерімен және қорғаныс қабаты бар шөміштерді қолданумен салыстыру нәтижелері келтірілген.

Кілтті сөздер: феррохром, құю шөміші, қорғаныс қабат, футеровка, төзімділік

\*N. A. Ulmagambetov<sup>1</sup>, M. S. Almagambetov<sup>2</sup>, O. V. Zayakin<sup>3</sup>,  
M. S. Dossekenov<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Scientific Research Engineering Center of ERG,  
Republic of Kazakhstan, Aktobe;

<sup>3</sup>Institute of Metallurgy, Russian Federation, Ekaterinburg.  
Material received on 14.07.23.

### OPTIMIZATION OF THE LINING RESISTANCE OF THE FERROALLOY PRODUCTION POURING LADLES

This article includes one of the problems of casting ladles of ferroalloy production. It is the resistance of the lining to mechanical and high-temperature loads. The standard modes of operation and the frequency of replacement of the lining are described. Laboratory studies were carried out to find the quantitative composition of the protective layer. Several variants of compositions were tested to protect the lining from the contact of liquid metal and slag. The paper presents a literature review on the use of refractory coatings. The expediency of using the protective layer of pouring ladles is described in detail. The use of protective coatings for steelmaking is also presented as an example. At the moment, refractory coatings exist in an extensive range, with fire resistance in the range from 500 °C to 1900 °C. The article describes the different types used in modern times, such as aluminous, aluminosilicate, silicate, magnesite, chromite. This paper describes the use of protective coatings in industrial conditions, namely in casting ladles for the production of high-carbon ferrochrome. The optimal types and compositions of protective coatings are determined. The results of comparison with the standard modes of using pouring ladles and with the use of ladles with a protective layer are given.

Keywords: ferrochrome, pouring ladle, protective layer, lining, resistance

FTAMP 53.03.09

<https://doi.org/10.48081/XNZI9820>

**Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, \*Д. А. Есенғалиев<sup>2</sup>, О. Р. Сариев<sup>3</sup>,  
Е. Қ. Қуатбай<sup>4</sup>, Т. Т. Жунісқалиев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ;

<sup>4,5</sup>Қарағанды индустриалық университеті, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

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

### NI-FE-C-O ТӨРТ КОМПОНЕНТТІ ЖҮЙЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ- ДИАГРАММАЛЫҚ ТАЛДАУ ТҰРҒЫСЫНАН ЗЕРТТЕУ

Осы мақалада никельқұрамдас қорытпанының фазалық ауысуын және кешенді қорытпаның құрамын келтірілді. Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйесі құрылды және никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамын есептеуге арналған математикалық моделінің нәтижелері анықталды. Төрт компонентті Ni - Fe - C - O металдық жүйесі Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C жеке төрт металдық үш компоненттен жүйеден тұратыны анықталды және Ni - Fe - C - O төрттік жүйесінің қосылыстарының фазалық тепе-теңдігін талдау кезінде, қарастырып отырған төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұраты және Хица әдісі бойынша барлық көлемі есептеп шығарылды. Конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстарды ескеру арқылы қарапайым тетраэдрге бөлу кезінде олардың көлемі ( $V = 0,999989$ ) тең болды. Бұл есептің дұрыс есептелгенін көрсетеді. Никельқұрамдас қорытпаның құрамындағы элементтерді өзгерту арқылы, яғни Ni - 15 - 45 %; Fe 54,0 - 82,5 %; C 1,0 - 2,5 % болған кезде, қорытпаның фазалық құрамы Fe - Fe<sub>3</sub>C - Ni<sub>3</sub>Fe облысында орналасқаны дәлелденді.

Кілтті сөздер: термодинамикалық-диаграммалық талдау, никельқұрамдас қорытпа, фазалық құрам, көміртегітермиялық үрдіс, үш компонентті жүйе, төрт компонентті жүйе.

#### Кіріспе

Металлургияның теориясы мен практикасында температура және қысымға байланысты металлургиялық қайта өңдеуге қолданылатын материалдардың күйін зерттеу маңызды. Термодинамикалық-диаграммалық талдау, аты айтып тұрғандай, зерттелетін жүйеде химиялық байланысқа түсетін компоненттердің геометриялық диаграммамен біріктірілген термодинамикалық бағасы. Осындай комбинация химиялық заңдылықтың толық түсінуге мүмкіндігі береді. Сұйық фазада жағдайында термодинамикалық болжамды химиялық әрекеттесудің өтуі өте жоғары. Сондықтан қорытпа ішіндегі пайда болатын белгілі қосылыстарды диаграмма түрінде және химиялық реакциялардың мәндерін тепе-теңдік жағдайда термодинамикалық-диаграммалық кескінін анықтауға болады. Алайда, күрделі жүйелердегі процестерді дәстүрлі термодинамикалық зерттеу күрделі математикалық есептеулерді қолдануды талап етеді және көптеген тәуелсіз

реакциялардың термодинамикалық параметрлерін анықтау қажеттілігімен байланысты. Көбінесе реакциялардың Гиббс энергиясының өзгеруін анықтау үшін қажетті заттардың бірқатар қасиеттері туралы мәліметтер шектеулі немесе мүлдем мәлімет жоқ. Сондықтан да көп компонентті жүйедегі термодинамикалық талдау мүмкіндігі қиынға соғады және процестің аралық кезеңдерінің ерекшеліктерін ескермейді, өйткені ол тек процестің кіріс және шығыс параметрлерімен жұмыс жасайды.

Металлургиядағы процестерді дәстүрлі термодинамикалық зерттеуге балама ретінде термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісі болып табылады. Бұл әдіс Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институтында жасалған [1]. Осы әдістің ерекшелігі металлургиялық технологияға қолдану тұрғысынан аса тиімді, өйткені ол металлургиялық өндеуде қолданылатын шикізат материалдарының фазалық күйінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді [2]. Сонымен қатар, осы зерттеулердің түпкілікті нәтижесі металлургиялық қорытпалардың құрамына жақын жеке жүйедегі фазалық құрамның диаграммасы болып табылады. Диаграмма көмегімен металл және кож жүйелеріндегі фазалық өзгерістерін анық байқауға және заттардың соңғы күйін болжауға мүмкіндік береді. Көпкомпонентті жүйе үшін термодинамикалық-диаграммалық талдау арқылы қажетті қорытпаның химиялық құрамына байланысты фазалық құрамын анықтау жұмыстарын жеңілдетеді. Сондықтан да қарастырылып отырған Ni-Fe-C-O металдық жүйедегі қажетті фазалық құрамды термодинамикалық-диаграммалық талдау тұрғысынан зерттеу өзекті болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты** – металдық жүйе негізінде никельқұрамдас қорытпаның фазалық ауысу заңдылықтарын анықтау және күрделі қорытпа құрамның облысын есептеу.

**Материалдар мен әдістері.** Болат балқыту технологиясында қолданылатын никельқұрамдас қорытпа технологиясын жасау үшін, төрт компонентті Ni-Fe-C-O жүйесінің термодинамикалық қасиетін білу міндетті болып табылады.

Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйесінің диаграммасын құру үшін, осы жүйедегі түзілетін қосылыстардың Гиббс ( $\Delta G_{298}$ ) энергия мәнін анықтау қажет. Қосылыстардың  $\Delta G_{298}$  мәнін термодинамикалық сөздіктер көмегімен анықталды [3,4]. Алайда кейбір қосылыстар үшін  $\Delta G_{298}$  мәндері жоқ, сондықтан да стандартты жағдайда қандайда бір аралық қосылыстардың Гиббс энергиясының мәнін Гиббс-Гельмгольц теңдеуімен есептейді [5].

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0 \quad (1)$$

Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйе үшін термодинамикалық параметрлер есебі нәтижелері кесте 1 келтірілген.

Кесте 1 – Термодинамикалық параметрлер есебінің нәтижесі

№	Қосылыс	$\Delta G_{298}^0$	$\Delta S_{298}$	$\Delta H_{298}$
		кДж/моль	Дж/моль	Дж/моль
1	NiO	-211,597	37,99072	-239,7432
2	Ni <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	-509,132	157,93	-485,344
3	Ni <sub>3</sub> Fe	-67,917	168,84	-15,56448
4	Ni <sub>3</sub> C	25,104	106,2736	75,312
5	NiCO <sub>3</sub>	-617,926	86,1904	-694,544
6	FeO	-224,299	60,75168	-264,8472
7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-740,338	87,4456	-822,156
8	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-1014,164	146,18896	-1117,128
9	Fe <sub>3</sub> C	18,794	108,3656	25,104
10	FeCO <sub>3</sub>	-665,089	95,3952	-738,149648
11	CO	-137,143	197,543376	-110,524544
12	CO <sub>2</sub>	-394,380	213,67688	-393,513568

1 - ші кестеде нәтижесінен көріп тұрғанымыздай, Ni-Fe-C-O металдық жүйенің 12 аралық қарапайым қосылыстар түзіледі. Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйесі Fe-C-O, Ni-C-O, Ni-Fe-O, Ni-Fe-C жеке төрт металдық жүйеден тұрады. Үш компонентті ішкі жүйелердің төрт құрамдас бөлігінің субсолидтік құрылымынан шығатын шекаралық үштік жүйелер бойынша ұсынылған мәліметтер Ni-Fe-C-O жүйесінің тетраэдрінің шоғырлану кеңістігін элементарлы квазисистемаларға дұрыс бөлу үшін жеткілікті.

Ni-Fe-C-O жүйесінде кристалдану облыстарын анықтау үшін, конгруэнтты қосылыстардың координаттары 2-ші кестеде келтірілген. Жүйеде 16 конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қарапайым және күрделі қосылыстар түзіледі. Жоғарыда келтірілген үштік жүйелер нәтижелеріне сүйене отырып, Ni-Fe-C-O тетраэдрды анықтау үшін, көршілес орналған үшбұрыштарды жазу арқылы орнату оңайырақ. Әрі қарай сәйкес үшбұрышты қорытындылау арқылы зерттелетін төрттік жүйенің нәтижесінде тетраэдр шығарылады. Содан соң осы төртбұрыштың құрамдас бөліктерінің бірін шегерту арқылы, іргелес келесі төртбұрышты табу үшін жалпы жүйенің ішкі жүйесінің үшбұрышына дейін азайтуға болады.

Кесте 2 – Ni-Fe-C-O жүйесіндегі конгруэнтті және инконгруэнтті металдық қосылыстар және олардың координаттары

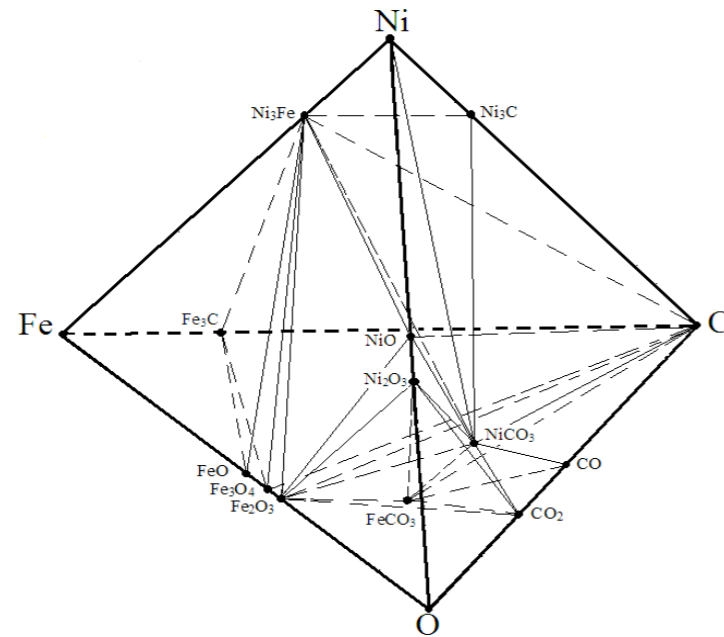
№р/р	Қосылыстар	Массалық құрам негізіндегі координаттар			
		Ni	Fe	C	O
1	Ni	1000	0	0	0
2	Fe	0	1000	0	0
3	C	0	0	1000	0
4	O	0	0	0	1000
5	NiO	786	0	0	214
6	FeO	0	778	0	222
7	Ni <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	710	0	0	290
8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	700	0	300
9	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0	724	0	276
10	Ni <sub>3</sub> Fe	759	241	0	0

11	Ni <sub>3</sub> C	936	0	64	0
12	Fe <sub>3</sub> C	0	933	67	0
13	CO	0	0	428	572
14	CO <sub>2</sub>	0	0	273	727
15	NiCO <sub>3</sub>	495	0	101	404
16	FeCO <sub>3</sub>	0	483	103	414

1 – суретте Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстардың тетраэдрация нәтижесі келтірілген.

Жоғарыда келтірілген үштік жүйелер нәтижелеріне сүйене отырып, Ni-Fe-C-O тетраэдрды анықтау үшін, көршілес орналған үшбұрыштарды жазу арқылы орнату оңайырақ. Әрі қарай сәйкес үшбұрышты қорытындылау арқылы зерттелетін төрттік жүйенің нәтижесінде тетраэдр шығарылады. Содан соң осы төртбұрыштың құрамдас бөліктерінің бірін шегерту арқылы, іргелес келесі төртбұрышты табу үшін жалпы жүйенің ішкі жүйесінің үшбұрышына дейін азайтуға болады. 1 - суретте Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстардың тетраэдрация нәтижесі келтірілген.

Суреттен көріп тұрғанымыздай, диаграмманы құру кезінде никель және темірдің карбидтері мен карбонаттары ескерілді. Осы диаграмманы және оның фазалық құрылымын қабылдауды жеңілдету үшін оны құрамдас бөліктерге бөлдік. Трансформация коэффициенттері бастапқы компоненттер бойынша (химиялық құрамы бойынша) фазалық құрамды анықтауға арналған Хиза әдісімен есептелінді [6].



Сурет 1 – Ni-Fe-C-O жүйесінің жалпы көрінісі

Никельқұрамдас қорытпалардың фазалық құрамын анықтау үшін Ni-Fe-C-O төрттік жүйесінің қосылыстарының фазалық тепе-теңдігін талдау кезінде, қарастырып отырған төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұрады және олардың қарапайым көлемдері (тетраэдр көлемдерінің жалпы суммасы 1-ге тең) 3 -ші кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі қарапайым тетраэдр тізімі және олардың сәйкес көлемдері

№ p/p	Тетраэдрлар	Қарапайым көлемдер
1	2	3
1.	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Ni <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -O-CO <sub>2</sub>	0,135682
2.	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Ni <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -FeCO <sub>3</sub> -CO <sub>2</sub>	0,009130
3.	NiCO <sub>3</sub> -FeCO <sub>3</sub> -CO-CO <sub>2</sub>	0,037058
4.	NiCO <sub>3</sub> -FeCO <sub>3</sub> -C-CO	0,136757
5.	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C-Ni <sub>3</sub> Fe	0,018216
6.	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>3</sub> C-C-Ni <sub>3</sub> Fe	0,195449
7.	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>3</sub> C-FeO-Ni <sub>3</sub> Fe	0,002746
8.	Fe-Fe <sub>3</sub> C-FeO-Ni <sub>3</sub> Fe	0,011289
9.	NiCO <sub>3</sub> -C-Ni <sub>3</sub> C-Ni <sub>3</sub> Fe	0,091133
10.	NiCO <sub>3</sub> -Ni-Ni <sub>3</sub> C-Ni <sub>3</sub> Fe	0,006231
1	2	3
11.	NiCO <sub>3</sub> -Ni-NiO-Ni <sub>3</sub> Fe	0,005209
12.	NiCO <sub>3</sub> -Ni <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -NiO-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,005373
13.	Ni <sub>3</sub> Fe-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -C-NiO	0,170526
14.	NiCO <sub>3</sub> -Ni <sub>3</sub> Fe-C-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,175190
Сумма		0,999989

1 – суретте және 3 – кестеден нәтижелеріне көріп тұрғанымыздай, Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйені конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстарды ескеру арқылы қарапайым тетраэдрге бөлу кезінде олардың көлемі 0,999989 тең болғанын көруге болады. Бұл тетраэдрацияның дұрыстығын растайды.

Қорытпа құрамының квазижүйелердің бірінде орналасу критеріесін Хиза тендеуі бойынша есептелген белгілі бір политоптың екінші компоненттерінің n-ші санының бар барлық коэффициенттерінің оң мәндері болып табылады [7–10]. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, кесте 4-те Хиза әдісі бойынша есептеген базалық тетраэдрдің 14 конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын квази-жүйелерінің әрбір екінші компоненті үшін коэффициенттері келтірілген.

Кесте 4 – Қарапайым тетраэдрлардың тізімі, олардың көлемі және Ni-Fe-C-O жүйесіндегі екінші компоненттер тепе-теңдігін есептеуге арналған коэффициенттер

бастапқы компоненттер	коэффициенттер	Тетраэдрлар, олардың көлемі және трансформациялау коэффициенттері						
		1	2	3	4	5	6	7
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -O-CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -FeCO <sub>3</sub> -CO <sub>2</sub>	NiCO <sub>3</sub> -FeCO <sub>3</sub> -CO-CO <sub>2</sub>	NiCO <sub>3</sub> -FeCO <sub>3</sub> -C-CO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C-Ni <sub>3</sub> Fe	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>3</sub> C-C-Ni <sub>3</sub> Fe	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Fe <sub>3</sub> C-C-Ni <sub>3</sub> Fe
көлемдер		0,13568	0,009130	0,037058	0,136757	0,018216	0,19545	0,00275
Ni	a <sub>1</sub>	0	10,25422	0	0	-3,96904	0	1,30537
	a <sub>2</sub>	1,40845	0	0	0	3,65151	-0,34032	0
	a <sub>3</sub>	-0,40845	-14,8612	-1,76129	-0,74825	0	0,02280	-1,62290
	a <sub>4</sub>	0	5,60697	2,76129	1,74825	1,31752	1,31752	1,31752
Fe	b <sub>1</sub>	1,42857	-2,96609	0	0	12,5000	0	-4,11111
	b <sub>2</sub>	0	0	2,07039	2,07039	-11,5000	1,07181	0
	b <sub>3</sub>	-0,42857	6,36908	0,50946	0,42811	0	-0,07181	5,11111
	b <sub>4</sub>	0	-2,40299	-1,57986	-1,49850	0	0	0
C	c <sub>1</sub>	0	-27,3070	0	0	0	0	57,2488
	c <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	14,9254
	c <sub>3</sub>	-2,66300	39,57539	4,69032	1	1	1	-71,1741
	c <sub>4</sub>	3,66300	-11,2684	-3,69032	0	0	0	0
O	d <sub>1</sub>	0	-4,18834	2,02020	2,02020	-29,1666	3,62319	14,4074
	d <sub>2</sub>	0	1,40845	0	0	30,1666	-2,81156	0
	d <sub>3</sub>	1	6,07006	0,48048	0,40665	0	0,18837	-13,4074
	d <sub>4</sub>	0	-2,29017	-1,50068	-1,42686	0	0	0

бастапқы компоненттер	коэффициенттер	Тетраэдрлар, олардың көлемі және трансформациялау коэффициенттері						
		8	9	10	11	12	13	14
		Fe-Fe <sub>3</sub> C-FeO-Ni <sub>3</sub> Fe	NiCO <sub>3</sub> -C-Ni <sub>3</sub> C-Ni <sub>3</sub> Fe	NiCO <sub>3</sub> -Ni-Ni <sub>3</sub> C-Ni <sub>3</sub> Fe	NiCO <sub>3</sub> -Ni-NiO-Ni <sub>3</sub> Fe	NiCO <sub>3</sub> -Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -NiO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni <sub>3</sub> Fe-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C-NiO	NiCO <sub>3</sub> -Ni <sub>3</sub> Fe-C-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
көлемдер		0,011289	0,09113	0,006231	0,005209	0,005373	0,170526	0,175190
Ni	a <sub>1</sub>	-0,31752	0	0	0	0	0,87846	0,28870
	a <sub>2</sub>	0	-0,06838	1	1	-2,81579	-0,30244	1,12924
	a <sub>3</sub>	0	1,06838	0	0	3,81579	0	-0,02916
	a <sub>4</sub>	1,31752	0	0	0	0	0,42398	-0,38878
Fe	b <sub>1</sub>	1	0	0	0	0	1,38278	-0,90922
	b <sub>2</sub>	0	0,21534	-3,14938	-3,14938	-4,43233	0,95250	0,59297
	b <sub>3</sub>	0	-3,36472	0	0	4,00376	0	0,09183
	b <sub>4</sub>	0	4,14938	4,14938	4,14938	1,42857	-1,33528	1,22442
C	c <sub>1</sub>	-13,9254	0	0	9,90099	9,90099	0	0
	c <sub>2</sub>	14,9254	1	-14,6250	9,79060	-27,56827	0	0
	c <sub>3</sub>	0	0	15,6250	-18,69159	18,66728	1	1
	c <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0
O	d <sub>1</sub>	-3,50450	2,47525	2,47525	0	0	-3,22649	2,12152
	d <sub>2</sub>	0	-0,16622	2,43100	-3,67290	10,34210	1,11083	-1,38360
	d <sub>3</sub>	4,50450	-1,30903	-3,90625	4,67290	-9,34210	0	-0,21427
	d <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	3,11565	0,47635

Нәтижелер және талқылау. Никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамын анықтау үшін термодинамикалық-диаграммалық талдау нәтижесінің қолдану арқылы, яғни 4-ші кестеде келтірілген әр жеке тетраэдрдің коэффициенттеріне сәйкес никельқұрамды қорытпаның химиялық құрамын (100%-ға тең етіп бөліну қажет) қойып есептейді. Нәтижесінде есептеу барысында нормативті-фазалық құрамы оң мәнге ие болса, қорытпа құрамы сол жеке тетраэдрда орналасады.

5 - ші кестеде әр түрлі химиялық құрамға ие никельқұрамдас қорытпаның химиялық құрамы және фазалық құрамы келтірілген.

Кесте 5 – Никельқұрамдас қорытпаның химиялық және фазалық құрамы

Материал	Химиялық құрамы, %			Фазалық құрамы, %		
	Ni	Fe	C	Fe	Fe <sub>3</sub> C	Ni <sub>3</sub> Fe
Қорытпа-1	15,0	82,5	2,5	42,923	37,314	19,763
Қорытпа-2	25,0	78	2	37,212	29,850	32,938
Қорытпа-3	35,0	63,5	1,5	31,499	22,388	46,113
Қорытпа-4	45,0	54,0	1,0	25,787	14,925	59,288

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамы Fe-Fe<sub>3</sub>C-Ni<sub>3</sub>Fe қосылыстардан тұратын облыста орналасқан.

**Қорытынды**

Никельқұрамдас қорытпа құрамын модельдеуге арналған Ni-Fe-C-O төрттік компонентінің жүйесі жасалды. Термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісінің есептеу шарттары келтірілді.

Термодинамикалық-диаграммалық талдау нәтижесі бойынша Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұрады. Ni-Fe-C-O жүйесіндегі бөлінген қарапайым тетраэдрлардың көлемі (V= 0,999989) тең болды.

Ni-Fe-C-O жүйесінің квазикөлемдері арқылы никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамдары анықталды. Нәтижесінде никельдің әр түрлі химиялық құрамы кезінде фазалық құрамы Ni<sub>3</sub>Fe-Fe-Fe<sub>3</sub>C облысында орналасқан.

**Қаржыландыру**

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу шеңберінде орындалды. (грант № АР19679501).

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 Габдуллин, Т. Г., Такенов, Т. Д., Байсанов, С. О., Букетов, Е. А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 232 с.

2 Kelamanov, B., Samuratov, Ye., Akuov, A., Sariev, O., Tastanova, L., Abdirashit, A. Thermodynamic-diagram analysis of Fe-Ni-C-O system // Metalurgija. – 2022. № 61(1), P. 261–264.

3 Глушко, В. П. Термимические константы веществ. – М. : Академия Наук СССР. Выпуск I, 1965. – 131 с.

4 Глушко, В. П. Термические константы веществ. – М. : Академия Наук СССР. Выпуск IV, Часть 2, 1971. – 391 с.

5 Морачевский, А. С., Сладков, И. В. Термодинамические расчеты в металлургии // Справочник М. :Металлургия. 1985. – 137 с.

6 Heath, D. L. Mathematical Treatment of Multicomponent Systems // Journal Amer. Ceram. Soc. – 1957. Vol. 40, № 2, P. 50–53.

7 Yessengaliyev, D., Baisanov, S., Issagulov, A., Baisanov, A., Zayakin, O., Abdirashit, A. Thermodynamic diagram analysis (TDA) of MnO-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> and phase composition of slag in refined ferromanganese production // Metalurgija. – 2019. № 58 (3–4), P. 291–294.

8 Makhambetov, Y., Timirbayeva, N., Baisanov, S. Baisanov, A., Shabanov, E. Thermodynamic modeling of phase composition for Fe-Ca-Si-Al system // Metalurgija. – 2021. № 60 (1–2), P. 117–120.

9 Makhambetov, Y. E., Abdirashit, A., Kuvatbay, Y. E., Mukhambetkaliyev, A., Abishkenov M. M. Thermodynamic diagrammatic analysis (TDA) of the system Al-Si-Mn-Fe // Metalurgija. – 2022. № 61 (3–4), P. 807–809.

10 Tolokonnikova, V., Baisanov, S., Narikbayeva, G., Korsukova, I., Mukhambetkaliyev, Y. Modeling method of phase equilibrium in metal-slag system // Metalurgija. – 2021. № 60 (3–4), P. 292–294.

## REFERENCES

1 Gabdullin, T. G., Takenov, T. D., Bajsanov, S. O., Buketov, E. A. Fiziko-himicheskie svojstva margancevyh shlakov [Physico-chemical properties of manganese slags] [Text]. – Alma-Ata, 1984. – 232 p.

2 Kelamanov, B., Samuratov, Ye., Akuov, A., Sariev, O., Tastanova, L., Abdirashit, A. Thermodynamic-diagram analysis of Fe-Ni-C-O system // Metalurgija. – 2022. № 61(1), P. 261–264.

3 Glushko, V. P. Termimicheskie konstanty veshchestv [Thermal constants of substances] [Text]. – Moscow : Akademiya Nauk SSSR. Vypusk I, 1965. – 131 p.

4 Glushko, V. P. Termimicheskie konstanty veshchestv [Thermal constants of substances] [Text]. – Moscow : Akademiya Nauk SSSR. Vypusk IV, Chast 2, 1971. – 391 p.

5 Morachevskij, A. S., Sladkov, I. V. Termodinamicheskie raschety v metallurgii [Thermodynamic calculations in metallurgy] [Text] Moscow: Metallurgiya. 1985. – 137 p.

6 Heath, D. L. Mathematical Treatment of Multicomponent Systems // Journal Amer. Ceram. Soc. – 1957. Vol. 40, № 2, P. 50–53.

7 Yessengaliyev, D., Baisanov, S., Issagulov, A., Baisanov, A., Zayakin, O., Abdirashit, A. Thermodynamic diagram analysis (TDA) of MnO-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> and phase composition of slag in refined ferromanganese production // Metalurgija. – 2019. № 58 (3–4), P. 291–294.

8 Makhambetov, Y., Timirbayeva, N., Baisanov, S. Baisanov, A., Shabanov, E. Thermodynamic modeling of phase composition for Fe-Ca-Si-Al system // Metalurgija. – 2021. № 60 (1–2), P. 117–120.

9 Makhambetov, Y. E., Abdirashit, A., Kuvatbay, Y. E., Mukhambetkaliyev, A., Abishkenov M. M. Thermodynamic diagrammatic analysis (TDA) of the system Al-Si-Mn-Fe // Metalurgija. – 2022. № 61 (3–4), P. 807–809.

10 Tolokonnikova, V., Baisanov, S., Narikbayeva, G., Korsukova, I., Mukhambetkaliyev, Y. Modeling method of phase equilibrium in metal-slag system // Metalurgija. – 2021. № 60 (3–4), P. 292–294.

Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, \*Д. А. Есенгалиев<sup>2</sup>, О. Р. Сариев<sup>3</sup>,

Қ. Қуатбай<sup>4</sup>, Т. Т. Жунісқалиев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ақтөбінский региональный университет имени К. Жубанова, Республика Казахстан, г. Ақтөбе;

<sup>4,5</sup>Қарағандинский индустриальный университет, Республика Казахстан, г. Темиртау.

Материал поступил в редакцию 16.07.23.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ NI-Fe-C-O С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ-ДИАГРАММНОГО АНАЛИЗА

*В данной статье приведены фазовые переходы никельсодержащего сплава и состав комплексного сплава. Создана четырехкомпонентная система Ni-Fe-C-O и определены результаты математической модели расчета фазового состава никельсодержащего сплава. Было обнаружено, что четырехкомпонентная металлическая система Ni - Fe - C - O состоит из четырех отдельных металлических трехкомпонентных систем Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C, и при анализе фазового равновесия соединений четвертичной системы Ni - Fe - C - O, рассматриваемая четырехкомпонентная система состоит из 14 тетраэдров и рассчитана по методу Хизы весь объем. Разбивка общей системы осуществлена с учетом конгруэнтных и инконгруэнтных соединений. Сумма относительных объемов элементарных тетраэдров равна ( $V=0,999989$ ), что подтверждает верность проведенной тетраэдриции. Было доказано, что при изменении элементов в составе никельсодержащего сплава, т. е. Ni - 15-45 %; Fe 54,0 - 82,5 %; C 1,0 - 2,5 %, фазовый состав сплава находится в области Fe - Fe<sub>3</sub>C - Ni<sub>3</sub>Fe.*

*Ключевые слова: термодинамически-диаграммный анализ, никельсодержащий сплав, фазовый состав, карботермический процесс, трехкомпонентная система, четырехкомпонентная система.*

*B. S. Kelamanov*<sup>1</sup>, \**D. A. Yessengaliyev*<sup>2</sup>, *O. R. Sariev*<sup>3</sup>,  
*Ye. K. Kuatbai*<sup>4</sup>, *T. T. Zhuniskaliyev*<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>К. Zhubanov Aktobe regional university, Republic of Kazakhstan, Aktobe;

<sup>4,5</sup>Karaganda industrial university, Republic of Kazakhstan, Temirtau.

Material received on 16.07.23

#### STUDY OF THE FOUR-COMPONENT NI-Fe-C-O SYSTEM FROM THE POINT OF VIEW OF THERMODYNAMIC-DIAGRAM ANALYSIS

*This article presents the phase transitions of a nickel-containing alloy and the composition of a complex alloy. A four-component Ni-Fe-C-O system was created and the results of a mathematical model for calculating the phase composition of a nickel-containing alloy were determined. It was found that the four-component metal system Ni - Fe - C - O consists of four separate metal three-component systems Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C, and when analyzing the phase equilibrium of compounds of the quaternary system Ni - Fe - C - O, the considered four - component system consists of 14 tetrahedra and is calculated by the Hiza method of the entire volume . The breakdown of the general system is carried out taking into account congruent and incongruent compounds. The sum of the relative volumes of elementary tetrahedra is equal to ( $V=0.999989$ ), which confirms the correctness of the tetrahedron. It was proved that when the elements in the composition of a nickel-containing alloy change, i.e. Ni - 15-45%; Fe 54.0 - 82.5%; C 1.0 - 2.5%, the phase composition of the alloy is in the Fe - Fe<sub>3</sub>C - Ni<sub>3</sub>Fe region.*

*Keywords: thermodynamic-diagram analysis, nickel-containing alloy, phase composition, carbothermic process, three-component system, four-component system.*

МРНТИ 53.31.15

<https://doi.org/10.48081/OVIQ4178>

\**Б. Т. Сулеймен*<sup>1</sup>, *Н. Ы. Косдаулетов*<sup>2</sup>, *Г. А. Адилев*<sup>3</sup>,  
*А. С. Ержанов*<sup>4</sup>, *П. А. Гамов*<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

<sup>5</sup>Южно-Уральский государственный университет,  
Российская Федерация, г. Челябинск.

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

#### КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ЛИСАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Настоящее исследование посвящено изучению особенностей оолитовой железной руды Лисаковского месторождения. Проведены эксперименты по разложению оолитовой руды в атмосфере воздуха с одновременным контролем температуры и массы образца. Общая потеря массы при обжиге составила практически 15 %. Детальная характеристика химического состава и минералогии сырой и обожженной руды была проведена с использованием оптической и электронной микроскопии, методом рентгенофазового анализа с помощью дифрактометра. Выявлено, что главным рудным минералом оолитовой руды является гётит, который после окислительного обжига трансформируется в гематит. Другим рудным минералом является магнетит, среди неметаллических минералов встречается кварц. Фосфор присутствует в виде гидрофосфата железа и фосфата алюминия. Построена карта распределения основных элементов в исходной руде. Подтверждено, что оолиты образованы преимущественно оксидами железа, присутствуют фазы пустой породы, состоящие в основном из оксидов кремния, кроме того, встречаются и комплексные оксидные фазы, где присутствуют несколько элементов (Fe, Si, Al). Полученные данные могут быть полезны для разработки теории и технологии пирометаллургической переработки оолитовых железных руд с высоким содержанием фосфора.*

*Ключевые слова: железа, железная руда, гётит, гематит, оолит, фосфор, Лисаковское месторождение, окислительный обжиг.*

#### Введение

Оолитовая железная руда представляет собой одно из наиболее значимых природных ресурсов, играющих важную роль в мировой промышленности. На сегодняшний день существуют огромное количество месторождений оолитовой железной руды: Корби (Великобритания), Гара-Джебилет (Алжир), Лотарингии (Франция), Альберта (Канада), Вади-Фатима (Саудовская Аравия), Пезу (Пакистан), Рамим (Израильско-ливанская граница), Агбая (Нигерия), Ехi (Китай) [1–8]. По литературным данным запасы оолитовых железных руд составляют около 10 млрд.

т в Китае, 140 млн. т. в странах Европы, и 66 млн. т. в Пакистане [8–10]. Одним из крупнейших месторождений железной руды в России и мире является Бакчарское месторождение, запасы которого составляют 28,7 млрд. т. [11]. Бурожелезняковые руды Лисаковского и Аятского месторождения составляют более 6 млрд. тонн и представляют более 60 % запасов всех железорудных месторождений Республики Казахстан [12–13].

Лисаковское железорудное месторождение, расположенное на правом берегу р. Тобол в Костанайской области, является одним из крупнейших и наиболее изученных источников оолитовой руды. Месторождение открыто в 1949 году Уральским геологическим управлением, а с 1970 года разрабатывается открытым способом, что обеспечивает более дешевую добычу руды. Запасы руды, с утвержденными в ГКЗ, оценены по следующим категориям: А+В+С1, со средним содержанием железа 35,4 %, составляют 1728,2 млн т; С2, содержащей около 25,56 % железа, составляют 1158,36 млн т. Забалансовые руды, со средним содержанием железа 25,56 %, составляют 3031,6 млн т. Главным минералом лисаковских руд является гидрогетит. Лисаковские руды представляют собой рыхлую смесь оолитов бурого железняка и зерен кварцевого песка с низким содержанием железа (30–40% Fe), повышенным количеством фосфора (0,8–1,2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и глинозема (4–5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [15–17].

Целью данной работы является комплексное исследование состава и структурных особенностей железной руды Лисаковского месторождения и процессов преобразования её структурных составляющих при прокаливании. Результаты исследования могут быть полезны для проектирования и разработки технологических схем обогащения и последующей переработки, а также для принятия решений о дальнейшей эксплуатации и развитии Лисаковского месторождения.

#### Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрана рыхлая оолитовая руда Лисаковского месторождения крупностью до 1 мм. Комплексное исследование исходного материала включало исследование элементного и минерального состава частиц, преобразований руды при нагреве, построение карт распределение элементов в частицах руды.

Для изучения последовательности преобразований в руде при нагреве провели эксперименты во взвешивающей муфельной печи Nabertherm с возможностью непрерывного контроля температуры и массы образца. При этом, в рабочую зону печи помещали корундовый тигель, в который засыпали порошок руды, нагревали со скоростью 250 °С/час до температуры 1200 °С и выдерживали в течение 1 часа. Для исследования на оптическом и электронном микроскопах образцы исходной и обожженной руд заливали эпоксидной смолой, шлифовали и полировали. Химический состав структурных элементов образцов определяли на электронном микроскопе JSM-6460LV фирмы JEOL с использованием энергодисперсионного анализатора фирмы Oxford Instruments для определения элементного состава в точках и по площади микрорентгеноспектральным методом.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре «Rigaku Ultima IV». Полученные дифрактограммы расшифровали с помощью программы «Match! 3».

#### Результаты и обсуждения

На рисунке 1 представлены результаты контроля массы рудного образца при нагреве, а на рисунке 2 – результаты расшифровки рентгенограммы образцов руды до и после обжига.

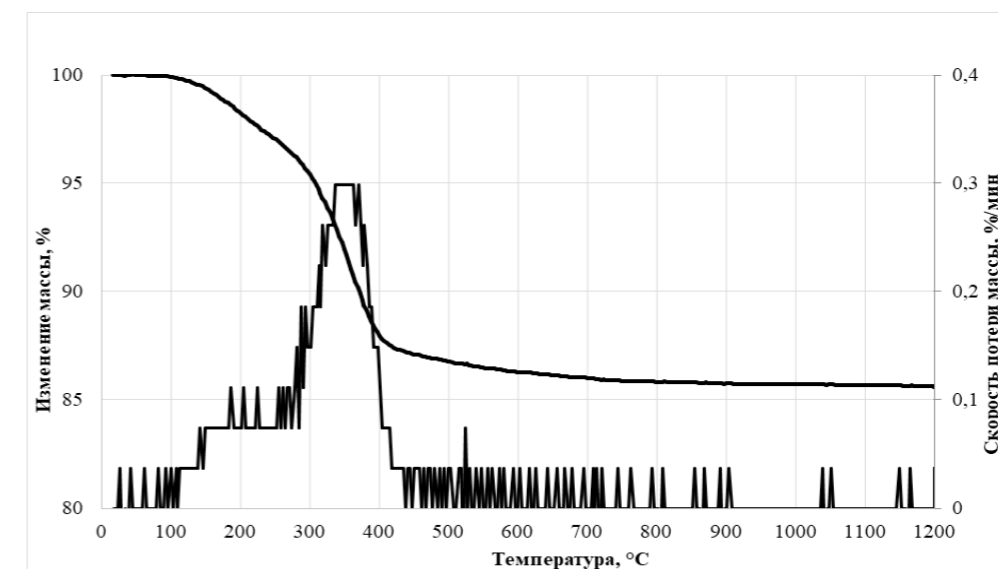


Рисунок 1 – Изменение массы исходного материала при обжиге в атмосфере воздуха

На графике изменения массы от температуры (рис.1) можно выделить четыре характерных участка: менее 320 °С, от 320 °С до 430 °С, от 430 °С до 900 °С и более 900 °С. Учитывая минеральный состав исходной руды, можно предполагать, что на первом участке происходит диссоциация гидроксидов железа [18], на втором участке – диссоциация карбонатов железа и более прочных карбонатов кальция и магния, а на третьем участке разложения гидрофосфата алюминия, также выгорание природного углерода [19]. Повышение температуры выше 900 °С сопровождается незначительной потерей массы руды, при продолжительной выдержке (1 час) при температуре 1200 °С, масса концентрата не изменяется. Общее изменение массы составило 14,5 %. При анализе графика зависимости скорости изменения массы руды от температуры, видны 2 пика скорости. При температуре 186 °С скорость потери массы составляет 0,111 %/мин, а при температуре 337 °С выявляется максимум скорости потери массы и достигает 0,299 %/мин. В температурном интервале 525–1200 °С скорость потери массы составляет от 0,075 до 0 %/мин.



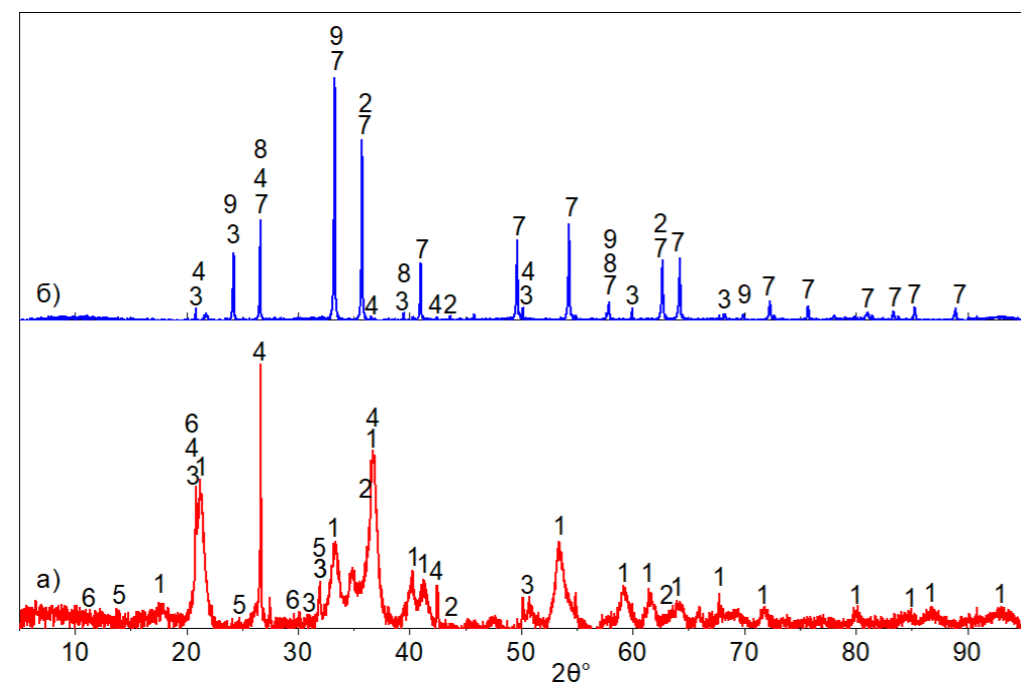


Рисунок 2 – Рентгенограмма исходной (а) и обожженной (б) руды

Фазы: 1 – FeO(OH), 2 – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, 3 – SiO<sub>2</sub>, 4 – AlPO<sub>4</sub>, 5 – FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 6 – CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 7 – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8 – FePO<sub>5</sub>, Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Основными фазами исходной руды являются гётит FeO(OH), магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и кварц SiO<sub>2</sub>, помимо основных фаз выявляются соединения AlPO<sub>4</sub>, FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (рис. 2а). После окислительного обжига выявляются фазы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FePO<sub>5</sub> и Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Согласно результатам рентгенофазового анализа, при окислительном нагреве гётит FeO(OH) теряет воду и превращается в гематит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Фосфор в продукте обжига присутствует в виде соединений FePO<sub>4</sub> и AlPO<sub>4</sub> (рис. 2б).

Использование оптического и электронного микроскопов позволило выявить структурные компоненты руды и проанализировать происходящие в них изменения при окислительном нагреве.

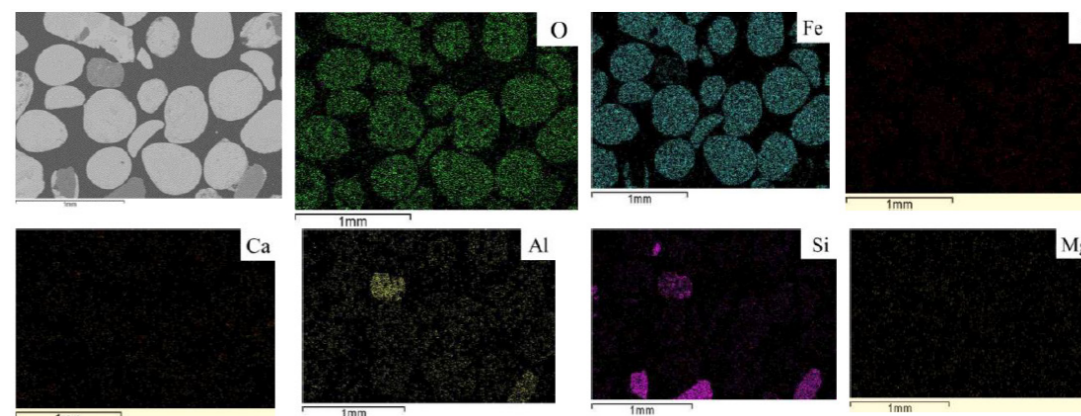


Рисунок 3 – Карты распределения элементов в исходной руде.

На рисунке 3 представлены карты распределения в исходной руде основных элементов, которые присутствуют в значительном количестве. Видно, что часть элементов (O, Fe, Si, Al) визуально можно соотнести со структурными элементами, представленными на фотографии. Так, оолиты образованы преимущественно оксидами железа. Другие фазы состоят, в основном, из оксидов кремния и алюминия. Кроме того, встречаются и комплексные фазы, где присутствуют сразу несколько элементов (Fe, Si, Al). Фосфор, кальций и магний распределены практически равномерно по всей площади фотографии, и их практически невозможно отнести к какой-то конкретной фазе.

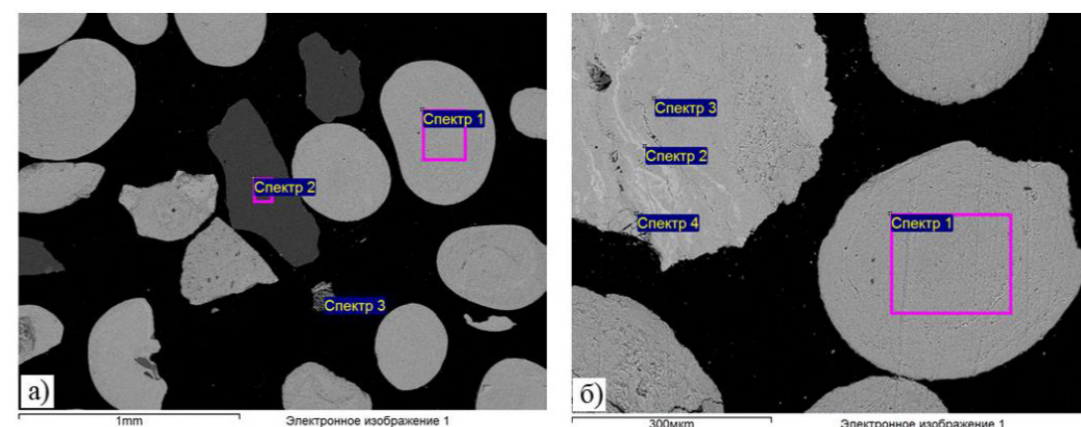


Рисунок 4 – Структурные элементы исходной руды

На рисунки 4 и 5 представлены фотографии с областями микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих в исходном и обожжённом образцах, а результаты микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих представлены в таблице 1 и 2. На рисунке 4а можно увидеть фазы оолита (спектр 1), которые имеют круглую форму, также фазы кварца (спектр 2) и комплексных оксидов (спектр 3). После окислительного

обжига оолиты не разрушаются, имеют также круглую форму, но появляются трещины (рис. 5).

Таблица 1 – Химический состав исходной руды (ат. %)

Спектр	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Co	Cu	Zr
1a	70,6	–	2,6	1,0	0,4	0,1	–	–	–	24,9	0,2	–	0,2
2a	67,8	–	–	32,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3a	67,7	–	8,7	12,5	–	7,6	0,1	0,1	–	3,3	–	–	–
1б	70,0	0,3	2,0	1,6	0,6	0,1	–	–	0,1	25,2	0,1	–	–
2б	64,9	–	–	–	–	0,1	–	–	0,1	34,6	0,3	–	–
3б	70,0	–	–	–	–	0,1	–	–	0,2	29,4	0,2	0,1	–
4б	68,2	–	–	0,2	–	–	–	–	0,1	31,4	0,1	–	–

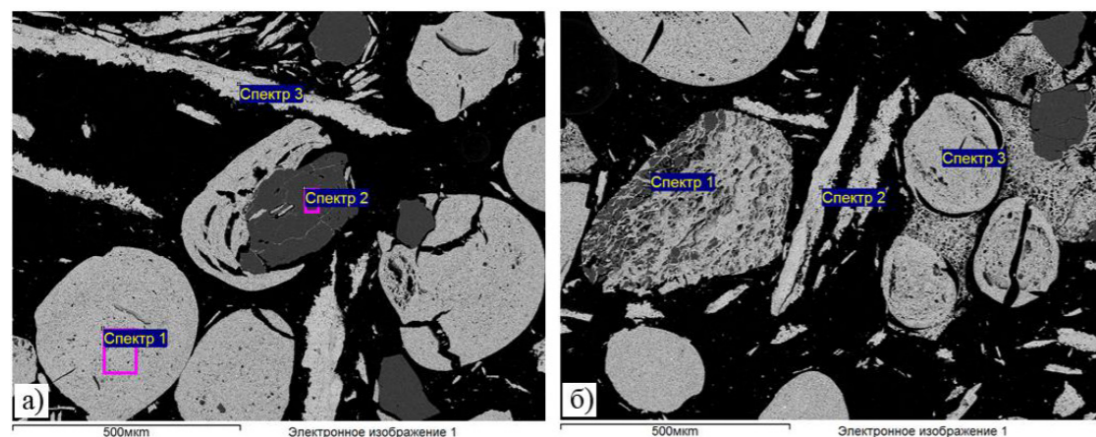


Рисунок 5 – Структурные элементы обожженного образца

Таблица 2 – Химический состав обожженной руды (ат. %)

Спектр	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Zr
1a	61,8	0,3	2,2	1,6	0,3	0,2	–	–	0,1	33,2	0,2	–	0,1
2a	67,7	–	–	32,2	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–
3a	54,2	–	0,6	0,2	–	–	–	0,7	0,7	43,1	0,3	0,2	–
1б	69,4	–	0,8	27,6	–	0,1	–	–	–	2,1	–	–	–
2б	54,1	–	–	5,5	–	–	0,6	12,6	0,4	19,6	–	7,2	–
3б	53,5	–	4,2	2,4	0,3	0,2	–	0,1	0,1	38,8	0,2	–	0,2

Из таблицы 2 следует, что при окислительном обжиге за счет удаления H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>, количество кислорода в обожженной руде снижается, а количество остальных элементов увеличивается пропорционально. В таблицах 1 и 2 в точках 2a можно увидеть чистый диоксид кремния.

В результате окислительного обжига в оолитовой руде Лисаковского месторождения магнитные свойства не появляются. Показано что обжиг не привёл к механическому разрушению оолитов, однако в них появились небольшие трещины.

**Выводы**

1 По результатам рентгенофазового анализа определены основные фазы оолитовой железной руды Лисаковского месторождения, такие как гетит, магнетит и кварц.

2 Микрорентгеноспектральной анализ структурных составляющих в исходном и обожжённом образцах показал содержание следующих элементов: Fe, Al, Si, Mg, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zr.

3 Фосфор в руде распределен равномерно и находится в виде гидрофосфата железа, а также фосфата алюминия, после обжига уже в виде фосфата железа и алюминия.

4 В результате обжига в атмосфере воздуха гетит теряет кристаллохимическую воду и превращается в гематит, происходит диссоциация карбонатов и более прочных карбонатов кальция и магния, разложения гидрофосфата алюминия, также выгорание природного углерода.

**Финансирование**

Данная работа выполнена в рамках исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19579175).

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Varoquaux, Jean-Arthur, G., and Eugene.** French Iron Ore Deposits, Les Gisements De Minerai De Fer Français.// Annales des Mines. – 1980. Vol. 186, № 7–8, P. 135–154.

2 **Manieh, A. A.** «Oolite Liberation of Oolitic Iron Ore, Wadi Fatima, Saudi Arabia» //International Journal of Mineral Processing. – 1984. Vol.13, № 3, P. 187–192.

3 **Manieh, A. A.** Upgrading of Wadi Fatima Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1986. Vol.17, № 1–2, P. 151–157.

4 **Weissberger, S., and Zimmels, Y.** Studies on Concentration and Direct Reduction of the Ramim Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1983. Vol.11, № 2, P. 115–130.

5 **Petruk, W.** Mineralogical Characteristics of an Oolitic Iron Deposit in the Peace River District, Alberta // Canadian Mineralogist. – 1977. Vol. 15, P. 3–13.

6 **Adedeji F. A. and Sale F. R.** Characterization and reducibility of Itakpe and Agbaja (Nigerian) iron ores // Clay Miner. –1984. Vol. 19, P. 843.

7 **Sun Y. S., Gao P., Han Y. X., and Ren D. Z.** Reaction behavior of iron minerals and metallic iron particles growth in coal-based reduction of an oolitic iron ore// Ind. Eng. Chem. Res. – 2013 Vol. 52, P. 2323.

8 **Abro M. I., Pathan A. G., and Mallah A. H.** Liberation of oolitic hematite grains from iron ore // Dilband Mines Pakistan, Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol. – 2011, Vol. 30, P. 329.

9 **Wu J., Wen Z. J., and Cen M. J.** Development of technologies for high phosphorus oolitic hematite utilization// Steel Res. Int. – 2011, Vol. 82, P. 494.

10 **Yu Y. F. and Qi C. Y.** Magnetizing roasting mechanism and effective ore dressing process for oolitic hematite ore// J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. – 2011, Vol. 26, P. 177.

11 **Тигунов, Л. П., Ануфриева, С. И., Броницкая, Е. С., Кривоконева, Г. К., Соколова, В. Н., Аликберов, В. М., Сладкова, Г. А., Файнштейн, Г. Г.** Паровинчак М. С. Современные технологические решения переработки железосодержащих руд Бакчарского месторождения // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 2. – С. 37–43.

12 **Мирко, В. А., Кабанов, Ю., Найденов, В.** Современное состояние развития месторождений бурых железняков Казахстана // Промышленность Казахстана. – 2002. – № 1. – С. 79–82.

13 **Смирнов, Л. А., Бабенко, А. А.** Вовлечение в производство Лисаковского концентрата – одно из направлений расширения железорудной базы Урала и Сибири // Матер. Междунар. конгр. «300 лет Уральской металлургии». – Екатеринбург. – 2001. – С. 48–49.

14 Оолитовые железные руды Лисаковского месторождения Кустанайской области // под ред. И.П. Бардина. – М.: Изд-во «Академия наук», 1962. – 234 с.

15 **Каскатаева, К. Б., Кряжева, Т. В., Аскарлова, Н. С.** Минеральный состав руд Лисаковского месторождения // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации: Международная научно-практическая конференция. (Сагиновские чтения № 11). – Караганда: КарГТУ, 2019. – С. 287–290.

16 **Каскатаева, К. Б., Каскатай, А. М., Кряжева, Т. В.** Характеристика оолитовых руд Лисаковского месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: XXIV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 205–207.

17 **Каскатаева К. Б., Кряжева Т. В., Аскарлова Н. С.** Минеральный состав руд Лисаковского месторождения // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации: Международная научно-практическая конференция. (Сагиновские чтения № 11). – Караганда: КарГТУ, 2019. – Ч. 3. – С. 287–290.

18 **Карелин, В. Г., Резвов, Г. А., Кузовникова, Е. А.** Кинетические особенности дегидратации лисаковского концентрата в кипящем слое. – Металлургическая теплотехника, 1975, № 4, С. 153 – 156.

19 **Карелин, В. Г. и др.** Комбинированная пиро-гидрометаллургическая технология обесфосфоривания бурого железняка лисаковского месторождения //Черная металлургия. – 2015. – №. 2. – С. 10–15.

## REFERENCES

1 **Varoquaux, Jean-Arthur, G., and Eugene.** French Iron Ore Deposits, Les Gisements De Minerai De Fer Français.// Annales des Mines. – 1980. Vol. 186, № 7–8, P. 135–154.

2 **Manieh, A. A.** «Oolite Liberation of Oolitic Iron Ore, Wadi Fatima, Saudi Arabia» //International Journal of Mineral Processing. – 1984. Vol.13, № 3, P. 187–192.

3 **Manieh, A. A.** Upgrading of Wadi Fatima Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1986. Vol.17, № 1–2, P. 151–157.

4 **Weissberger, S., and Zimmels, Y.** Studies on Concentration and Direct Reduction of the Ramim Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1983. Vol.11, № 2, P. 115–130.

5 **Petruk, W.** Mineralogical Characteristics of an Oolitic Iron Deposit in the Peace River District, Alberta // Canadian Mineralogist. – 1977. Vol. 15, P. 3–13.

6 **Adedeji F. A. and Sale F. R.** Characterization and reducibility of Itakpe and Agbaja (Nigerian) iron ores // Clay Miner. –1984. Vol. 19, P. 843.

7 **Sun Y. S., Gao P., Han Y. X., and Ren D. Z.** Reaction behavior of iron minerals and metallic iron particles growth in coal-based reduction of an oolitic iron ore// Ind. Eng. Chem. Res. – 2013 Vol. 52, P. 2323.

8 **Abro M. I., Pathan A. G., and Mallah A. H.** Liberation of oolitic hematite grains from iron ore // Dilband Mines Pakistan, Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol. – 2011, Vol. 30, P. 329.

9 **Wu J., Wen Z. J., and Cen M. J.** Development of technologies for high phosphorus oolitic hematite utilization// Steel Res. Int. – 2011, Vol. 82, P. 494.

10 **Y. F. Yu and C. Y. Qi.** Magnetizing roasting mechanism and effective ore dressing process for oolitic hematite ore// J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. – 2011, Vol. 26, P. 177.

11 **Tigunov, L. P., Anufrieva, S. I., Bronitskaya, E. S., Krivokoneva, G. K., Sokolova, V. N., Alikberov, V. M., Sladkova, G. A., Feinstein, G. G. Parovinchak, M. S.** Sovremennyye texnologicheskie resheniya pererabotki zhelezosoderzhashhix rud Bakcharskogo mestorozhdeniya [Modern technological solutions for processing iron-containing ores of the Bakcharskoye deposit] // Razvedka i oxrana neдр. – 2010. – № 2. – P. 37–43.

12 **Mirko, V. A., Kabanov, Yu., Naidenov, V.** Sovremennoe sostoyanie razvitiya mestorozhdenij bury`x zheleznyakov Kazaxstana [Current state of development of brown iron deposits in Kazakhstan] // Promy`shlennost` Kazaxstana. – 2002. – №. 1. – P. 79–82.

13 **Smirnov, L. A., Babenko, A. A.** Vovlechenie v proizvodstvo Lisakovskogo koncentrata – odno iz napravlenij rasshireniya zhelezorudnoj bazy` Urala i Sibiri [Involvement in the production of Lisakovsky concentrate is one of the directions of expanding the iron ore base of the Urals and Siberia] // Mater. Mezhdunar. kongr. «300 let Ural`skoj metallurgii». – Ekaterinburg. – 2001. – P. 48-49.

14 **Bardina, I. P.** Oolitovy`e zhelezny`e rudy` Lisakovskogo mestorozhdeniya Kustanaj-skoj oblasti [Oolitic iron ores of the Lisakovsky deposit of the Kostanay region] // ed. by I.P. Bardin. – M.: Izd-vo «Akademiya nauk», 1962. – 234 p.

15 **Kaskataeva, K. B., Kryazheva, T. V., Askarova, N. C.** Mineral`ny`j sostav rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Mineral composition of ores of the Lisakovsky deposit] // Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana

nacii: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. (Saginovskie chteniya № 11). – Karaganda: KarGTU, 2019. – P. 287–290.

16 **Kaskataeva, K. B., Kaskatay, A. M., Kryazheva, T. V.** Charakteristika oolitovy`x rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Characteristics of oolitic ores of the Lisakovskoe deposit] // Problemy` geologii i osvoeniya nedr: XXIV Mezhdunarodny`j nauchny`j simpozium studentov i molody`x ucheny`x imeni akademika M.A. Usova. – Tomsk: TPU, 2020. – P. 205–207.

17 **Kaskataeva, K. B., Kryazheva, T. V., Askarova, N. S.** Mineral`ny`j sostav rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Mineral composition of the ores of the Lisakovskoe deposit] // Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. (Saginovskie chteniya № 11). – Karaganda: KarGTU, 2019. – P. 287–290.

18 **Karelin V. G., Rezvov G. A., Kuzovnikova E. A.** Kineticheskie osobennosti degidracii lisakovskogo koncentrata v kipiyashhem sloe [Kinetic features of the dehydration of the Lisakovsky concentrate in a fluidized bed]. - Metallurgicheskaya teplotekhnika, 1975, №. 4, P. 153 – 156.

19 **Karelin, V. G. et al.** Kombinirovannaya piro-gidrometallurgicheskaya tekhnologiya obesfosforivaniya burogo zheleznyaka lisakovskogo mestorozhdeniya [Combined pyro-hydrometallurgical technology for dephosphorization of brown iron ore from the Lisakovskoe deposit] // Chernaya metallurgiya. – 2015. – №. 2. – P. 10–15.

Материал поступил в редакцию 18.06.23.

\***Б. Т. Сулеймен<sup>1</sup>, Н. Ы. Косдаулетов<sup>2</sup>, Г. А. Адилев<sup>3</sup>, А. С. Ержанов<sup>4</sup>, П. А. Гамов<sup>5</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup>Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ;

<sup>5</sup>Оңтүстік-Орал мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Челябинск қ.

Материал 18.06.23 баспаға түсті.

#### ЛИСАКОВСК КЕН ОРНЫНЫҢ ТЕМІР КЕНІНІҢ ҚҰРАМЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

*Бұл зерттеу Лисаковск кен орнындағы оолит темір кенінің ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Үлгінің температурасы мен массасын бір мезгілде бақылай отырып, ауа атмосферасында оолит кенін ыдырату бойынша эксперименттер жүргізілді. Күйдіру кезінде жалпы массаның жоғалуы шамамен 15% құрады. Шикі және күйдірілген кендердің химиялық құрамы мен минералогиясының егжей-тегжейлі сипаттамасы оптикалық және электронды микроскопияны, дифрактометрдің көмегімен рентгендік фазалық талдау әдісін қолдана отырып жүргізілді. Оолит кенінің негізгі кен минералы гетит екені анықталды, ол тотығу күйдірілгеннен кейін гематитке айналады. Басқа кен минералы-магнетит, металл емес минералдар арасында кварц кездеседі. Фосфор темір гидрофосфаты және алюминий фосфаты түрінде болады. Бастапқы кендегі негізгі элементтердің таралу картасы салынды.*

*Оолиттердің негізінен бірдей-лез оксидтерінен түзілетіні расталды, негізінен кремний тотықтарынан тұратын бос жыныстың фазалары бар, сонымен қатар бірнеше элементтер (Fe, Si, Al) болатын кешенді тотық фазалары бар. Нәтижелер жоғары фосфорлы оолит темір кендерін пирометаллургиялық өңдеудің теориясы мен технологиясын жасау үшін пайдалы болуы мүмкін.*

*Кілтті сөздер: темір, темір кені, гетит, гематит, оолит, фосфор, Лисаковск кен орны, тотықтырып күйдіру.*

\***B. T. Suleimen<sup>1</sup>, N. Y. Kosdauletov<sup>2</sup>, G. A. Adilov<sup>3</sup>, A. S. Yerzhanov<sup>4</sup>, P. A. Gamov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau;

<sup>5</sup>South Ural State University, Russian Federation, Chelyabinsk

Material received on 18.06.23.

#### INTEGRATED STUDY OF THE COMPOSITION AND STRUCTURAL FEATURES OF IRON ORE OF THE LISAKOVSKOYE DEPOSIT

*This study is devoted to the study of the features of the oolitic iron ore of the Lisakovskoe deposit. Experiments were carried out on the decomposition of oolitic ore in an air atmosphere with simultaneous control of temperature and sample weight. The total weight loss during firing was almost 15%. A detailed characterization of the chemical composition and mineralogy of raw and burnt ore was carried out using optical and electron microscopy, X-ray phase analysis using a diffractometer. It was revealed that the main ore mineral of oolitic ore is goethite, which after oxidative roasting is transformed into hematite. Magnetite is another ore mineral; quartz is found among non-metallic minerals. Phosphorus is present in the form of iron hydrophosphate and aluminum phosphate. A map of the distribution of the main elements in the original ore has been constructed. It is confirmed that the oolites are formed mainly by iron oxides, there are gangue phases, consisting mainly of silicon oxides, in addition, there are also complex oxide phases, where several elements (Fe, Si, Al) are present. The obtained data can be useful for developing the theory and technology of pyrometallurgical processing of oolitic iron ores with a high phosphorus content.*

*Keywords: iron, iron ore, goethite, hematite, oolite, phosphorus, Lisakovskoe deposit, oxidative roasting.*

**Ж. Шошай<sup>1</sup>, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</sup>,  
А. Б. Баева<sup>4</sup>, Б. С. Корабаев<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

<sup>2</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>4</sup>ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>5</sup>ТОО «SA Minerals», Республика Казахстан, г. Павлодар.

\*e-mail: [shoshai.z@tou.edu.kz](mailto:shoshai.z@tou.edu.kz)

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ НА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Благородные металлы, такие как золото на протяжении многих лет остаются одними из самых востребованных, поскольку являются мерой материальных ценностей. В последнее время золото не только не утратило своей актуальности, но и с развитием новых технологий становится все более востребованным в электронной и других областях промышленности по причине своих уникальных качеств. Однако количество и качество минерального сырья, из которого добывают золото, с каждым годом падает. В связи с этим, остро встает вопрос о более глубокой переработке упорного минерального сырья и техногенных отходов, содержащих золото. Так в Республике Казахстане имеются существенные залежи техногенных месторождений золота – хвосты обогащения и т.д. Они были образованы в тот период, когда технологии по извлечению золота из минерального сырья не были совершенными. Переработка техногенных месторождений позволит существенно расширить сырьевую базу добычи золота. Разработка таких месторождений имеет ряд преимуществ, поскольку сырье извлечено на поверхность и измельчено. Как правило, золото в хвостах содержится в виде тонких вкраплений в сульфидах трудно поддающихся цианированию. В данной статье рассматривается способ извлечения золота из хвостов пиритной руды АО «Майкаин Золото» содержащих золото в количестве  $\approx 1\text{г/т}$ . При помощи предварительного микроволнового нагрева и последующего тиомочевинного выщелачивания удалось извлечь до 94 % золота. Без обработки микроволновой обработки извлечение золота составило 67 %.*

*Ключевые слова: хвосты обогащения, золото, микроволновая активация, рециклинг, тиомочевина.*

### **Введение**

Минеральные запасы золота не безграничны и при современном уровне потребления и годовой добыче  $\approx 3$  тыс. тонн, этих запасов хватит на 18–19 лет. В связи с этим, большое значение имеет расширение материально – сырьевой базы источников золота. Такими источниками могут являться техногенные отходы. Например, в АО «ГМК Казах алтын» общий объем технологических минеральных образований (ТМО – хвосты переработки золотосодержащих руд) составляет 25 млн. тонн [1], а запасы илов в хранилище Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 составляют более 1 млн. тонн [2].

Переработка сырья техногенных месторождений зависит от того в каком виде в них находится золото. В зависимости от этого вначале к техногенному сырью применяют различные методы обогащения, с последующим выщелачиванием с помощью бактерий [3] или реагентов [4], либо пирометаллургической переработкой [5], либо их сочетанием. Чаще всего золото в хвостах золотодобычи находится в тонко вкрапленном виде, в присутствии сульфидов – пирита, пирротина, арсенопирита. Данные минералы повышают расход цианидов [6] и даже делают невозможным добычу золота цианированием [7]. Такое сырье называют упорным. Предлагаются различные методы переработки для извлечения золота из упорного сырья. Так с целью снижения расхода реагентов и повышения извлечения золота выполнены исследования по технологии аммиачно-цианистого выщелачивания [8]. Предлагаются и методы предварительного окисления пирита с помощью щелочей [9]. Однако наиболее распространенным методом является обжиг полученных упорных концентратов при температуре 500 – 700 °С [10]. Идет окисление пирита до пирротина, магнетита и далее до гематита (1).



Сообщается об успешном применении обжига сульфидного золотосодержащего сырья в псевдокипящем слое с последующим выщелачиванием [11]. Помимо преимуществ, процесс обжига с использованием электрических печей, окисление под высоким давлением и другие подобные способы применяемые для разложения пирита имеют свои недостатки – высокие затраты энергии и экологические проблемы [12]. Повысить эффективность пиро процессов возможно с применением микроволнового обжига. Сообщается что сульфиды и пирит в частности особо чувствительны к микроволновому нагреву. При микроволновом облучении пирита, тепло индуцируется непосредственно в самом минерале. За счет этого сокращается расход энергии. Испытание на выщелачивание с использованием тиомочевин было проведено для обработанных микроволнами и необработанных золотых концентратов. При выщелачивании тиомочевинной из необработанного концентрата извлекалось 80% золота, когда из обработанного концентрата золото могло быть извлечено полностью. Эффективность выщелачивания золота увеличивалась с увеличением времени микроволнового облучения, а также с более высоким содержанием тиомочевин [13]. В другом исследовании из тугоплавкого

минерала пиритного происхождения было извлечено 93,1 % золота за 180 мин. с помощью предварительной обработки микроволновыми волнами. В качестве выщелачивающего реагента использовалась тиомочевина (0,1 М) [14]. Таким образом, можно предположить, что микроволновое облучение и последующее тиомочевинное выщелачивание может существенно повысить эффективность процесса извлечения золота как из минерального, так и из техногенного сырья. В данной работе было изучено влияние обжига в муфельной и микроволновой печи на извлечение золота из хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 с помощью водного раствора тиомочевины. Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 1.

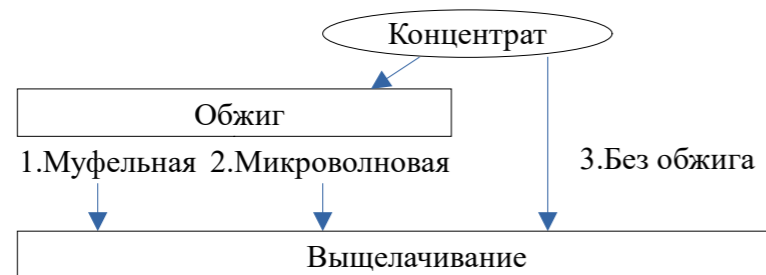


Рисунок 1– Схема проведения эксперимента

### Материалы и методы

Все эксперименты проводились в лабораториях аналитических исследований центра превосходства «Veritas» ВКТУ им. Д.Серикбаева (<https://www.ektu.kz/divisions/veritas.aspx>) и Торайгыров Университета (<https://tou.edu.kz/ru/component/university?department=126>). В качестве объекта исследования использовались (Рисунок 1) хвосты Майкаинской обогатительной фабрики № 1 в количестве 100 кг взяты методом квартования из валовой пробы на участке хвостохранилища.



Рисунок 2 – Хвосты Майкаинской обогатительной фабрики № 1

Хим. состав объекта исследования (Таблица 1) определялся с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS 7500сх фирмы «Agilent technologies» (США). Для изучения морфологии поверхности материалов (Рисунок 3) использовался микроскоп ВХ-51 (Olympus, Япония). Для изучения фазового состава объекта исследования, до и после обжига в муфельной и микроволновой печи применяли рентгеновский дифрактометр X’Pert PRO производства компании «PANalitical». Для изучения топографии, морфологии, качественного и количественного элементного микроанализа в точечной области, построения профилей распределения элементов вдоль заданной линии, построения карт распределения элементов на выбранном участке объекта исследования, использовали растровый электронный микроскоп JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd.» (Япония). Для проведения обжига использовали электропечь муфельную модели SNOL-6,7/1300 и кухонную микроволновую печь мощностью = 1 кВт; частотой = 2,45 ГГц. Выщелачивание проводилось с помощью водного раствора тиомочевины концентрацией 20 г/л при температуре 60 °С. Навеска весом = 250 г. Соотношение Т/Ж = 1/2 (твердого / жидкость). Материал выщелачивается в течение 120 мин с перемешиванием на магнитной мешалке. рН процесса = 1,5. Каждые 30 минут отбирались пробы для изучения кинетики процесса. Для поддержания рН процесса добавлялся  $Fe_2(SO_4)_3 = 1,8\%$  и  $H_2O_2 = 20$  мл/л. Выщелачивание проводилось с перемешиванием на магнитной мешалке. Для измельчения материалов применялись шаровая и вибрационная мельницы. Твердую и жидкую фазы разделяли фильтрацией, а фильтраты анализировали на содержание золота и других ценных компонентов. Остатки были высушены и также проанализированы для определения содержания в них золота и других ценных компонентов. Опыты повторяли 2 раза. При разнице значений результатов более 1 % эксперимент повторяли. Все реагенты аналитической чистоты.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлен средний элементный состав лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики.

Таблица 1 – Средний элементный состав хвостов

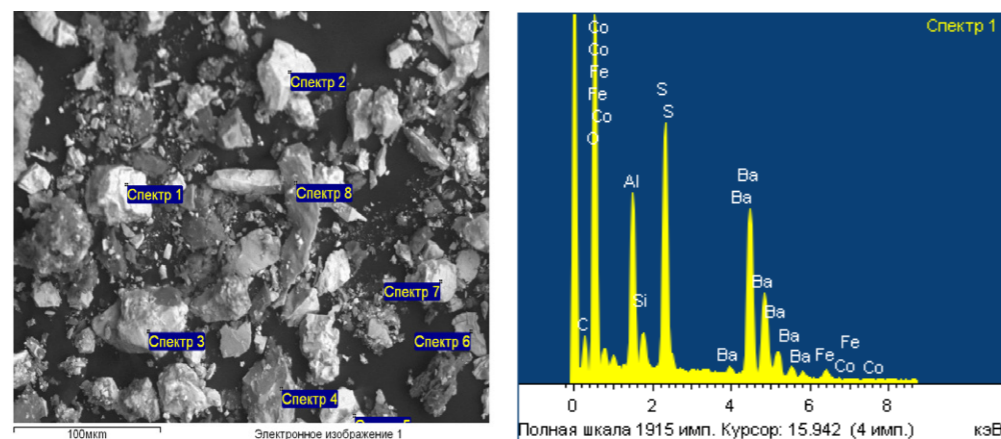
Элемент	Si	S	Ba	Fe	Al	O	Ca	K	Zn	As
Масса, %	18,3	5,8	16,4	5,5	5,8	44,8	0,18	1,2	0,48	0,024

Присутствие кремния говорит о наличии кварца, железо и сера, как правило, содержатся в виде минералов пирита. На рисунке 3 показана морфология поверхности лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики.



а) б)  
Рисунок 3 – Морфология поверхности лежащих хвостов Майкаинской обогатительной фабрики

На рисунке 3б показана увеличенная часть участка выделенного красным на рисунке 3а. С большой вероятностью это частично окисленный кристалл пирита. Это косвенно подтверждается наличием элементов серы и железа обнаруженных при помощи растрового электронного микроскопа (Рисунок 4).



а) б)  
Рисунок 4 – Морфология (а), качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области (б)

Проведенный РФА (Рисунок 5) анализ подтвердил наличие пирита в количестве = 11,3 %, а также барита и кварца в количествах 61,8 % и 26,9 % соответственно.

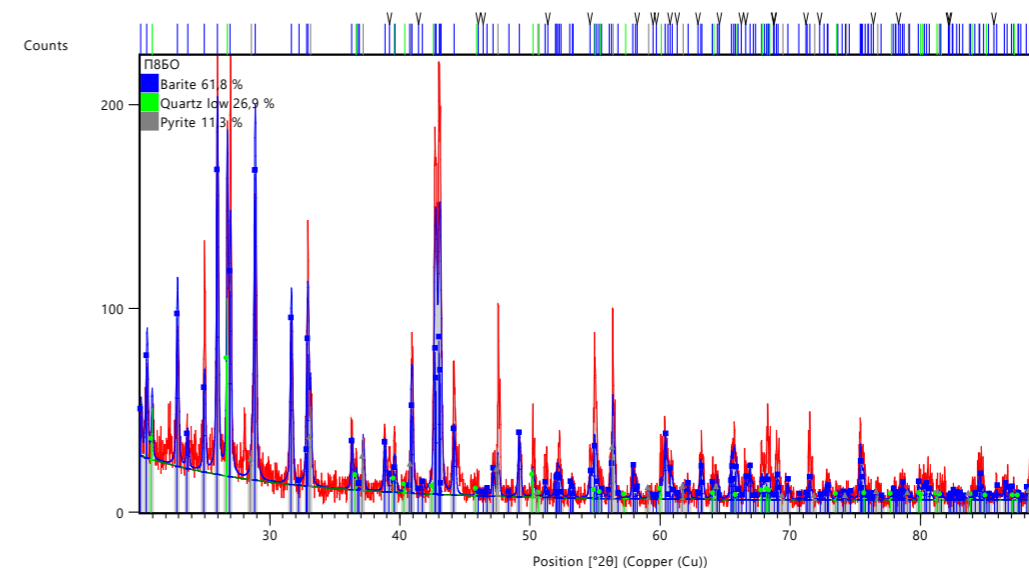


Рисунок 5 – РФА анализ объекта исследования

Стадия обжига

1 Образцы объекта исследования в количестве = 250 г были обожжены в течении 30 минут при температуре 700 °С в муфельной печи. Время обжига было подобрано на основании ранее проведенных исследований. После обжига материал был подвергнут РФА анализу (Рисунок 6а) и была изучена морфология образца с помощью растрового микроскопа.

2 Образцы объекта исследования в количестве = 250 г были обожжены в течении 15 минут на максимальной мощности в микроволновой печи. Время обжига было подобрано на основании ранее проведенных исследований. После обжига материал был подвергнут РФА анализу (Рисунок 6б) и была изучена морфология образца с помощью растрового микроскопа.

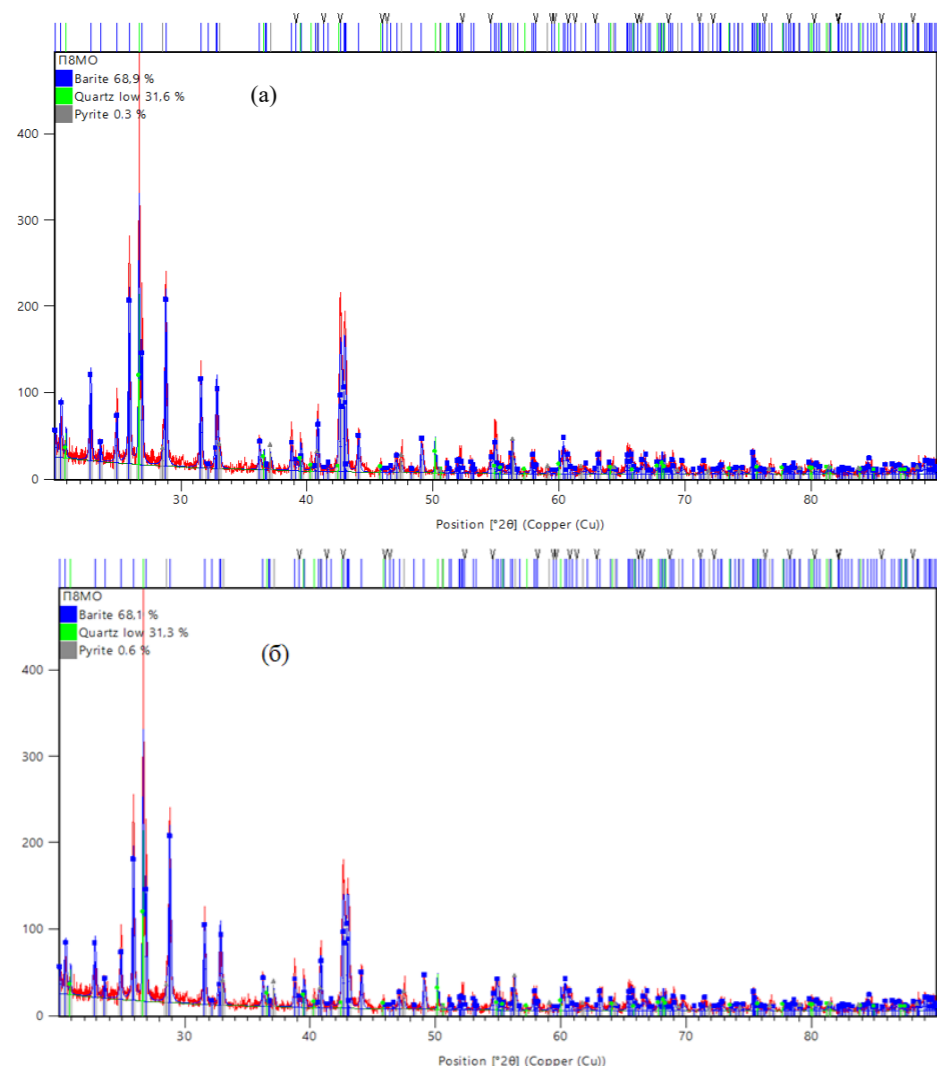


Рисунок 6 – РФА анализ объекта исследования после обжига в муфельной (а) и микроволновой печи (б)

Результаты проведенной термической обработки в обоих случаях показали заметное снижение количества пиррита за счет окисления с 11,3 до 0,3 % и 0,6 % в муфельной и микроволновой печи соответственно (Рисунок 6). На рисунке 7 показана морфология поверхности пробы после обжига в муфельной (Рисунок 7а) и микроволновой печи (Рисунок 7б). На снимках изображенных на рисунке 7 не было обнаружено кристаллов по своему виду напоминающих кристаллы пирита. На рисунке 8 показаны снимок и микроанализ хвостов после обжига сделанный с помощью растрового микроскопа.

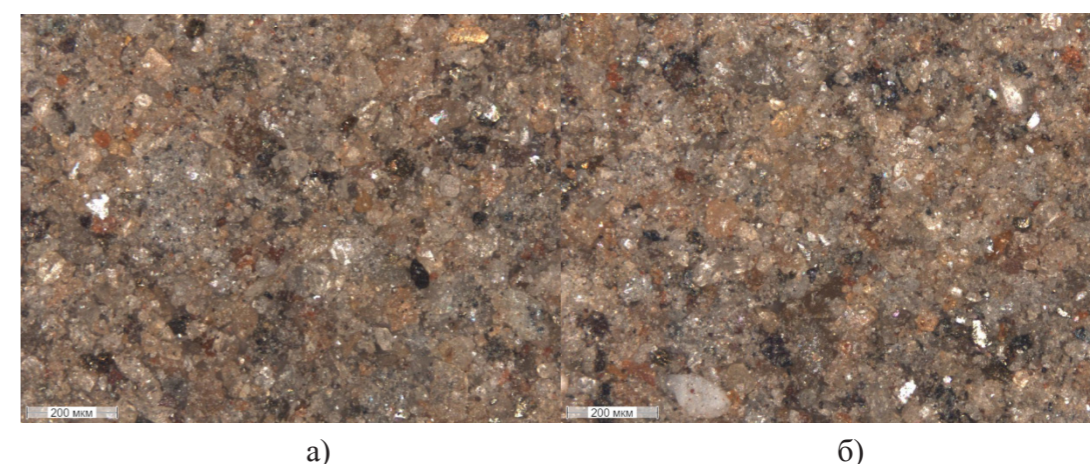


Рисунок 7 – Морфология поверхности лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики после обжига в муфельной (а) и микроволновой печи (б)

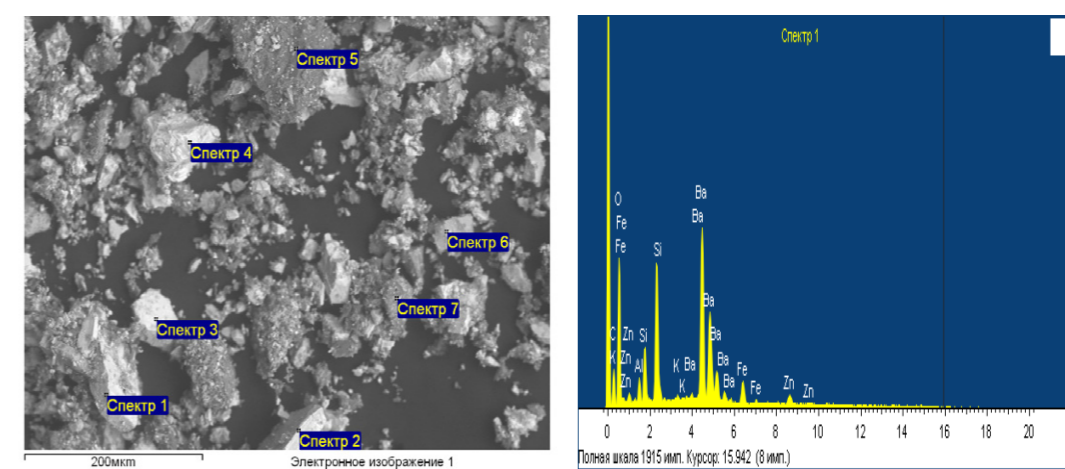


Рисунок 8 – Морфология (а), качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области (б) после обжига

Морфология, качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области спектра 1, хвостов после обжига показанный на рисунке 8 показывает отсутствие серы. Отсутствие серы еще раз подтверждает практически полное разложение пирита за счет окисления серы в виде  $SO_2$  как при обжиге как в муфельной так и в микроволновой печи.

На следующем этапе проводилось выщелачивание золота из хвостов без термической обработки и прошедших обжиг в муфельной и микроволновой печи.

#### Стадия выщелачивания

При проведении выщелачивания золота из хвостов без обжига за 120 минут удалось извлечь 67 % золота. При проведении выщелачивания золота из хвостов прошедших обжиг в муфельной печи извлечение золота составило 92 %. При проведении выщелачивании золота из хвостов прошедших обжиг в



микроволновой печи извлечение золота составило 94 %. На рисунке 9 показан график отображающий извлечение золота из сырья подготовленного разными методами.

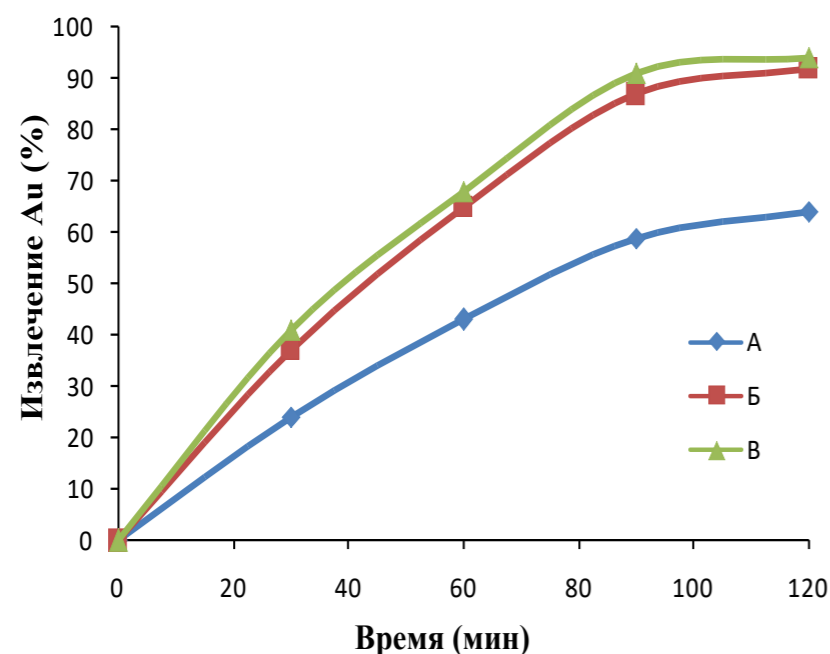


Рисунок 9 – График извлечение золота из сырья подготовленного разными методами: (А) – без обжига; (Б) – обжиг в муфельной печи; (В) – обжиг в микроволновой печи

#### Выводы

Как и ожидалось обжиг пиритного сырья существенно увеличил извлечение золота, за счет высвобождения связанного тонко вкрапленного золота. При этом обжиг с помощью микроволновой печи оказался наиболее эффективным. Для обжига в муфельной печи было затрачено 45 минут на выход до температуры 700 °С и затем непосредственно на сам обжиг в течении 30 минут. Обжиг в микроволновой печи занял всего 15 минут. Это связано с тем, что микроволновая печь индуцирует нагрев непосредственно в кристалле пирита. При этом тонко вкрапленное золото в металлическом виде также начинает разогреваться внутри кристалла, тем самым ускоряя вскрытие. С этим также связано и более высокое извлечение золота при помощи водного раствора тиомочевина. поскольку при нагреве микроволнами, все тонко вкрапленное золото оказывается вскрытым. Данное направление крайне перспективно. Далее авторы планируют изучить кинетические закономерности выщелачивания золота водным раствором тиомочевина из минерального и техногенного сырья активированного микроволновым нагревом.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [Электронный ресурс]. – [https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp\\_2017\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp_2017_rus.pdf)
- Официальный сайт «Единый экологический портал». [Электронный ресурс]. – [ecoportal.kz](https://ecoportal.kz) <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/35216> (дата обращения 23.07.2023).
- Wang, J., Faraji, F., Ramsay, J., & Ghahreman, A. (2021). A review of biocyanidation as a sustainable route for gold recovery from primary and secondary low-grade resources. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126457. [Электронный ресурс]. – doi:10.1016/j.jclepro.2021.126457.
- Neag, E., Kovacs, E., Dinca, Z, et al. (2021) Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. *Strategies of Sustainable Solid Waste Management*. Intech Open. DOI: 10.5772/intechopen.94597.
- Ojeda, M.W. & Perino, Ernesto & Ruiz, M. (2009). Gold extraction by chlorination using a pyrometallurgical process. *Minerals Engineering – MINER ENG*. 22. 409-411. 10.1016/j.mineng.2008.09.002.
- Ахмедов, Х., Асильов, Ш. Н., Ботиров, М. Ш., Содиков, Ф. С. Исследования технологии переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов месторождений Даугызтау // *Central Asian Academic Journal of Scientific Research*. 2022. № 5.
- Qin, H., Guo, X., Tian, Q., & Zhang, L. (2021). Recovery of gold from refractory gold ores: Effect of pyrite on the stability of the thiourea leaching system. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(6), 956–964. [Электронный ресурс]. – doi:10.1007/s12613-020-2142-9.
- Коблов, А. Ю., Дементьев, В. Е., Бескровная, В. П. Технология переработки упорных пирит-тентантитовых золотосодержащих руд. *Вестник ИрГТУ №3 (39) 2009*.
- Li, J., Dabrowski, B., Miller, J. D., Acar, S., Dietrich, M., LeVier, K. M., & Wan, R. Y. (2006). The influence of pyrite pre-oxidation on gold recovery by cyanidation. *Minerals Engineering*, 19(9), 883–895. [Электронный ресурс]. – doi:10.1016/j.mineng.2005.09.05.
- AL motasim, T., Abdalla, S., Abdelmajid, I., Essam, M., Kabash, M. Study of the effects of roasting and sodium thiosulfate on the extraction of silver from Volcanic Massive Sulfide ore, *Results in Chemistry*, Volume 5, 2023,100829. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100829>.
- Xu, B., Yang, Y., Li, Q., Li, G. & Jiang, T. (2014). Fluidized roasting-stage leaching of a silver and gold bearing polymetallic sulfide concentrate. *Hydrometallurgy*, 147-148, 79–82.
- Boyabat, N., Özer, A., Bayrakceken, S., Gülabo, Şglu M. Thermal decomposition of pyrite in the nitrogen atmosphere. *Fuel Process. Technol.* 2004, 85, 179–188.

13 Choi, N-C, Kim, B-J, Cho, K, Lee, S, Park, C-Y. Microwave Pretreatment for Thiourea Leaching for Gold Concentrate. Metals. 2017; 7(10):404. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.3390/met7100404>.

14 Jiménez, T. G., Torres, G. R., Parra, P. M., Córdoba, A. O., Sosa, D., & Ortíz, C. (2022). Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. Journal of Applied Research and Technology, 20(4), 399–407. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>.

## REFERENCES

1 [Electronic resource]. – [https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp\\_2017\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp_2017_rus.pdf).  
2 Oficial'nyj sajt «Edinyj ekologicheskij portal». [Electronic resource]. – [ecoportal.kz](https://ecoportal.kz) <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/35216> (data obrashheniya 23.07.2023).

3 Wang, J., Faraji, F., Ramsay, J., & Ghahreman, A. (2021). A review of biocyanidation as a sustainable route for gold recovery from primary and secondary low-grade resources. Journal of Cleaner Production, 296, 126457. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.jclepro.2021.126457.

4 Neag, E, Kovacs, E, Dinca, Z, et al. (2021) Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. Strategies of Sustainable Solid Waste Management. Intech Open. [Electronic resource]. – DOI: 10.5772/intechopen.94597.

5 Ojeda, M.W. & Perino, Ernesto & Ruiz, M. (2009). Gold extraction by chlorination using a pyrometallurgical process. Minerals Engineering – MINER ENG. 22. 409-411. 10.1016/j.mineng.2008.09.002.

6 Axmedov, X., Asilov, Sh. N., Botirov, M. Sh., Sodirov, F. S. Issle-dovaniya texnologii pererabotki uporny'x zolotosoderzhashhix rud i koncentratov mestorozhdenij Daugy'ztau // Central Asian Academic Journal of Scientific Research. 2022. № 5.

7 Qin, H., Guo, X., Tian, Q., & Zhang, L. (2021). Recovery of gold from refractory gold ores: Effect of pyrite on the stability of the thiourea leaching system. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 28(6), 956–964. [Electronic resource]. – doi:10.1007/s12613-020-2142-9.

8 Koblov, A. Yu, Dement'ev, V. E., Beskrovnaya, V. P. Texnologiya pe-rerabotki uporny'x pirit-tennantitovy'x zolotosoderzhashhix rud. Vestnik IrGTU № 3 (39) 2009.

9 Li, J., Dabrowski, B., Miller, J. D., Acar, S., Dietrich, M., LeVier, K. M. & Wan, R. Y. (2006). The influence of pyrite pre-oxidation on gold recovery by cyanidation. Minerals Engineering, 19(9), 883–895. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.mineng.2005.09.05.

10 AL motasim T., Abdalla, S., Abdelmajid, I., Essam, M., Kabash, M. Study of the effects of roasting and sodium thiosulfate on the extraction of silver from Volcanic Massive Sulfide ore, Results in Chemistry, Volume 5, 2023, 100829. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100829>.

11 Xu, B., Yang, Y., Li, Q., Li, G. & Jiang, T. (2014). Fluidized roasting-stage leaching of a silver and gold bearing polymetallic sulfide concentrate. Hydrometallurgy, 147-148, 79–82,

12 Boyabat, N., Özer, A., Bayrakceken, S., Gülabo ğlu, M. Thermal decomposition of pyrite in the nitrogen atmosphere. Fuel Process. Technol. 2004, 85, 179–188.

13 Choi N-C, Kim B-J, Cho K, Lee S, Park C-Y. Microwave Pretreatment for Thiourea Leaching for Gold Concentrate. Metals. 2017; 7(10):404. <https://doi.org/10.3390/met7100404>.

14 Jiménez T.G., Torres G.R., Parra P.M., Córdoba A.O., Sosa D., & Ortíz C. (2022). Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. Journal of Applied Research and Technology, 20(4), 399-407. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>.

Материал поступил в редакцию 19.08.23.

**Ж. Шошай<sup>1</sup>, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</sup>,  
А. Б. Баева<sup>4</sup>, Б. С. Корабаев<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

<sup>2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>4</sup>Ұлттық сараптама орталығы Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>5</sup>«SA Minerals», Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 19.08.23 баспаға түсті.

#### ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАРДАН АЛТЫН АЛУДЫҢ ГИДРОМЕТАЛУРГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН МИКРОТОЛҚЫНМЕН БЕЛСЕНДІРУДІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Асыл металдардың бірі алтын көптеген жылдар бойы үлкен сұранысқа ие, өйткені олар материалдық құндылықтың өлшемі болып табылады. Соңғы уақытта алтынның өзектілігі арта түскенімен бірге жаңа технологиялардың дамуымен электронды және басқа да салаларда өзінің ерекше қасиеттеріне байланысты сұранысқа ие бола бастады. Алайда, алтын өндіретін минералды шикізаттың мөлшері мен сапасы жыл сайын төмендеуде. Осыған байланысты құрамында алтын бар қиын өңделетін минералды шикізат пен техногендік қалдықтарды негүрлым терең өңдеу туралы мәселе өткір тұр. Осылайша, Қазақстан Республикасында алтынның техногендік кен орындарының едәуір кен орындары бар - байыту және т.б. қалдықтар олар минералды шикізаттан алтын алу технологиялары дамымаған кезеңінде пайда болған. Техногендік кен орындарын қайта өңдеу алтын өндірудің шикізат базасын едәуір кеңейтуге мүмкіндік береді. Мұндай кен орындарын игерудің бірқатар артықшылықтары бар, өйткені шикізат жер бетіне шығарылған және ұсақталған. Әдетте,*

қалдықтардағы алтын цианидтеуге қиын сульфидтерде жұқа дақтар түрінде болады. Бұл мақалада «Майқайың Алтын» АҚ пирит кенінің қалдықтарынан алтынды  $\approx 1\text{g/t}$  мөлшерінде алу әдісі қарастырылған. Алдын ала микротолқынмен өңдеуде және одан кейінгі тиомочевинамен ерітінділеуде алтынның 94 % - на дейін алуға болады. Микротолқынды өңдеусіз алтын алу 67 % құрады.

Кілтті сөздер: байыту қалдықтары, алтын, микротолқынды белсендіру, рецилинг, тиомочевина.

Zh. Shoshay<sup>1</sup>, \*R. V. Sapinov<sup>2</sup>, M. A. Sadenova<sup>3</sup>,

A. B. Baeva<sup>4</sup>, B. S. Korabaev<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>4</sup>«National Centre for Expertise» sanitary-hygienic laboratory in Pavlodar region, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>5</sup>«SA Minerals», Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 19.08.23

### STUDY OF THE EFFECT OF MICROWAVE ACTIVATION ON THE HYDROMETALLURGICAL PROCESS OF GOLD EXTRACTION FROM TECHNOGENIC WASTES

Precious metals such as gold have been among the most sought-after metals for many years, as they are a measure of wealth. Recently, gold has not only remained relevant, but with the development of new technologies, it is becoming more and more in demand in electronics and other industries due to its unique qualities. However, the quantity and quality of mineral raw materials from which gold is extracted is decreasing every year. In this connection, the question of deeper processing of refractory mineral raw materials and technogenic wastes containing gold arises. Thus, in the Republic of Kazakhstan there are significant deposits of technogenic gold deposits - tailings of enrichment, etc. They were formed in the period when technologies for extraction of gold from mineral raw materials were not perfect. Processing of anthropogenic deposits will significantly expand the raw material base of gold production. Development of such deposits has a number of advantages, as the raw material is extracted to the surface and crushed. As a rule, gold in tailings is contained in the form of thin phenocrysts in sulphides difficult to cyanidise. In this article the method of gold extraction from tailings of pyritic ore of JSC «Maikain Gold» containing gold in the amount of  $\approx 1\text{g/t}$  is considered. Microwave preheating and subsequent thiourea leaching recovered up to 94% of the gold. Without microwave treatment the gold recovery was 67 %.

Keywords: tailings, gold, microwave activation, recycling, thiourea.

SRSTI 53.47.01

<https://doi.org/10.48081/PRBW4597>

A. T. Zhakupova<sup>1</sup>, \*A. N. Zhakupov<sup>2</sup>, A. V. Bogomolov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

### MACROSTRUCTURE OF A HOLLOW BILLET FROM STEEL 25CrV UNDER DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS OF CASTING

In this work, the influence of technological factors and the macrostructure of hollow cast billets made of 25CrV steel on the mechanical properties at various temperatures was studied. It has been established that the branched transcrystalline macrostructure of pipe billets is the most favorable. The temperature parameters of continuous casting are determined, which ensure the production of a branched transcrystalline macrostructure of pipe hollow billets. A comparative analysis of the mechanical properties of pipe billets obtained at different temperatures of casting the melt, which have a transcrystalline (columnar) macrostructure, is carried out, and with an increase in the degree of its dispersion, the strength and plastic properties increase. It is shown that the presence of a large temperature gradient promotes the formation of columnar crystals, the orientation of which is determined by the direction of the heat flow. To ensure high mechanical properties, it is necessary to obtain a finely branched transcrystalline macrostructure of the billets.

Keywords: 25CrV, hollow billet, macrostructure, mechanical properties, casting temperature.

#### Introduction

Pipe billets made of steel 25CrV obtained by continuous cast have an exceptionally columniform macrostructure with radially ordered crystals growth from the out aboveground to the center. Since there are a moderately comprehensive character of technological constituents that influence the crystallisation of these billets (overheating temperature and time, receptacle temperature, casting temperature, casting speed, cooling rate, metallic deoxidation, modification, etc.), sporadically there are predicaments related with a rock-bottom commensurate technological and machine-driven properties, the exploitation of situation constitution destruction, the embrittlement of steel, etc. There are furthermore contradictions related with the consequence of the macrostructure on the properties of continuously casting billets made of steel 25CrV. On the individual hand, it is recognized that pipes produced from billets with a columniform macrostructure have a higher semipermanent capability compared to billets with an equiaxed macrostructure [4–7]. On the over-the-counter hand, it has been accepted that the intergranular crispiness of these consequences is outstanding to the formal propinquity of a coarse columniform constitution and the exploitation of breakage on the frontiers of columniform dendrites. At the corresponding time, thither is a diversification of macro- and microstructures

of broadloom pipes made of steel 25CrV, outstanding to the consequence of the technological constituents mentioned above [8–10].

**Materials and methods of research**

In the process of obtaining billets, the influence of such a factor as the melt casting temperature was studied in the range from 1450 to 1600 °C. Billets with an outer diameter of 210 mm and an inner diameter of 127 mm were cast. The macrostructure of templates from pipe billets made of steel 25CrV, the chemical composition of which is given in Table 1, was studied. The determination of mechanical properties was determined by tensile testing.

Table 1 – Chemical composition of steel 25CrV

Steel	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V
25CrV	0.25	0.28	0.45	0.19	0.017	0.019	1.68	0.27	0.18

**Results and discussion**

The study of billets from steel 25CrV showed that it is possible to accomplish contradistinctive macrostructure and mechanical properties depending on the temperature of the liquidize casting. The nature of the crystallisation cognitive semantics which arbitrates the macrostructure of the pipe billet made of steel 25CrV, upon be contingent on the liquidize casting temperature and the conditions of its solidification.

By ever-changing the liquidize molding temperature, individual can importantly consequence the structure of the billet (Table 2). Lowering the cast temperature of the liquidize decrease the imagination to transcrystallization and encourages the formation of an equiaxed dendritic structure. During the experimentations in this work the values of steel casting temperature 1450, 1475, 1500, 1525, 1550, 1575 and 1600 °C were chosen. An analysis of the macrostructure of billet templates confirmed that with a diminution in the liquidize casting temperature, the imagination to transcrystallization decreases, and the zone of equiaxed crystals from the out surface of the casting billet increases (Figure 1).

Thus, in pipe billets from steel 25CrV, it is possible to obtain a completely transcrystalline (columnar) structure, a columnar structure with a small inclusion from the inner surface of equiaxed crystals up to 10 mm deep, a mixed structure with different levels of the length the zone of columnar crystals – 15–20 mm, 10–15 mm, 5–10 mm from the outer surface, as well as a completely equiaxed structure, although the latter structure is rarely obtained and always contains zones of columnar crystals near the walls of the billet. By changing the melt casting temperature, it is possible to vary the mechanical properties of the billets in a wide range.

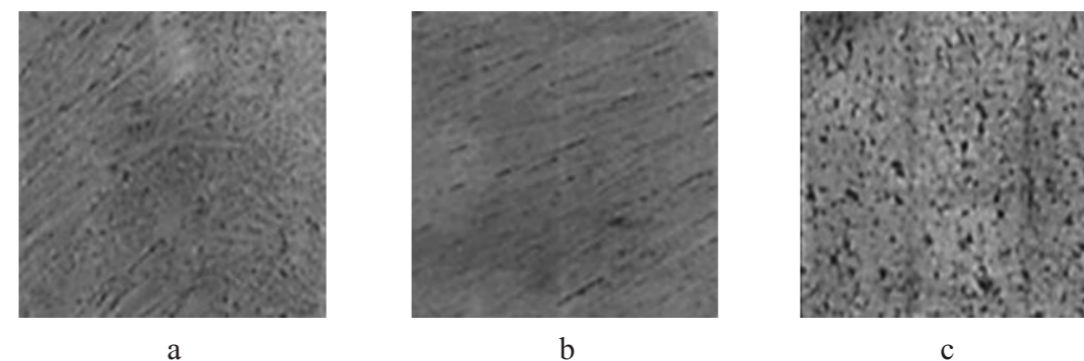


Figure 1 – Macrostructure of billets

a – macrostructure at casting temperature 1450–1500 °C; b – macrostructure at casting temperature 1525–1550 °C; c – macrostructure at casting temperature 1575–1600 °C

Table 2 – Macrostructure and mechanical properties of billets

№	Casting temperature, °C	Macrostructure	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
1	1450	Zones of columnar and equiaxed crystals	490	305	14,3
2	1475	Zones of columnar and equiaxed crystals	507	325	16,1
3	1500	Zones of columnar and equiaxed crystals	537	358	17,9
4	1525	Columnar branched crystals	592	396	18,8
5	1550	Columnar branched crystals	588	381	18,5
6	1575	Coarse columnar crystals	522	330	21,8
7	1600	Coarse columnar crystals	530	341	22,3

A relative analysis of the pipe billets mechanical properties obtained at different liquidize casting temperatures, which have a transcrystalline (columnar) macrostructure, showed that with an increase in the measure of its dispersion, the capability and impressionable properties, as advantageously as impact strength at extension temperature, increase. This relatively contradicts the information obtained in the works of additional authors, where it is explicit that the plastic properties and impact strength of billets with a transcrystalline macrostructure increase with an accumulation in the casting temperature of the melt. The results obtained in this work can be explained by the positive chain reaction on the all-inclusive heterogeneous of mechanical characteristics the devastating of columniform crystals and an increase in the commensurate of their branching. The transcrystalline macrostructure of castings, formed at a melt casting temperature of 1550–1600 °C, has an average cross section of dendritic branches of 4.6 mm<sup>2</sup>, and formed at a melt casting temperature of 1500 °C, 2.3 mm<sup>2</sup>.

Billets with a cross-bred macrostructure have a mark down commensurate of strength, malleability and toughness, determined by a different correspondence of the breadth of districts with different shapes of dendrites. The heterogeneous nature of the macrostructure of the billets fix up with provision a non-uniform apportionment

of stresses during testing, which occasions a decrease in the mechanical properties of billets made of steel 25CrV. An analysis of the representatives mechanical properties showed that the beyond compare compounding of mechanical properties is exhibited by pipe billets made of steel 25CrV with columniform crystals obtained at a liquidize molding temperature of 1525°C. It is this liquidize molding temperature that make sure the creation of a transcrystalline macrostructure consisting of thin branched columniform crystals. These results are in concordance with exhortations with reference to the superiorities of obtaining a transcrystalline macrostructure, on the other hand in the contemporaneous studies, it was constitute that in progression to increase the commensurate of mechanical characteristics, it is all-important to accomplish a homogeneous transcrystalline macrostructure of pipe billets, consisting of thin branched columniform crystals. It should be anticipated that much a macrostructure testament accommodate a high-pitched heterogeneous of mechanical and technological properties and a mark down imagination to the materialisation of transmissible microheterogeneity during consequent plastic and heat treatment of behaviour towards of pipes made of steel 25CrV.

#### Funding information

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of grant funding of young scientists for scientific and (or) scientific and technical projects for 2022-2024 under the IRN AP14972971 project «Research the structure formation and mechanical properties of oil assortments pipes produced from cast hollow billets».

#### Conclusions

To provide improved mechanical characteristics of pipe billets made of steel 25CrV, it is necessary to obtain a finely branched transcrystalline macrostructure, which can be done at a melt casting temperature of 1525 °C. Such casting parameters provide a higher complex of mechanical and operational characteristics.

#### REFERENCES

1 **Zhakupova, A.** «The Influence of the Initial Billet on the Mechanical Properties of Pipes» / A. Zhakupova, A. Bogomolov, A. Zhakupov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 969(1), article 012033, 2020, [Electronic resource]. – doi: 10.1088/1757-899X/969/1/012033.

2 **Choudhary, S.** «Influence of Modified Casting Practice on Steel Cleanliness» / S. Choudhary // ISIJ Int., vol. 51(4), P. 557–565, 2011, [Electronic resource]. – doi: 10.2355/isijinternational.51.557.

3 **Kobayashi, M.** «Technical progress in steelmaking and casting for special bar and wire steel at Muroran work» / M. Kobayashi, K. Isobe, M. Arai // Nippon Steel Technical Report, vol. 394, P. 119–124, 2012.

4 **Rogberg, B.** «Influence of Soft Reduction on the Liquid Flow Velocity and Pore Formation in the Mushy Zone» / B. Rogberg // In The 2nd ISIJ-VDEh-Jernkontoret Joint Symposium, pp. 12–13, 2017.

5 **Smirnov, Y.** «Development of the method prevention of internal cracks in process of soft reduction continuously cast blooms» / Y. Smirnov, V. Sklyar // METAL 2010 – 19th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, 2010.

6 **Dauby, P.** «Application of micro-refrigerators as the active element on the crystallization of metal» / P. Dauby, S. Kunstreich // ISS Tech, pp. 491-504, 2003.

7 **Nakashima, J.** «Micro-refrigerators» / J. Nakashima, A. Kiyose, Y. Ohtani, J. Fukuda, T. Kawase, M. Doki // Nippon Steel Technical Report, vol. 86, P. 68–73, 2002.

8 **Thome, R.** «Principles of billet soft-reduction and consequences for continuous casting» / R. Thome, K. Harste // Isij International, vol. 46(12), P. 1839–1844, 2006, doi: 10.2355/isijinternational.46.1839.

9 **Zhakupov, A.** «Determination of technological parameters for continuous casting of a hollow pipe billet» / A. Zhakupov, A. Bogomolov, A. Zhakupova, S. Abdulina, V. Salina // Metalurgija, vol. 60(3-4), P. 329–331, 2021, [Electronic resource]. – <https://hrcak.srce.hr/clanak/372265>.

10 **Yong, T.** «Optimization of submerged entry nozzles to improve steel cleanliness and productivity» / T. Yong, G. Hackl, G. Nitzl // Proceedings of 8th European Continuous Casting Conf., Graz, Austria, P. 487–497, 2014.

Material received on 06.09.23.

*A. T. Жақупова<sup>1</sup>, \*А. Н. Жақупов<sup>2</sup>, А. В. Богомолов<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 06.09.23 баспаға түсті.

#### ҚҰЮДЫҢ ӘРТҮРЛІ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНДА 25ХМФА БОЛАТТАН ЖАСАЛҒАН ҚУЫС ДАЙЫНДАМАНЫҢ МАКРОҚҰРЫЛЫМЫ

*Бұл жұмыста әртүрлі температурадағы механикалық қасиеттерге қуыс құйылған 25ХМФА болат дайындамаларының технологиялық факторлары мен макроқұрылымының әсері зерттелді. Құбыр дайындамаларының тармақталған транскристаллитті макроқұрылымы ең қолайлы болып табылады. Құбырлы қуыс дайындамалардың тармақталған транскристаллитті макроқұрылымын алуды қамтамасыз ететін үздіксіз құюдың температуралық параметрлері анықталды. Транскристаллитті (бағаналы) макроқұрылымы бар балқыманы құюдың әртүрлі температурасында алынған құбыр дайындамаларының механикалық қасиеттеріне салыстырмалы талдау жүргізілді және оның дисперсия дәрежесінің жоғарылауымен беріктік пен пластикалық қасиеттер артады. Температураның үлкен градиентінің болуы бағаналы кристалдардың пайда болуына ықпал етеді, олардың бағыты жылу агынының бағытымен анықталады. Механикалық қасиеттердің жоғары*

*көрсеткіштерін қамтамасыз ету үшін дайындамалардың жұқа тармақталған транскристаллитті макроқұрылымын алу қажет.*

*Кілтті сөздер: 25ХМФА, қуыс дайындама, макроқұрылым, механикалық қасиеттері, құю температурасы.*

**А. Т. Жакупова<sup>1</sup>, \*А. Н. Жакунов<sup>2</sup>, А. В. Богомолов<sup>3</sup>**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 06.09.23.

### МАКРОСТРУКТУРА ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛИ 25ХМФА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ РАЗЛИВКИ

*В данной работе исследовано влияние технологических факторов и макроструктуры полых литых заготовок из стали 25ХМФА на механические свойства при различных температурах. Установлено, что наиболее благоприятной является разветвленная транскристаллитная макроструктура трубных заготовок. Определены температурные параметры непрерывного литья, обеспечивающие получение разветвленной транскристаллитной макроструктуры трубных полых заготовок. Проведен сравнительный анализ механических свойств трубных заготовок, полученных при различной температуре заливки расплава, которые имеют транскристаллитную (столбчатую) макроструктуру, и с увеличением степени ее дисперсности прочностные и пластические свойства возрастают. Показано, что наличие большого градиента температур способствует образованию столбчатых кристаллов, ориентация которых определяется направлением теплового потока. Для обеспечения высоких показателей механических свойств необходимо получение тонко разветвленной транскристаллитной макроструктуры заготовок.*

*Ключевые слова: 25ХМФА, полая заготовка, макроструктура, механические свойства, температура разлива.*

SRSTI 53.37.29

<https://doi.org/10.48081/SJMQ1144>

**\*А. В. Kuandykov<sup>1</sup>, P. O. Bykov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

### STUDY OF REFINING OF PRIMARY ALUMINUM FROM IMPURITIES OF NON-FERROUS METALS USING «ACTIVE» GRAIN FILTERS BASED ON BORIC ACID

*This article presents the results of comparative experimental studies on the complex two-stage processing of primary aluminum by flux treatment with boric acid ( $H_3BO_3$ ) in a ladle with further filtration purification of the melt through granular filters and one-stage filtration purification of primary aluminum through active granular filters with boric acid additives.*

*The research was carried out within the framework of grant funding by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the Zhas Galym competition under the IRN AP19175493 project «Development of technology for refining primary aluminum with active surface filters».*

*The research results showed that a complex one-stage technology for cleaning raw aluminum from non-ferrous metal impurities using active filters reduces their content in primary aluminum. Laboratory studies showed a decrease in the content of vanadium by 53.3 %, copper by 19.8 %, magnesium by 49.6 %, manganese by 51.7 % and silicon by 97.1 % in primary aluminum when using the active filter cleaning method.*

*A comparative analysis of aluminum purification methods showed that the issue of using active filters needs further study in order to determine the degree of purification from non-ferrous metal impurities, depending on various parameters of the active filter.*

*Keywords: aluminum, non-ferrous metal impurities, filtration, boric acid, flux, active filter.*

### Introduction

The largest aluminum production enterprises operate in the Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan. At present, world practice shows the use of lower quality raw materials for the production of anodes, which are so necessary for electrolysis enterprises [1].

The main source of pollution in this case are asphaltene compounds. Asphaltenes concentrate a high content of harmful impurities (V, Fe, Si, Ni, Ti, etc.), which are contained in anodes used in electrolysis plants. One of these impurities is vanadium, which significantly reduces the electrical conductivity of aluminum at a concentration of about 2 ppm [1, 2, 3].

In Kazakhstan, for the production of baked anodes of aluminum electrolyzers, local coke of UPNK-PV LLP (Pavlodar, Republic of Kazakhstan) with a high content of vanadium and other impurities is partially used.

Fluxes used at the enterprise JSC «Kazakhstan electrolysis plant» are made on the basis of cryolite, aluminum fluorides, sodium chloride and do not remove the above-mentioned hard-to-recover impurities, including vanadium [1].

In a number of works [4, 5, 6], methods for purifying primary aluminum from vanadium impurities are proposed, which have not found wide industrial application.

In [7], the technology of refining primary aluminum from vanadium impurities with a boron-containing Al-B alloy outside the electrolysis bath was studied. Studies have shown [7]:

- decrease in the content of vanadium by an average of 78 % in the mass of metal, with an increase in its content in the lower part of the ladle (volume up to 5 – 10 % of the ladle capacity);
- the transition of a significant amount of vanadium to the intermetallic compound;
- the complexity of the separation of intermetallic compounds of vanadium and refined aluminum in the ladle by traditional methods (settling for 4 - 7 hours did not give a positive result).

For further development of methods for removing non-ferrous metal impurities from primary aluminum, it is necessary to study the separation of the resulting aluminum from the intermetallic compounds formed during refining. The literature review shows that the most promising method of purification of aluminum from the formed precipitated intermetallic compounds is filtration by various methods. Currently, in most cases, smelters do not have a filtration step that can ensure the removal of heavy metal impurities.

**Materials and methods**

In this work, comparative experimental studies were carried out on the complex two-stage processing of primary aluminum by flux treatment with boric acid (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) in a ladle with further filtration purification of the melt through granular filters and one-stage filtration purification of primary aluminum through active granular filters with boric acid additives.

Table 1 shows the chemical composition of primary aluminum before refining, taken from the electrolyzers of Kazakhstan Electrolysis Plant JSC with installed anodes, obtained using calcined coke of UPNK-PV LLP (Pavlodar, Republic of Kazakhstan) with a high content of vanadium impurities.

Table 1 – Chemical composition of primary aluminum before refining, %

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Cr	Ti	V
96,1299	3,2557	0,4105	0,0071	0,0032	0,0239	0,0115	0,001	0,0323	0,0132

Two series of experimental purification of molten aluminum were carried out.

In the first series, at the first stage, primary aluminum was smelted in a laboratory induction furnace, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> was introduced at a temperature of 850 °C at the rate of 1.2–2 kg/t of raw aluminum, then the melt was held for 15 minutes and chemical treatment was carried out. The composition of refined primary aluminum was determined on a DFS 500 optical emission spectrometer.

At the second stage, primary aluminum treated with boric acid was filtered through a granular filter. When choosing the parameters of granular filters, the recommendations of the following works [8 – 10] were considered.

The experimental setup (Figure 1) consisted of a filter block 1, a filter grain 2 and a mold 3, in the lower part of which there was an opening for the outflow of the filtered metal into the ladle, covered with a refractory mesh.

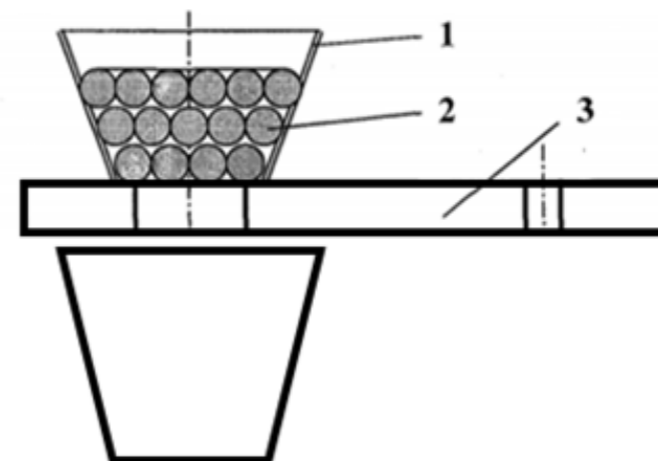


Figure 1 - Scheme of the experimental setup

As a result of the search for the optimal material for the purification of primary aluminum from heavy metal impurities, it was decided to use Ekibastuz coal ash (Figure 2), with an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of about 30 – 32 %. Aluminum oxide is the most preferred base for chemical reactions occurring in the Al-Ti-B system during the extraction of heavy metal impurities.



Figure 2 – Filter grains

Determination of the chemical composition of primary aluminum after treatment with H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> flux and subsequent filtration through a granular filter on an optical emission spectrometer DFS-500 showed a decrease in the content of impurities. The degree of removal of impurities is shown in table 2.

Table 2 – The degree of removal of impurities from primary aluminum after treatment with H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> flux with further filtration through conventional granular filters, %

V	Si	Cu	Mn	Mg
47,7	97,9	17,6	50,0	47,5

In the second series of experiments, primary aluminum was smelted in a laboratory induction furnace. Next, aluminum was filtered through an active filter with grains treated with boric acid (Figure 3). This step allows reducing the processing time of primary aluminum by combining the stages of refining and filtration, as well as removing hard-to-remove impurities of transition compounds in the Al-Ti-B-V-Fe-Zn system.



Figure 3 – Active filter grains

Determination of the chemical composition of primary aluminum after filtration treatment showed a decrease in the content of impurities. The degree of removal of impurities is shown in table 3.

Table 3 – The degree of removal of impurities from primary aluminum after applying an active filter, %

V	Si	Cu	Mn	Mg
53,3	97,1	19,8	51,7	49,6

### Results and discussion

The research results showed that a complex one-stage technology for cleaning raw aluminum from non-ferrous metal impurities using active filters reduces their content in primary aluminum.

Laboratory studies showed a decrease in the content of vanadium by 53.3 %, copper by 19.8 %, magnesium by 49.6 %, manganese by 51.7 % and silicon by 97.1 % in primary aluminum when using the active filter cleaning method.

A comparative analysis of aluminum purification methods showed that the issue of using active filters needs further study in order to determine the degree of purification from non-ferrous metal impurities, depending on various parameters of the active filter.

### Funding information

The research was carried out within the framework of grant funding by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the Zhas Galym competition under the IRN AP19175493 project «Development of a technology for refining primary aluminum with active surface filters».

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ibragimov, A. T.** Aluminum electrometallurgy. Kazakhstan Electrolysis Plant, Pavlodar : House of the press. – 2009. – 263 p.
- 2 **Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S., Morozov, A. Y.** Role of Vanadium in Aluminum Electrolyzer Melts, Metallurgist, Vol. 62(9-10), (2019) 1048-1053.
- 3 **Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S., Skvortsov, A. P.** Testing Baked Anodes with an Increased Vanadium Content, Metallurgist, Vol. 62(1-2) (2018) 62–69.
- 4 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum-Part I. Analysis of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, DOI <https://doi.org/10.1007/s11663-013-9974-x>. – 2014. – 752–768.
- 5 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9. –2013. – 769–783.
- 6 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9. – 2013. – 769–783.
- 7 **Bykov, P. O., Kuandykov, A. B., Zhunusov, A. K.** Refining of Primary Aluminum from Vanadium // Defect and Diffusion Forum, 2021, 410DDF. – P. 405 – 410.
- 8 **Shipilov, S. E., Ten, E. B., Zholdubayeva, Z. D., Shipilova, S. S., Yurchenko, E. V.** Refining of metal melts by filtration method / Metalurgija. – Volume 58, Issue 3-4. – 2019. – P. – 303–306.
- 9 **Shayakhmetov, B. K., Kimanov, B. M., Ten, E. B., Zholdubayeva, Z. D., Issagulova, D. A.** Gravimetric and dilatometric research of elements action on three dimensional filter by thermal effects / Metalurgija, 53(1). – 2014. – P. 44–66.



10 **Ten, E. B., Kimanov, B. M., Rakhuba, E. M.** Deposition of nonmetallic phases at filter surfaces / Steel in Translation, 42(5). – 2012. – P. 411–414.

11 **Bykov, P. O., Kuandykov, A. B., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B., Suyundikov, M. M.** Complex processing of primary aluminum to remove impurities of non-ferrous metals // Metalurgija, Volume 62 (2). – 2023. – P. 293 – 295.

12 **Быков, П. О., Жунусов, А. К., Тусупбекова, М. Ж., Абсолямова, Д. Р.** Рафинирование алюминия – сырца борсодержащими материалами // Наука и техника Казахстана, 2021, № 2. – С. 77–84.

## REFERENCES

1 **Ibragimov A. T.** Aluminum electrometallurgy. Kazakhstan Electrolysis Plant, Pavlodar: House of the press. – 2009. – 263 p.

2 **Gorlanov E. S., Batrachenko A. A., Smailov B. S., Morozov A. Y.** Role of Vanadium in Aluminum Electrolyzer Melts, Metallurgist, Vol. 62(9-10), 2019. – 1048-1053.

3 **Gorlanov E. S., Batrachenko A. A., Smailov B. S., Skvortsov A. P.** Testing Baked Anodes with an Increased Vanadium Content, Metallurgist, Vol. 62(1-2). – 2018. – 62–69.

4 **Khalik A., Rhamdhani M. A., Brooks G. A., Grandfield J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part I. Analysis of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, DOI <https://doi.org/10.1007/s11663-013-9974-x>. – 2014. – 752–768.

5 **Khalik A., Rhamdhani M. A., Brooks G. A., Grandfield J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9. – 2013. – 769–783.

6 **Khalik A., Rhamdhani M. A., Brooks G. A., Grandfield J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9. – 2013. – 769–783.

7 **Bykov P. O., Kuandykov A. B., Zhunusov A. K.** Refining of Primary Aluminum from Vanadium // Defect and Diffusion Forum, 2021, 410DDF. – P. 405 – 410.

8 **Shipilov S. E., Ten E. B., Zholdubayeva Z. D., Shipilova S. S., Yurchenko E. V.** Refining of metal melts by filtration method / Metalurgija. – Volume 58, Issue 3–4. 2019. – P. 303–306.

9 **Shayakhmetov B. K., Kimanov B. M., Ten E. B., Zholdubayeva Z. D., Issagulova D. A.** Gravimetric and dilatometric research of elements action on three dimensional filter by thermal effects / Metalurgija, 53(1) (2014), P. 44–66.

10 **Ten E. B., Kimanov B. M., Rakhuba E. M.** Deposition of nonmetallic phases at filter surfaces / Steel in Translation, 42(5). – 2012. – P. 411–414.

11 **Bykov P. O., Kuandykov A. B., Zhunusov A. K., Tolymbekova L. B., Suyundikov M. M.** Complex processing of primary aluminum to remove impurities of non-ferrous metals // Metalurgija, Volume 62 (2). – 2023. – P. 293 – 295.

12 **Bykov P. O., Zhunusov A. K., Tussupbekova M. Zh., Absolyamova D. R.** Rafinирование алюминия – сырца борсодержащими материалами // Nauka I tehnika Kazakhstan, 2021, № 2. – P. 77 – 84.

Material received on 28.07.23.

\***А. Б. Куандыков<sup>1</sup>, П. О. Быков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Материал 28.07.23 баспаға түсті.

### БОР ҚЫШҚЫЛЫ НЕГІЗІНДЕГІ «БЕЛСЕНДІ» ТҮЙІРШІКТІ СҮЗГІЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ТҮСТІ МЕТАЛЛ ҚОСПАЛАРЫНАН БАСТАПҚЫ АЛЮМИНИЙДІ ТАЗАРТУДЫ ЗЕРТТЕУ

*Бұл мақалада балқыманы түйіршікті сүзгілер арқылы одан әрі сүзу арқылы тазартумен және бор қышқылы қоспалары бар белсенді түйіршікті сүзгілер арқылы бастапқы алюминийді бір сатылы сүзу арқылы шөміштегі бор қышқылымен (H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>) флюсті өңдеумен бастапқы алюминийді кешенді екі сатылы өңдеу бойынша салыстырмалы эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген.*

*Зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Жас ғалым» конкурсы бойынша ИРН АР19175493 «Белсенді беті бар сүзгілермен бастапқы алюминийді тазарту технологиясын әзірлеу» жобасы бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.*

*Зерттеу нәтижелері белсенді сүзгілерді пайдалана отырып, ишкі алюминийді түсті металл қоспаларынан тазартудың кешенді бір сатылы технологиясы олардың бастапқы алюминийдегі құрамын төмендететінін көрсетті.*

*Зертханалық зерттеулер белсенді сүзгілермен тазарту әдісін қолданған кезде бастапқы алюминийде ванадий 53,3 %, мыс 19,8 %, магний 49,6 %, марганец 51,7 % және кремний 97,1 % құрамы төмендегенін көрсетті.*

*Алюминийді тазарту әдістерінің салыстырмалы талдауы белсенді сүзгілерді қолдану мәселесі белсенді сүзгінің әртүрлі параметрлеріне байланысты түсті металдардың қоспаларынан тазарту дәрежесін анықтау үшін одан әрі зерттеуді қажет ететіндігін көрсетті.*

*Кілтті сөздер: алюминий, түсті металл қоспалары, сүзу, бор қышқылы, флюс, белсенді сүзгі.*

\*А. Б. Куандыков<sup>1</sup>, П. О. Быков<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 28.07.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ  
ОТ ПРИМЕСЕЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
«АКТИВНЫХ» ЗЕРНИСТЫХ ФИЛЬТРОВ  
НА ОСНОВЕ БОРНОЙ КИСЛОТЫ**

*В данной статье представлены результаты сравнительных экспериментальных исследований по комплексной двухэтапной обработке первичного алюминия флюсовой обработкой борной кислотой ( $H_3BO_3$ ) в ковше с дальнейшей фильтрационной очисткой расплава через зернистые фильтры и одноэтапной фильтрационной очисткой первичного алюминия через активные зернистые фильтры с добавками борной кислоты.*

*Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по конкурсу «Жас Галым» по проекту ИРН АР19175493 «Разработка технологии рафинирования первичного алюминия фильтрами с активной поверхностью».*

*Результаты исследований показали, что комплексная одноэтапная технология очистки алюминия-сырца от примесей цветных металлов с использованием активных фильтров снижает их содержание в первичном алюминии.*

*Лабораторные исследования показали снижение содержания ванадия на 53,3 %, меди на 19,8 %, магния на 49,6 %, марганца на 51,7 % и кремния на 97,1 % в первичном алюминии при использовании метода очистки активными фильтрами.*

*Сравнительный анализ методов очистки алюминия показал, что вопрос применения активных фильтров нуждается в дальнейшем изучении с целью определения степени очистки от примесей цветных металлов в зависимости от различных параметров активного фильтра.*

*Ключевые слова: алюминий, примеси цветных металлов, фильтрация, борная кислота, флюс, активный фильтр.*

SRSTI 53.31.21

<https://doi.org/10.48081/ODXD9913>\*Ye. N. Makhambetov<sup>1</sup>, S. T. Gabdullin<sup>2</sup>, Z. Zulhan<sup>3</sup>,  
A. M. Zhakan<sup>4</sup>, A. A. Myrzagaliyev<sup>5</sup><sup>1,2,4</sup>Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>3</sup>Faculty of Mining and Petroleum Engineering,

Bandung Institute of Technology, Indonesia.

<sup>5</sup>ERGR Research and Engineering Center LLP, Republic of Kazakhstan, Aktobe.\*e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**THERMODYNAMIC MODELING OF THE SMELTING PROCESS OF A  
NEW COMPLEX CHROMIUM-MANGANESE-SILICON  
CONTAINING FERROALLOY**

*This article presents the results of a complete thermodynamic modeling of the smelting process of chromium-manganese-silicon-containing ferroalloy from chromium and manganese ores of Kazakhstan. A complete thermodynamic simulation of the smelting process of chromium-manganese silicon-containing ferroalloy was performed in the software package «HSC Chemistry 6». The principle of operation of this software package is based on the principle of maximum entropy and takes into account all known properties of the reacting components that make up the thermodynamic system. Thermodynamic analysis for modeling the smelting process of a complex alloy was carried out in the temperature range from 900 to 1800 °C for three real charge compositions (with a lack of 10 % solid reducing agent, with a normal course of the regime and with an excess of 10 % solid reducing agent). The mechanism of joint carbothermic reduction of silicon, aluminum, calcium, manganese, chromium and iron was studied using the Cr-Si-Al-Ca-Mn-Mg-O-C system. The calculations carried out make it possible to fully consider all the physicochemical processes occurring during the smelting of chromium-manganese silicon containing ferroalloy by the carbothermic method. According to thermodynamic data, the optimal consumption of solid carbon per 100 kg of ore mixture (chromium and manganese ore), in the amount of 17 kg, has been established. The chemical composition at a temperature of 1800 °C is, %: Cr - 43.43; Mn - 21.28; Si - 10.25 and Fe - 24.55.*

*Keywords: complex alloy, carbothermic process, chromium-manganese-silicon-containing ferroalloy, thermodynamics, chromium ore, manganese ore.*

**Introduction**

To determine the rational parameters of the technology of smelting chromium-manganese-silicon-containing ferroalloy, it is necessary to conduct a thermodynamic analysis of the state of the system, which allows determining the probable direction and depth of transformations of charge materials from the beginning of melting to metal production [1–2]. The mixture of starting materials for ferroalloy smelting is multicomponent (manganese and chromium ore, carbon reducing agent). To establish the

mechanism of joint carbothermic reduction of silicon, aluminum, calcium, manganese, chromium and iron, it is necessary to study the main reactions in the Cr-Si-Al-Ca-Mn-Mg-O-C system.

The relevance of the work lies in the need to develop a comprehensive ferroalloy technology by developing theoretical and technological foundations that contribute to increasing technical and economic indicators, as well as solving the task of attracting poor manganese ores of the Republic of Kazakhstan for metallurgical processing [3–4]. The ever-high demand for quality steel grades contributes to an increase in the production of ferroalloys, in particular, complex alloys based on three main elements-manganese, silicon and chromium, which are acidifiers of steel. To lay the scientific basis for the production of a complex chromium-manganese silicon-containing alloy (FeCrMnSi) using chromium and poor manganese ores in Kazakhstan, the study of Phase balances in the Cr-Fe-Mn-Si metallic system and the establishment of its general laws is carried out [5,6,7].

**Materials and methods**

To calculate the coexisting phases in the Cr-Si-Al-O-Mn-Mg-O-C system, thermodynamic values from the HSC Chemistry 6 database were taken. The database of the integrated HSC Chemistry 6 program is based on and updated by SGTE. According to the sources [8,9,10], the error in calculations on the HSC Chemistry software package is no more than 4–6 %, which is quite acceptable. The HSC software allows you to quickly and easily perform conventional thermodynamic calculations using personal computers. Therefore, HSC has a wide range of applications in scientific education, industry and research. The equilibrium composition of the multicomponent oxide and metal system was developed using the «Equilibrium Compositions» module. For the calculation, the algorithm of the «GIBBS» program of the minimum potential of the Gibbs energy was used.

For thermodynamic analysis, the principles that formed the basis of thermodynamic modeling of Cr-Si-Al-Ca-Mn-Mg-O-C systems were formulated.

1 Temperature. Thermodynamic analysis was carried out in the temperature range from 900 to 1800 °C. The lower limit characterizes the standard state, changes are insignificant up to a temperature of 900 °C, the upper limit is the final state, the melting point of the components, the formation of the final reaction products, that is, the initial and final equilibrium states of the system.

2 In all calculations, the pressure was chosen to be 0.1 MPa, which approximately corresponds to a pressure of 1 physical atm., characteristic of most metallurgical processes, including processes of solid-phase coal-thermal interaction.

3 Volume. The volume is determined by the thermodynamic state of the system.

4 The system is closed, there is no exchange with the environment.

5 A complete thermodynamic analysis was carried out for three real charge compositions (with a lack of 10 % solid reducing agent, with a normal course of the regime and with an excess of 10 % solid reducing agent) for smelting a complex alloy of manganese and chromium ore, in order to determine the optimal mode of the carbothermic process (Table 1).

Table 1 – Chemical composition of the charge mixture, kg.

Charge mixture	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	C
№ 1	27	15	13	29	12	3	8	11
№ 2	27	15	13	29	12	3	8	14
№ 3	27	15	13	29	12	3	8	17

6. The following substances were selected as associates for calculations:

- metal phase: Cr, Fe, Mn, Cr<sub>4</sub>C, Fe<sub>3</sub>C, C, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, FeSi, Cr<sub>3</sub>Si, CrSi, Fe<sub>3</sub>Si, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Si, CrSi<sub>2</sub>, Al, SiC, FeSi<sub>2</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, FeSi<sub>2.33</sub>, FeSi<sub>2.43</sub>, CaC<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si, CaMg<sub>2</sub>, MnSi, MnSi<sub>1.7</sub>, MnSi<sub>1.727</sub>, Mn<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, Mn<sub>15</sub>C<sub>4</sub>, Mn<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Mn<sub>3</sub>Si, MnC<sub>2</sub>, Mn<sub>3</sub>C, Al<sub>4</sub>SiC<sub>4</sub>;
- slag phase: Cr<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*2SiO<sub>2</sub>, MgO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, CaO\*MgO\*2SiO<sub>2</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (CaMg)0.5SiO<sub>3</sub>, (CaFe)0.5SiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, Cr<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub>, FeSiO<sub>3</sub>, MgO, \*3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*2SiO<sub>2</sub>, Al<sub>4</sub>Mg<sub>2</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, CaAl<sub>2</sub>SiO<sub>6</sub>, CaO\*MgO\*SiO<sub>2</sub>, FeO, CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*SiO<sub>2</sub>, CaO\*Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, CaMgSiO<sub>4</sub>, CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, \*2FeO\*SiO<sub>2</sub>, CaFe(SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaO\*2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, \*2CaO\*MgO\*2SiO<sub>2</sub>, \*2CaO\*SiO<sub>2</sub>, \*2CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*SiO<sub>2</sub>, FeO\*SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*2SiO<sub>2</sub>, Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, \*3CaO\*<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>, CaO\*MgO, \*3CaO\*MgO\*2SiO<sub>2</sub>, \*3CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*3SiO<sub>2</sub>, Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, CrO<sub>2</sub>, CaO\*6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>, Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, \*3CaO\*SiO<sub>2</sub>, \*2CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, AlO, CaFeSiO<sub>4</sub>, MgO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub>, \*3CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgFe<sub>1.415</sub>Cr<sub>0.632</sub>O<sub>4.07</sub>, CaO\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, CrO<sub>3</sub>, \*2CaO\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg<sub>7</sub>Al<sub>9</sub>O<sub>4</sub>\*Al<sub>3</sub>Si<sub>36</sub>, Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>10</sub>, Ca<sub>3</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>)<sub>3</sub>\*CaCO<sub>3</sub>, Mn<sub>0.9554</sub>Ca<sub>0.0446</sub>SiO<sub>3</sub>, Ca<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, CaFe<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, MnO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgCrO<sub>4</sub>, MnO, MnSiO<sub>3</sub>, CaCrO<sub>4</sub>, MnCO<sub>3</sub>, CaFe<sub>5</sub>O<sub>7</sub>, Fe<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>, MnO\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaMg<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, MnO<sub>2</sub>, \*2Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>\*CaCO<sub>3</sub>, Cr(CO)<sub>6</sub>, Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>\*2CaCO<sub>3</sub>, \*12CaO\*<sub>7</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>8</sub>O<sub>21</sub>, Fe<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub>, \*4CaO\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Fe<sub>2</sub>(CO)<sub>9</sub>, Ca(MnO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, MgMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>;
- gas phase: CO<sub>(g)</sub>, CO<sub>2(g)</sub>, SiO<sub>(g)</sub>, Mg<sub>(g)</sub>, Al<sub>(g)</sub>, Si<sub>(g)</sub>, AlO<sub>(g)</sub>, MgO<sub>(g)</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>(g)</sub>, Mn<sub>(g)</sub>, MnO<sub>(g)</sub>.

**Results and discussion**

The main purpose of thermodynamic modeling in this work is to establish the regularities of the distribution of chemical elements between metal, slag and the gas phase during carbothermic reduction of chromium and manganese ore.

Data analysis shows that the initial composition of the charge, recovering, undergoes significant changes. As a result of modeling, it was revealed that, during the smelting of chromium-manganese-silicon-containing ferroalloy by the carbothermic method up to 1800 °C, the formation and some changes of elements (Figure 1, 2, 3 and 4) in the gas, metal and slag phase are observed.

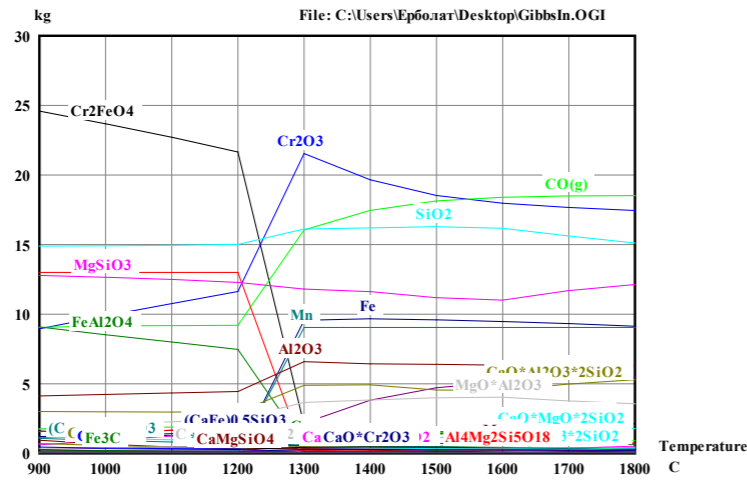


Figure 1 – Dependence of the condensed and gas phase composition on temperature (consumption of solid carbon 11 kg per 100 kg of ore mixture)

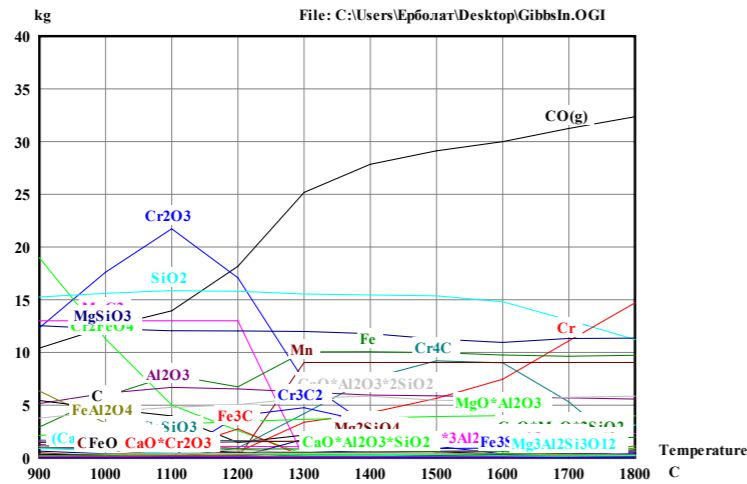


Figure 2 – Dependence of the condensed and gas phase composition on temperature (consumption of solid carbon 14 kg per 100 kg of ore mixture)

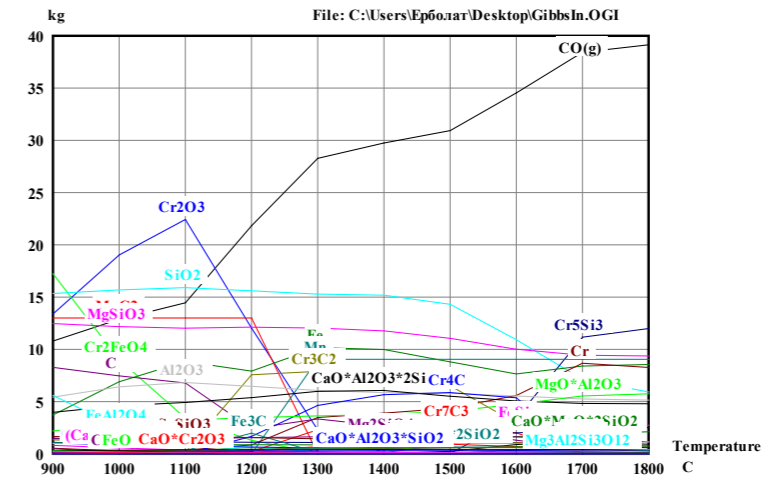


Figure 3 - Dependence of the condensed and gas phase composition on temperature (consumption of solid carbon 17 kg per 100 kg of ore mixture)

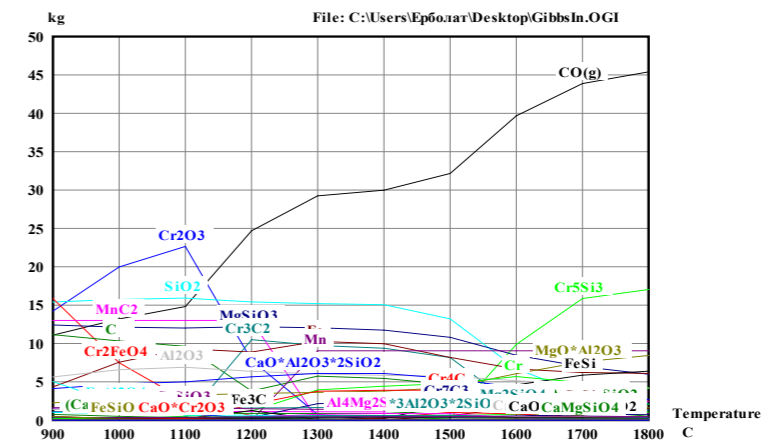


Figure 4 - Dependence of the condensed and gas phase composition on temperature (consumption of solid carbon 20 kg per 100 kg of ore mixture)

Analysis of the curves shown in the figures shows that:  
 – charge mixture № 1 (Figure 1), solid carbon consumption 11 kg. The reduction processes of metal formation begin at a temperature of 1200 °C, the content of iron and manganese at a temperature of 1300 °C is 8–9 kg in the metallic phase, practical in all solid carbon costs. At a solid carbon consumption of 11 kg per charge mixture, the phase -  $Cr_2FeO_4$  at a temperature of 1300 °C will decompose into free  $Cr_2O_3$ , the content of which reaches 22 kg in the slag mixture. As the temperature increases, the content of  $Cr_2O_3$  decreases to 18, the high content of  $Cr_2O_3$  and  $SiO_2$  in the slag phase indicates a clear lack of reducing agent. In the composition of the metal phase, the silicon content is very low.

– charge mixture № 2 (Figure 2), solid carbon consumption 14 kg. The reduction processes of metal formation begin at a temperature of 1200 °C, the content of iron and manganese at a temperature of 1300 °C is 8–9 kg in the metallic phase, practical in all solid carbon costs. With a solid carbon consumption of 14 kg per charge mixture, starting from a temperature of 1100 to 1450 °C, the phase – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the slag mixture decreases, and the Cr content increases to 15 kg in the metal phase. The high content of SiO<sub>2</sub> in the slag phase also indicates a lack of reducing agent.

– charge mixture № 3 (Figure 3), solid carbon consumption 17 kg. The reduction processes of metal formation begin at a temperature of 1200 °C, the content of iron and manganese at a temperature of 1300 °C is 8–9 kg in the metallic phase, practical in all solid carbon costs. At a solid carbon consumption of 17 kg per charge mixture, starting from a temperature of 1100 to 1300 °C, the phase – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decreases in the slag mixture, the content of Cr, Cr<sub>4</sub>C, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>3</sub>Si, CrSi, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Si, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> increases in the metal phase. The SiO<sub>2</sub> content in the slag phase is reduced to 6 kg, which indicates the abundance of the reducing agent (Table 2).

– charge mixture № 4 (Figure 4), solid carbon consumption 20 kg. The reduction processes of metal formation begin at a temperature of 1200 °C, the content of iron and manganese at a temperature of 1300 °C is 8-9 kg in the metallic phase, practical in all solid carbon costs. At a solid carbon consumption of 20 kg per charge mixture, starting from a temperature of 1100 to 1300 °C, the phase - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decreases in the slag mixture, the content of Cr, Cr<sub>4</sub>C, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>3</sub>Si, CrSi, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Si, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> increases in the metal phase. There is a high silicon content in the metal at a temperature of 1800 °C, 15.80 %.

According to thermodynamic data, changes in the composition of metal and slag were calculated for each charge mixture at a temperature range of 900–1800 °C.

Table 2 – Chemical composition of metal and slag

Charge mixture № 1, consumption C <sub>solid</sub> - 11 kg									
t, °C	Metal composition, %				Slag composition, %				
	Cr	Mn	Si	Fe	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
900	0.0	51.6	0.0	10.7	30.72	12.26	31.73	13.66	2.80
1000	0.0	46.4	0.0	23.0	31.81	8.81	33.07	14.14	2.99
1100	0.3	42.1	0.0	32.5	32.87	5.27	34.48	14.66	3.19
1200	3.8	39.4	0.0	35.7	32.45	3.54	35.69	15.13	3.33
1300	26.3	31.5	0.0	34.7	23.64	0.84	42.15	17.76	4.03
1400	33.9	29.5	0.0	32.7	18.65	0.80	44.95	18.93	4.31
1500	37.2	28.7	0.1	31.9	16.08	0.75	46.38	19.52	4.49
1600	39.1	28.2	0.2	31.5	14.39	0.69	47.31	19.89	4.66
1700	40.3	27.9	0.3	31.2	13.35	0.67	47.78	20.11	4.81
1800	40.5	27.9	0.4	31.0	13.44	0.84	47.46	20.05	4.90

Charge mixture № 2, consumption C <sub>solid</sub> - 14 kg									
t, °C	Metal composition, %				Slag composition, %				
	Cr	Mn	Si	Fe	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
900	0.00	42.29	0.00	13.82	31.17	10.88	32.27	13.85	2.88
1000	0.06	38.04	0.00	25.65	32.52	6.57	33.94	14.47	3.11
1100	1.02	35.05	0.00	32.99	33.35	3.01	35.49	15.04	3.33
1200	16.84	30.67	0.00	31.52	27.40	1.96	39.41	16.66	3.73
1300	36.85	25.48	0.01	28.67	13.29	0.55	48.08	20.23	4.62
1400	43.28	24.02	0.06	27.22	5.83	0.43	52.29	22.01	5.05
1500	45.79	23.43	0.21	26.69	2.21	0.33	54.26	22.88	5.32
1600	46.65	23.19	0.72	26.55	0.79	0.24	54.71	23.35	5.55
1700	46.65	23.15	2.14	26.55	0.73	0.22	53.50	23.91	5.82
1800	46.31	23.26	3.53	26.63	1.44	0.29	51.48	24.45	6.09

t, °C	Metal composition, %				Slag composition, %				
	Cr	Mn	Si	Fe	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
900	0.00	42.29	0.00	13.82	31.17	10.88	32.27	13.85	2.88
1000	0.06	38.04	0.00	25.65	32.52	6.57	33.94	14.47	3.11
1100	1.02	35.05	0.00	32.99	33.35	3.01	35.49	15.04	3.33
1200	16.84	30.67	0.00	31.52	27.40	1.96	39.41	16.66	3.73
1300	36.85	25.48	0.01	28.67	13.29	0.55	48.08	20.23	4.62
1400	43.28	24.02	0.06	27.22	5.83	0.43	52.29	22.01	5.05
1500	45.79	23.43	0.21	26.69	2.21	0.33	54.26	22.88	5.32
1600	46.65	23.19	0.72	26.55	0.79	0.24	54.71	23.35	5.55
1700	46.65	23.15	2.14	26.55	0.73	0.22	53.50	23.91	5.82
1800	46.31	23.26	3.53	26.63	1.44	0.29	51.48	24.45	6.09

Charge mixture № 3, consumption C <sub>solid</sub> - 17 kg									
t, °C	Metal composition, %				Slag composition, %				
	Cr	Mn	Si	Fe	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
900	0.00	36.17	0.00	14.96	31.50	9.85	32.67	14.00	2.93
1000	0.10	32.88	0.00	25.54	32.94	5.23	34.47	14.66	3.18
1100	1.69	30.72	0.00	31.01	33.36	2.07	36.02	15.24	3.40
1200	25.80	25.39	0.00	27.43	20.75	1.26	43.52	18.36	4.14
1300	40.94	22.04	0.02	25.15	4.55	0.29	53.11	22.33	5.14
1400	43.59	21.47	0.19	24.69	0.31	0.14	55.44	23.39	5.42
1500	43.68	21.40	1.40	24.70	0.03	0.07	54.62	23.96	5.63
1600	43.48	21.30	5.51	24.58	0.01	0.05	50.78	25.94	6.18
1700	43.25	21.18	9.90	24.46	0.04	0.08	45.60	28.61	6.88
1800	43.43	21.28	10.25	24.55	0.05	0.12	43.90	29.46	7.17

Charge mixture № 4, consumption C <sub>solid</sub> - 20 kg									
t, °C	Metal composition, %				Slag composition, %				
	Cr	Mn	Si	Fe	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
900	0.01	31.76	0.00	15.25	31.76	9.04	32.98	14.12	2.98
1000	0.12	29.19	0.00	24.62	33.22	4.35	34.82	14.79	3.23
1100	2.23	27.53	0.00	28.80	33.23	1.57	36.38	15.38	3.45
1200	30.58	22.04	0.00	24.50	14.38	0.79	47.34	19.95	4.53
1300	40.00	20.18	0.02	23.18	1.51	0.16	54.89	23.05	5.33
1400	40.81	20.01	0.31	23.09	0.06	0.07	55.50	23.52	5.47
1500	40.76	19.96	2.54	23.09	0.00	0.03	53.45	24.61	5.79
1600	40.32	19.74	10.63	22.82	0.00	0.02	44.13	29.54	6.97
1700	40.18	19.67	14.86	22.71	0.00	0.02	36.78	33.54	7.83
1800	40.41	19.78	15.80	22.85	0.00	0.03	32.90	35.91	8.29

**Conclusions**

Thus, the calculations carried out fully allow us to consider all the physico-chemical processes occurring during the smelting of chromium-manganese-silicon-containing ferroalloy by the carbothermic method. The optimal consumption of solid carbon is 17 kg per 100 kg of ore mixture, the chemical composition at 1800 °C is, %: Cr–43.43; Mn–21.28; Si – 10.25; Fe – 24.55.

Thermodynamic calculations also show that increasing the consumption of solid carbon to 20 kg per 100 kg of ore mixture reduces the chromium and manganese content, the chemical composition at 1800 °C is, %: Cr – 40.41; Mn – 19.78; Si – 15.80; Fe – 22.85.

**Financing**

The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant № AP19676290).

## REFERENCES

- 1 **Druinskij, M. I., Zhuchkov, V. I.** Poluchenie kompleksny`x ferrosplavov iz mineral`nogo sy`r`ya Kazaxstana. – Alma-Ata: Nauka, 1988. – 208 p.
- 2 **Salimgerej, N. A.** Fazovy`e ravnovesiya pri plavke xromomargancevo-kremnievogo splava: dis. ... magistr texn. nauk: 6M070900. - Karaganda, 2019. - 53 p.
- 3 **Maxambetov, E. N., Timirbaeva, N. R., Bajsanov, A. S. i dr.** Termodinamicheskij analiz vosstanovitel`ny`x processov vy`plavki ferrosplavov iz texnogenny`x otxodov ugol`noj i metallurgicheskoy promy`shlennosti // Trudy` kongressa «Fundamental`ny`e issledovaniya i prikladny`e razrabotki processov pererabotki i utilizacii texnogenny`x obrazovaniy. TEXNOGEN-2019». – Ekaterinburg, 2019. – P. 288–290.
- 4 **Bajsanov, S. O., Shabanov, E. Zh., Bajsanov, A. S.** Vovlechenie v metallurgicheskij peredel otxodov ugol`noj i ferrosplavnoj promy`shlennosti s polucheniem ligatury` s xromom // Trudy` Universiteta. – 2017. – № 4. – P. 24–26.
- 5 **Toly`mbekov, M. Zh., Bajcanov, C. O., Mucina, I. B. i dr.** Pazpabotka texnologii vy`plavki kompleksnogo splava AXC (alyuminij-xrom-kremnij) // Teoriya i ppaktika feppocplavnogo ppoizvodctva: sb. nauch. tpudov mezhdunar. konf., pocv. 50-letiyu OAO «Серовский завод feppocplavov». – Nizhnij Tagil: Kn. izd-vo, 2008. – P. 122–129.
- 6 **Medvedev, G. V., Takenov, T. D.** Splav AMS. – Alma-Ata: Nauka, 1979. – 140 p.
- 7 **Zhakan, A. M., Bajmy`rza, E. S.** Analiz fazovy`x ravnovesij v metallicheskoj sisteme Cr-Mn-Si-Fe pri standartnoj temperature metodom termodinamicheskoy diagrammy` // Materialy` XIX Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molody`x ucheny`x, doktorantov PhD, magistrantov i studentov «МОЛОДЕЖЬ, НАУКА И ИННОВАЦИИ». - Aktobe: Aktyubinskij regional`ny`j universitet im. K.Zhubanova, 2023. – P. 213–215.
- 8 **Shevko, V. M., Karataeva, G. E., Badikova, A. D., i dr.** Termodinamicheskaya model` vliyaniya temperatury` i ugleroda na poluchenie ferrosplava i karbida kal`ciya

iz bazal`ta mestorozhdeniya Dubersaj // Kompleksnoe ispol`zovanie mineral`nogo sy`r`ya. – 2018. – № 3. – P. 86–94.

9 Scientific Group Thermodata Europe 2017 [E`lektronny`j resurs] – URL: <https://www.factsage.com/.svobodny`j>. – Zagl. s e`krana. (data obrashheniya 04.06.2018)

10 **Makhambetov, Ye., Timirbayeva, N., Baisanov, S., Baisanov, A. et al.** Thermodynamic modeling of phase composition for Fe-Ca-Si-Al system // Metalurgija. – 2020. – Vol. 60, Issue 1–2. – P. 117–120.

Material received on 10.07.23.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Друинский, М. И., Жучков, В. И.** Получение комплексных ферросплавов из минерального сырья Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 208 с.
- 2 **Салимгерей, Н. А.** Фазовые равновесия при плавке хромомарганцево-кремниевое сплава: дис. ... магистр техн. наук: 6M070900. – Караганда, 2019. – 53 с.
- 3 **Махамбетов, Е. Н., Тимирбаева, Н. Р., Байсанов, А. С. и др.** Термодинамический анализ восстановительных процессов выплавки ферросплавов из техногенных отходов угольной и металлургической промышленности // Труды конгресса «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований. ТЕХНОГЕН-2019». – Екатеринбург, 2019. – С. 288–290.
- 4 **Байсанов, С. О., Шабанов, Е. Ж., Байсанов, А. С.** Вовлечение в металлургический передел отходов угольной и ферросплавной промышленности с получением лигатуры с хромом // Труды Университета. – 2017. – № 4. – С. 24–26.
- 5 **Толымбеков, М. Ж., Байсанов, С. О., Мусина, И. Б. и др.** Разработка технологии выплавки комплексного сплава АХС (алюминий-хром-кремний) // Теория и практика ферросплавного производства: сб. науч. трудов междунар. конф., посв. 50-летию ОАО «Серовский завод ферросплавов». – Нижний Тагил: Кн. изд-во, 2008. – С. 122–129.
- 6 **Медведев, Г. В., Такенов, Т. Д.** Сплав АМС. – Алма-Ата : Наука, 1979. – 140 с.
- 7 **Жакан, А. М., Баймырза, Е. С.** Анализ фазовых равновесий в металлической системе Cr-Mn-Si-Fe при стандартной температуре методом термодинамической диаграммы // Материалы XIX Международной научной конференции молодых ученых, докторантов PhD, магистрантов и студентов «МОЛОДЕЖЬ, НАУКА И ИННОВАЦИИ». - Актобе: Актыубинский региональный университет им. К.Жубанова, 2023. – С. 213–215.
- 8 **Шевко, В. М., Каратаева, Г. Е., Бадикова, А. Д., и др.** Термодинамическая модель влияния температуры и углерода на получение ферросплава и карбида кальция из базальта месторождения Дуберсай // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 3. – С. 86–94.

9 Scientific Group Thermodata Europe 2017. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.factsage.com/>. свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 04.06.2018)

10 Makhambetov, Ye., Timirbayeva, N., Baisanov, S., Baisanov, A. et al. Thermodynamic modeling of phase composition for Fe-Ca-Si-Al system // Metalurgija. – 2020. – Vol. 60, Issue 1–2. – P. 117–120.

\*Е. Н. Махамбетов<sup>1</sup>, С. Т. Габдуллин<sup>2</sup>, З. Зулхан<sup>3</sup>,  
А. М. Жақан<sup>4</sup>, А. А. Мырзагалиев<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>Ж.Әбішев атындағы химико-металлургиялық институт,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ;

<sup>3</sup>Тау-кен ісі және мұнай инженериясы факультеті,  
Бандунг технологиялық институты, Индонезия;

<sup>5</sup>«ERG-дің ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы»  
ЖШС, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.  
Материал 10.07.23 баспаға түсті.

### ЖАҢА КЕШЕНДІ ХРОМ-МАРГАНЕЦ-КРЕМНИЙ ҚҰРАМДАС ФЕРРОҚОРЫТПАНЫ БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл мақалада Қазақстанның хром және марганец кендерінен құрамында хром-марганец-кремний бар ферроқорытпаны балқыту үрдісін толық термодинамикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Құрамында хром-марганец-кремний бар ферроқорытпаны балқыту үрдісін толық термодинамикалық модельдеу «HSC Chemistry 6» бағдарламалық кешенінде жүргізілді. Бұл бағдарламалық кешеннің жұмыс принципі максималды энтропия принципіне негізделген және термодинамикалық жүйені құрайтын реакция компоненттерінің барлық белгілі қасиеттерін ескереді. Кешенді қорытпаны балқыту үрдісін модельдеуге арналған термодинамикалық талдау үш нақты шихта құрамы үшін 900-ден 1800 °C дейінгі температуралық интервалда жүргізілді (10% қатты тотықсыздандырғыштың жетіспеушілігімен, қалыпты режиммен және 10% қатты тотықсыздандырғыштың артық мөлшерімен). Кремний, алюминий, кальций, марганец, хром және темірдің бірлескен карботермиялық тотықсыздану механизмі Cr-Si-Al-Ca-Mn-Mg-O-C жүйесі арқылы зерттелді. Жүргізілген есептеулер құрамында хром-марганец-кремний бар ферроқорытпаны карботермиялық тәсілмен балқыту кезінде болатын барлық физика-химиялық үрдістерді толық қарауға мүмкіндік береді. Термодинамикалық мәліметтерге сәйкес 17 кг мөлшерінде 100 кг кен қоспасына (хром және марганец кендері) қатты көміртектің оңтайлы шығыны анықталды. 1800 °C температурада қорытпаның химиялық құрамы %: Cr - 43.43; Mn - 21.28; Si - 10.25 және Fe - 24.55.

Кілтті сөздер: кешенді қорытпа, карботермиялық үрдіс, құрамында хром-марганец-кремний бар ферроқорытпа, термодинамика, хром кені, марганец кені.

\*Е. Н. Махамбетов<sup>1</sup>, С. Т. Габдуллин<sup>2</sup>, З. Зулхан<sup>3</sup>,  
А. М. Жақан<sup>4</sup>, А. А. Мырзагалиев<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>Химико-металлургический институт имени Ж.Абишева,  
Республика Казахстан, г. Караганда.

<sup>3</sup>Факультет горного дела и нефтяной инженерии,  
Технологический институт Бандунга, Индонезия;

<sup>5</sup>ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр» ERG,  
Республика Казахстан, г. Ақтобе.  
Материал поступил в редакцию 10.07.23.

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ НОВОГО КОМПЛЕКСНОГО ХРОМ-МАРГАНЕЦ- КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ФЕРРОСПЛАВА

В данной статье приведены результаты полного термодинамического моделирования процесса выплавки хром-марганец-кремнийсодержащего ферросплава из хромовых и марганцевых руд Казахстана. Полное термодинамическое моделирование процесса выплавки хром-марганец-кремнийсодержащего ферросплава были произведены в программном комплексе «HSC Chemistry 6». Принцип работы данного программного комплекса основан на принципе максимума энтропии и учитывающий все известные свойства реагирующих компонентов, составляющих термодинамическую систему. Термодинамический анализ для моделирования процесса выплавки комплексного сплава осуществлялся в температурном интервале от 900 до 1800 °C для трех реальных составов шихты (с недостатком 10 % твердого восстановителя, с нормальным ходом режима и с избытком 10 % твердого восстановителя). Механизм совместного карботермического восстановления кремния, алюминия, кальция, марганца, хрома и железа изучали по системе Cr-Si-Al-Ca-Mn-Mg-O-C. Проведенные расчеты, в полной мере позволяют рассмотреть все физико-химические процессы, протекающие при выплавке хром-марганец-кремнийсодержащего ферросплава карботермическим способом. Согласно термодинамическим данным установлен оптимальный расход твердого углерода на 100 кг рудной смеси (хромовой и марганцевой руды), в количестве 17 кг. Химический состав сплава при 1800 °C составляет, %: Cr - 43.43; Mn - 21.28; Si - 10.25 и Fe - 24.55.

Ключевые слова: комплексный сплав, карботермический процесс, хром-марганец-кремнийсодержащий ферросплав, термодинамика, хромовая руда, марганцевая руда.

МРНТИ 27.47.19

<https://doi.org/10.48081/DKXU4444>**\*С. В. Арельева<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан, г. Рудныйe-mail: [smirnovasv@mail.ru](mailto:smirnovasv@mail.ru)**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

*В настоящее время актуальным является аналитический подход в управлении предприятием. Такой подход предполагает использование математического аппарата. Математические методы позволяют смоделировать производственный процесс, представить точные решения. Результаты исследований служат для обоснования управленческих решений. В данной статье рассмотрены вопросы применения технологии оптимального управления для нахождения экономических и технологических показателей. Цель работы: использование методов математического программирования в управлении производством в области транспорта. В расчетах использованы реальные данные конкретного предприятия. Составлены целевые функции и условия ограничений на переменные, отражающие технологический процесс предприятия. В расчетах были использованы аналитический и графический методы решений. Исследования проводятся в случаях линейной и нелинейной целевых функций. Условия ограничений в соответствии с технологией имеют линейный и нелинейный вид. Рассчитываются планы производства, планы реализации продукции, найдены глобальные экстремумы. Значимость исследования состоит в том, что без математического описания процессов современный уровень управления и планирования не может быть достигнут. Полученные расчеты дают возможность избежать рисков при планировании производства. Точный прогноз позволит выстраивать верную стратегию. Данный практический материал может использоваться на предприятиях транспорта для повышения эффективности работы.*

*Ключевые слова: математическая модель, метод множителей Лагранжа, целевая функция, оптимальный план, нелинейное программирование, стратегия, глобальный экстремум.*

**Введение**

В настоящее время управление производством в транспортной сфере имеет сложную задачу. Научный подход в планировании, обслуживании и прогнозировании требует от современного специалиста высокой квалификации и грамотных расчетов. Применение различных методов математического моделирования позволит правильно выстроить стратегию предприятия и сделать

научные и практические выводы. В данной работе рассмотрены математические подходы в управлении технологическими процессами предприятия. Цель работы – применение методов математического программирования при решении производственных ситуаций. Объект исследования - предприятие ТОО «СарыаркаАвтоПром» (далее – предприятие), специализирующееся на сборке автомобилей. Предмет исследования – показатели объекта.

Для достижения цели в работе решались задачи:

- 1 Исследование производственного процесса предприятия.
- 2 Применение математических методов для моделирования процессом управления.
- 3 Использование методик для определения наилучших и рациональных решений.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенные методы позволят квалифицированно походить к управлению производством.

Гипотезой научного исследования является предположение о том, что система научного подхода является источником повышения эффективности работы предприятия. Предполагается, что внедрение математических методов в систему управления обеспечит предприятию снижение издержек путем совершенствования управления, позволит нарастить объемы производимых работ и т.д.

В научной литературе представлен достаточный обзор применения методов математического программирования в различных сферах деятельности человека. Имитационные модели в планировании на предприятии представлены в работе [1]. В научных статьях [2–3] приводятся исследования задач нелинейного программирования с линейными ограничениями в сфере транспортных задач. Работа [4] носит фундаментальный характер. Аналитические методы оптимизации представлены в трудах [5–8]. Задачи нелинейного программирования содержат приближенные алгоритмы на основе алгоритмов аппроксимации, работа [9]. Теория математического программирования в статье [10] представлена в случае нелинейной целевой функцией и нормированными условиями, наложенными на аргументы.

**Материалы и методы**

Применялись аналитические и графические методы математического программирования. Рассмотрены случаи, когда целевая функция линейного, нелинейного, дробно-линейного видов. Условия ограничений линейного и нелинейного видов. В качестве материала были использованы производственные показатели предприятия: производственный план, план реализации продукции и другие.

Определения плана производства и плана реализации продукции, в случае нелинейной целевой функции и линейной системы ограничений было определено методом множителей Лагранжа.

Нахождение показателей предприятия, необходимых для принятия стратегического плана развития, выполняется в случае, когда целевая функция – дробно-линейного вида. К данной модели приводят задачи на вычисление



затрат, рентабельности продаж, себестоимости изделий. Условия ограничений на переменные формируются исходя из входных данных.

Прогнозирование работы предприятия, планирование ремонта оборудования, управление материальными ресурсами решаются не только аналитическими методами, но и графическими. Они используются, когда целевая функция или условия ограничений имеют нелинейные виды. В пунктах 1-5 рассмотрены исследования различных производственных процессов.

1 Предприятие осуществляет сборку 35000 автомобилей в год по двум технологическим способам. При сборке одного изделия первым способом его себестоимость равна  $3x_1$ , вторым –  $x_2$ , где  $x_1$  и  $x_2$  - объёмы выпуска по соответствующему технологическому способу. Рассчитаем план производства, при котором себестоимость производственной продукции была бы минимальной.

Математическая модель имеет вид:

$$L = 3x_1x_1+x_2x_2 \rightarrow \min, \text{ или } L = 3x_1^2 + x_2^2 \rightarrow \min,$$

при условиях ограничений

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 35000, \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

Используется метод множителей Лагранжа, составляется сначала функция Лагранжа:

$$F(x_1, x_2, \lambda) = 3x_1^2 + x_2^2 + \lambda(x_1 + x_2 - 35000).$$

Частные производные функции F по каждой переменной приравняем к нулю и найдем неизвестные:

$$\begin{cases} 6x_1 + \lambda = 0 \\ 2x_2 + \lambda = 0 \\ x_1 + x_2 - 35000 = 0. \end{cases}$$

$$x_1 = 8750, x_2 = 26250, \lambda = - 52500, \text{ откуда } L = 918750000.$$

2 Предприятие реализует автомобили двумя способами: через розничную и оптовую торговлю. При реализации продукции в количестве  $x_1$  в розницу, расходы составляют  $4x_1+x_1^2$  ден. ед., а при продаже продукции в количестве  $x_2$  оптом –  $x_2^2$  ден.ед. Найдем оптимальный план реализации продукции, минимизирующий суммарные расходы, если общее число продукции, которую необходимо реализовать за данный отрезок времени составляет 300 ед.

Математическая модель задачи:

$$L = 4x_1+x_1^2 + x_2^2 \rightarrow \min,$$

при условиях ограничений

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 300, \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

Функция Лагранжа:

$$F(x_1, x_2, \lambda) = 4x_1 + x_1^2 + x_2^2 + \lambda(x_1 + x_2 - 300).$$

$$\begin{cases} 4 + 2x_1 + \lambda = 0 \\ 2x_2 + \lambda = 0 \\ x_1 + x_2 - 300 = 0. \end{cases}$$

$$x_1 = 149, x_2 = 151, \lambda = - 302, \text{ откуда } L = 45598.$$

3 Для сборки двух видов автомобилей (А и В) используется три типа технологического оборудования. Каждый транспорт должен пройти обработку на каждом из типов оборудования. Входные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Входные данные

Тип оборудования	Затраты времени, ч	
	А	В
1	2	7
2	2	1
3	20	4
Затраты на производство, усл.ден.ед.	2	5

Оборудование 1 и 3 типов предприятие может использовать не более 25 и 72 часов соответственно, 2 типа – не менее 8 ч. Рассчитаем план производства при минимальной средней себестоимости одного изделия. Обозначим  $x_1$  – количество автомобилей вида А, которое следует изготовить предприятию,  $x_2$  – вида В,  $x_{1,2} \geq 0$ .

Общие затраты на их производство составят  $(2x_1 + 5x_2)$  усл. ден. ед., средняя себестоимость одного автомобиля равна:

$$\frac{2x_1 + 5x_2}{x_1 + x_2}.$$

Целевая функция:

$$L = \frac{2x_1 + 5x_2}{x_1 + x_2} \rightarrow \min,$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} 2x_1 + 7x_2 \leq 25 \\ 2x_1 + 2x_2 \geq 8 \\ 20x_1 + 4x_2 \leq 72, \end{cases}$$

Область допустимых решений системы ограничений –  $\Delta ABC$ , рисунок 1.

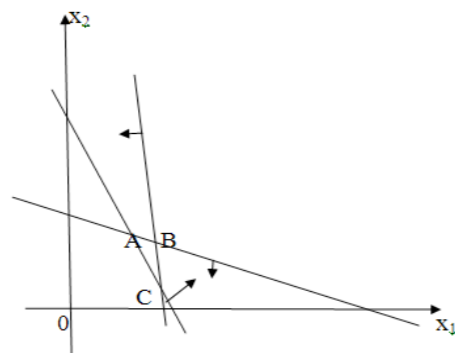


Рисунок 1 – Область допустимых решений

Найдем  $x_2$  из функции  $L = \frac{2x_1 + 5x_2}{x_1 + x_2} : x_2 = \frac{L - 2}{5 - L} \cdot x_1$ .

Угловой коэффициент прямой равен:

$$k = \frac{L - 2}{5 - L}, k' = \frac{3}{(5 - L)^2}.$$

Функция  $k(L)$  возрастает, так как  $k' > 0$ . Тогда, в точке С целевая функция будет иметь наименьшее значение. Найдем координаты точки С из системы уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 = 8 \\ 20x_1 + 4x_2 = 72, \end{cases}$$

$$x_1 = \frac{10}{3}, x_2 = \frac{4}{3}, L = \frac{20}{7}.$$

4. Рассмотрим ситуацию, когда условия ограничений имеют нелинейный вид, а целевая функция – линейный. Целевая функция представляет

производственный процесс, который может отражать планы, затраты, выручку и т.д. Переменные  $x_1$  и  $x_2$  – объемы, цены и т.д.

Производственный процесс предприятия выражен функцией  $L = 5x_1 + 4x_2$ , где  $x_1$  и  $x_2$  – объемы выпускаемых автомобилей вида А и В. Рассчитаем глобальные экстремумы целевой функции, при ограничениях на показатели:

$$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 \leq 16 \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

Область допустимых решений представлена на рисунке 2.

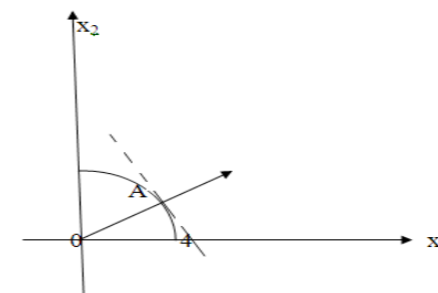


Рисунок 2 - Область допустимых решений

Градиент функции  $\text{grad } L = 5i + 4j$ . Линии уровня – линии, перпендикулярные градиенту, с угловым коэффициентом, равным  $4/5$ . Глобальный минимум достигается в точке О (0,0), глобальный максимум – в точке А касания линии уровня и окружности. Уравнение прямой, на которой лежит градиент функции:

$$x_2 = \frac{4}{5}x_1.$$

Решаем систему методом подстановки:

$$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 = 16 \\ x_2 = \frac{4}{5}x_1, \end{cases}$$

находим

$$x_1 = \frac{20\sqrt{41}}{41}, \quad x_2 = \frac{16\sqrt{41}}{41},$$

$$L = 5 \cdot \frac{20\sqrt{41}}{41} + 4 \cdot \frac{16\sqrt{41}}{41} = \frac{164\sqrt{41}}{41}.$$

5. Рассмотрим задачу, в которой целевая функция нелинейного вида, а условия ограничений – линейного. Производственная функция

$$L = (x_1 - 5)^2 + (x_2 - 3)^2 \text{ имеет ограничения:}$$

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 \leq 12 \\ x_1 + x_2 \leq 8 \\ x_{1,2} \geq 0. \end{cases}$$

Определим глобальные экстремумы функции.

Четырехугольник OABD – область допустимых решений, рисунок 3.

Линии уровня – окружности с центром в точке  $O_1$ . Максимальное значение производственная функция имеет в точке D (8;0), минимальное – в точке  $O_1$  (5;3),  $L(D) = (8-5)^2 + (0-3)^2 = 25$ .

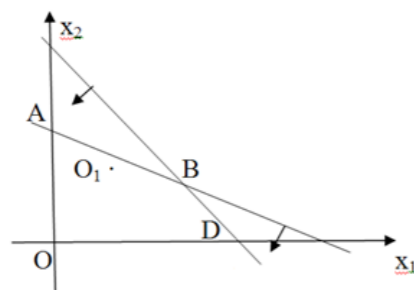


Рисунок 3 – Область допустимых решений

### Результаты и обсуждение

В пункте 1 результат исследования показывает: для того, чтобы себестоимость производственной продукции была минимальной, необходимо производить сборку по первому технологическому способу в количестве 8750 ед., по второму – 26250 ед. автомобилей, при этом минимальная себестоимость составит 918750000 ден. ед.

В пункте 2 вывод следующий: оптимальный план реализации автомобилей в розницу равен 149 ед., оптом – 151 ед., минимальные суммарные расходы составят 45598 ден. ед.

Результат пункта 3: предприятию следует выпускать 3 автомобиля вида А и 1 автомобиль вида В. При этих условиях средняя себестоимость одного автомобиля будет минимальной и равной 2,85 ден. ед. (здесь и далее полученные данные были округлены исходя из смысла задачи).

Ответ в задаче 4 означает, что глобальный минимум, равный нулю, достигается в точке O(0, 0), глобальный максимум, равный 25,6 достигается в точке A (3;2,5).

Пункт 5: глобальный максимум равный 25 производственная функция достигает в точке D (8;0), глобальный минимум, равный нулю – в точке  $O_1$  (5;3).

Таким образом, выдвинутая гипотеза о научном подходе в управлении производством подтверждается. Математические расчеты дают точное направление развития производства.

Анализ результатов говорит о том, что аналитический подход в планировании предприятием должен осуществляться с помощью методов математического моделирования. Предложенные решения дают возможность точно спланировать и грамотно управлять производством. Данные исследования имеют перспективу внедрения в производство.

### Заключение

Автомобилестроительное предприятие осуществляет различные операции: сварку, окраску, сборку автомобилей. Производит различные типы транспортных средств. Управление рабочим процессом носит многовекторный характер. Поэтому:

1 Применение математических методов для решения производственных, технологических задач позволит с достаточной точностью рассчитать правильные стратегии и риски.

2 В результате точных решений прогнозируется работа производственного процесса, формируются верные научные и практические выводы.

3 Экономический эффект от правильных решений поставленных задач может достигать сотни миллионов тенге.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Бабина, О. И.** Обзор имитационных моделей в планировании на предприятии // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12–6. – С. 1173–1178; [Электронный ресурс]. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39751>.

2 **Володина, Е. Е., Лившиц, В. Н.** Об алгоритме «наводнение» приближенного решения гладких задач нелинейного программирования с линейными ограничениями большой размерности // *Экономика и математические методы* – 2019. – Том 55. – № 4 С. 78–88. [Электронный ресурс]. – URL: <https://emm.jes.su/S042473880006776-2-1>. DOI: 10.31857/S042473880006776-2.

3 **Левин, В. И., Немкова, Е. А.** Интервальная задача оптимизации себестоимости эффективности продукции // *Системы управления связи и безопасности* – 2016. – № 1 С. 240–260.

4 **Luenberger, D. G., Ye. Y.** Linear and nonlinear programming. – Basel: Springer International Publishing, 2016. – 546 p.

5 **Salman, A. M., Al-Jilawi, A. S.** Solving nonlinear optimization problem using approximation methods // International Journal of Health Sciences. – 2022. – Vol. 6(S3). – P. 1578–1586. – DOI: 10.53730/ijhs.v6nS3.5699.

6 **Данданян, А. Н., Хайдарова, Л. А., Курганова, М. В.** Решение задач нелинейного программирования по условиям Куна-Таккера // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2020. – № 1–2. – С. 24–27.

7 **Тимофеев, А. Г., Лебединская, О. Г.** Поиск быстрого решения задачи нелинейного программирования // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 48–51. – EDN: TMQJRU.

8 **Mai, T., Mortari, D.** Theory of functional connections applied to quadratic and nonlinear programming under equality constraints // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2022. – Vol. 406. – Art. 113912. – [Electronic resource]. – DOI: 10.1016/j.cam.2021.113912.

9 **Yang, I., Burden, S. A., Rajagopal, R., Sastry, S. S., Tomlin, C. J.** Approximation Algorithms for Optimization of Combinatorial Dynamical Systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 2016. – vol. 61, № 9, P. 2644–2649. DOI: 10.1109/TAC.2015.2504867.

10 **Djukic, R. R.** Partial stability of multi attribute decision-making solutions for interval determined criteria weights – the problem of nonlinear programming. Military Technical Courier, 2020. – vol. 68, iss. 3, P. 488–529. [Electronic resource]. – DOI: 10.5937/vojtehg68-27014.

#### REFERENCES

1 **Babina, O. I.** Obzor imitacionnyh modelej v planirovanii na predpriyatii // Fundamental'nye issledovaniya. – 2015. – № 12–6. – P. 1173–1178; [Electronic resource]. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39751>.

2 **Volodina, E. E., Livshic, V. N.** Ob algoritme «navodnenie» priblizhennogo resheniya gladkih zadach nelinejnogo programmirovaniya s linejnymi ogranicheniyami bol'shoj razmernosti // Ekonomika i matematicheskie metody – 2019. – Tom 55. – № 4 С. 78–88. – [Electronic resource]. – URL: <https://emm.jes.su/S042473880006776-2-1>. DOI: 10.31857/S042473880006776-2.

3 **Levin, V. I., Nemkova, E. A.** Interval'naya zadacha optimizacii sebestoimosti effektivnosti proizvodstva // Sistemy upravleniya svyazi i bezopasnosti – 2016. – № 1 P.– 240–260.

4 **Luenberger, D. G., Ye., Y.** Linear and nonlinear programming. – Basel: Springer International Publishing, 2016. – 546 p.

5 **Salman, A. M., Al-Jilawi, A. S.** Solving nonlinear optimization problem using approximation methods // International Journal of Health Sciences. – 2022. – Vol. 6(S3). – P. 1578–1586. – [Electronic resource]. – DOI: 10.53730/ijhs.v6nS3.5699.

6 **Dandanyan, A. N., Hajdarova, L. A., Kurganova, M. V.** Reshenie zadach nelinejnogo programmirovaniya po us-loviyam Kuna-Takkera // Nauka XXI veka: aktual'nye napravleniya razvitiya. – 2020. – № 1–2. – P. 24–27.

7 **Timofeev, A. G., Lebedinskaya, O. G.** Poisk bystrogo resheniya zadachi nelinejnogo programmirovaniya // Transportnoe delo Rossii. – 2019. – № 2. – P. 48–51. – EDN: TMQJRU.

8 **Mai, T., Mortari, D.** Theory of functional connections applied to quadratic and nonlinear programming under equality constraints // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2022. – Vol. 406. – Art. 113912. – DOI: 10.1016/j.cam.2021.113912.

9 **Yang, I., Burden, S. A., Rajagopal, R., Sastry, S. S., Tomlin, C. J.** Approximation Algorithms for Optimization of Combinatorial Dynamical Systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 2016. – vol. 61, № 9, P. 2644–2649. – [Electronic resource]. – DOI: 10.1109/TAC.2015.2504867.

10 **Djukic, R. R.** Partial stability of multi attribute decision-making solutions for interval determined criteria weights – the problem of nonlinear programming. Military Technical Courier, 2020. – vol. 68, iss. 3, P. 488–529. – [Electronic resource]. – DOI: 10.5937/vojtehg68-27014.

Материал поступил в редакцию 30.06.23.

\***С. В. Ареньева**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Рудный индустриалды институты, Қазақстан Республикасы, Рудный қ. Материал 30.06.23 баспаға түсті.

#### КӘСІПОРЫНДЫ БАСҚАРУДА МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ

*Қазіргі уақытта кәсіпорынды басқарудың аналитикалық тәсілі өзекті болып табылады. Бұл әдіс математикалық аппаратты пайдалануды қамтиды. Математикалық әдістер өндіріс процесін модельдеуге, нақты шешімдерді ұсынуға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері басқару шешімдерін негіздеуге қызмет етеді. Бұл мақалада экономикалық және технологиялық көрсеткіштерді табу үшін оңтайлы басқару технологиясын қолдану қарастырылады. Жұмыстың мақсаты: көлік саласындағы өндірісті басқаруда математикалық бағдарламалау әдістерін қолдану. Есептеулер нақты кәсіпорынның нақты деректерін пайдаланды. Кәсіпорынның технологиялық процесін көрсететін айнымалыларға шектеулердің объективті функциялары мен шарттары құрастырылған. Есептеулерде шешімдердің аналитикалық және графикалық әдістері қолданылды. Зерттеулер сызықтық және сызықтық емес мақсаттық функциялар жағдайында жүргізіледі. Технологияға сәйкес шектеу шарттары сызықтық және сызықтық емес формаға ие. Өндіріс жоспары, өнімді өткізу жоспары есептеліп, дүниежүзілік шектен шыққан. Зерттеудің маңыздылығы мынада: процестердің математикалық сипаттамасынсыз басқару мен жоспарлаудың заманауи*

деңгейіне қол жеткізу мүмкін емес. Алынған есептеулер өндірісті жоспарлау кезінде тәуекелдерді болдырмауға мүмкіндік береді. Нақты болжам дұрыс стратегияны құруға мүмкіндік береді. Бұл практикалық материалды көлік кәсіпорындарында жұмыс тиімділігін арттыру үшін пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: математическая модель, Лагранж көбейткіштерінің әдісі, мақсатты функция, оңтайлы жоспар, сызықтық емес бағдарламалау, стратегия, жаһандық экстремум.

\*S. V. Arepyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan.

Material received on 30.06.23.

## USE OF MATHEMATICAL METHODS IN ENTERPRISE MANAGEMENT

Currently, the analytical approach to enterprise management is relevant. This approach involves the use of a mathematical apparatus. Mathematical methods allow you to simulate the production process, to provide accurate solutions. The research results serve to substantiate management decisions. This article discusses the application of optimal control technology for finding economic and technological indicators. The purpose of the work: the use of methods of mathematical programming in the management of production in the field of transport. The calculations used the real data of a particular enterprise. Objective functions and conditions of restrictions on variables reflecting the technological process of the enterprise are compiled. Analytical and graphical methods of solutions were used in the calculations. Research is carried out in the cases of linear and non-linear objective functions. The conditions of restrictions in accordance with the technology have a linear and non-linear form. Plans for production, plans for the sale of products are calculated, global extremes are found. The significance of the study lies in the fact that without a mathematical description of the processes, the modern level of management and planning cannot be achieved. The obtained calculations make it possible to avoid risks when planning production. An accurate forecast will allow you to build the right strategy. This practical material can be used at transport enterprises to improve work efficiency.

Keywords: mathematical model, Lagrange multiplier method, target function, optimal plan, nonlinear programming, strategy, global extremum.

МРНТИ 55.57.29

<https://doi.org/10.48081/JRMW8460>

\*К. К. Абишев<sup>1</sup>, К. Б. Асыллова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛУГУСЕНИЧНОЙ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

В статье представлены результаты научно-исследовательская работа в рамках госбюджетной НИР АР09258862 «Разработка и исследование многоцелевого транспортного средства». Описана необходимость повышения эффективности использования транспортной техники. Одним из направлений по улучшению показателей работы машин является усовершенствование ходовой системы тягово-транспортных машин. Важное значение имеет также продольная и поперечная устойчивость тягово-транспортной машины.

В качестве объекта исследования выбран полугусеничный движитель, который является комбинацией колёсного и гусеничного движителей. На основе анализа существующих конструкции полугусеничных движителей научным коллективом разработана новая конструкция полугусеничного движителя тягово-транспортной машины. Приводится описание движителя.

Устойчивость тягово-транспортных машин характеризуется их способностью работать на продольных и поперечных уклонах без опрокидывания. Главными критериями устойчивости тягово-транспортной машины против опрокидывания являются характеристики его геометрических параметров и расположение центра масс относительно движителя, определяющие границы статической устойчивости при помощи так называемых предельных углов.

В статье предложены выражения для определения предельного угла продольной устойчивости полугусеничного тягово-транспортной машины. В качестве базы исследуемой полугусеничной тягово-транспортной машины авторами выбран трактор Беларус 82.1. В результате расчетов предельный угол подъема составил  $= 56^\circ$ .

Ключевые слова: тягово-транспортная машина, ходовая система, полугусеничный движитель; статическая устойчивость, предельный угол подъема.

### Введение

Для эксплуатации в разнообразных условиях созданы тягово-транспортные машины разных типов и конструкций с различными техническими характеристиками. Тип и назначение машины определяют конструкцию его ходовой системы. Тягово-транспортные машины широко используются в сельском хозяйстве, в системе коммунального хозяйства, в строительстве, горнорудной промышленности и геологоразведке.

Одной из задач в транспортной отрасли всегда был вопрос повышения эффективности использования транспортной техники, большую роль в решении которой, принадлежит совершенствованию их ходовых систем [1].

На современных тягово-транспортных машинах применяются ходовые системы с колёсными, гусеничными и полугусеничными движителями. Полугусеничный движитель является комбинацией колёсного и гусеничного движителей. Как правило, гусеничный движитель является ведущим, и устанавливают вместо заднего колеса, а колёсный движитель – передним направляющим [2].

При выполнении сельскохозяйственных и транспортных работ важное значение имеет продольная и поперечная устойчивость тягово-транспортной машины. Данный показатель важен как с точки зрения безопасности осуществления производственного процесса, так и с точки зрения производительности машинно-тракторных и транспортных агрегатов [3].

#### Материалы и методы

Начиная с 2021 году коллективом технических кафедр НАО «Торайгыров университет» проводится научно-исследовательская работа в рамках госбюджетной НИР АР09258862 «Разработка и исследование многоцелевого транспортного средства».

В соответствии с календарным планом проекта первоначально проведен анализ существующих конструкции транспортных средств для обоснования и выбора компоновки многоцелевого транспортного средства. В результате проведенной работы научным коллективом разработана конструкция полугусеничного движителя тягово-транспортной машины [4, 5].

Полугусеничный движитель содержит переднее направляющее колесо 1 с механизмом натяжения 2, закрепленное на рычаге 3, который установлен на гусеничной тележке 4. На гусеничной тележке также установлены заднее направляющее колесо 5 и балансирные каретки 6 с опорными катками. Гусеничная тележка 4 связана с остоном транспортного средства 7 с помощью продольного рычага 8. Продольный рычаг 8 одним концом шарнирно крепится к гусеничной тележке 4, а другим – к остову транспортного средства 7 посредством кронштейна 9. В средней части продольного рычага 8 шарнирно закреплены механизм натяжения 2 и пружинный демпфер 10, который связан с остоном транспортного средства посредством кронштейна 11.

Полугусеничный движитель снабжен резиноармированными гусеницами 12, зацепляющийся с ведущим колесом 13. Резиноармированные гусеницы представляют собой монолитные конструкции, армированные стальными тросами 14, завулканизированными в кордовую резиновую ленту. На внутренней стороне гусениц спрофилированы резиновые зубья 15, внутри которых имеются закладные металлические элементы 16.

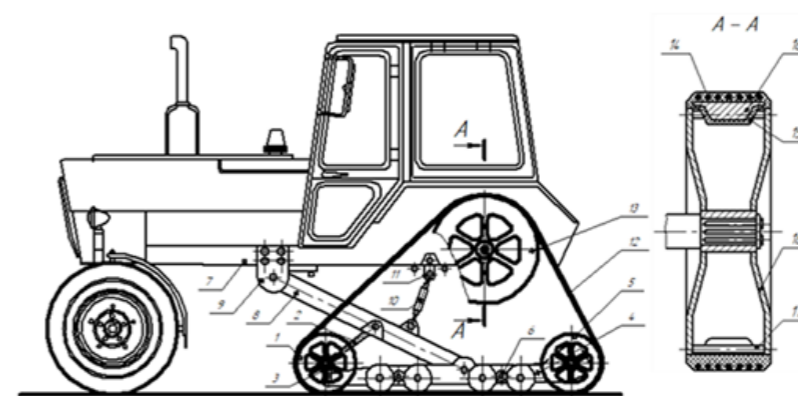


Рисунок 1 – Полугусеничный движитель с резиноармированными гусеницами

Передача крутящего момента осуществляется зацеплением резиновых зубьев с ведущим колесом, которая вместо зубьев имеет поперечные трубы 17 и выполнена в виде двух фланцев 18, жестко соединенных между собой.

Полугусеничный движитель работает следующим образом. Ведущее колесо 13, ось которой укреплена в корпусе транспортного средства, зацепляется с резиноармированными гусеницами 12 и приводит ее в движение. Гусеничная тележка 4 перекачивается опорными катками по нижней ветви гусеничной ленты, лежащей на грунте [6, 7].

Устойчивость тягово-транспортных машин характеризуется их способностью работать на продольных и поперечных уклонах без опрокидывания. В связи с этим различают продольную и поперечную устойчивость тягово-транспортных машин [8].

Продольная устойчивость – это свойство тягово-транспортной машины сопротивляться опрокидывающему движению вокруг поперечной оси опрокидывания. Началу опрокидывания предшествует перераспределение опорных реакций по мостам машины и равенство нулю одной из них. Предельное положение возникает в момент вращения, когда вектор силы тяжести пройдет через ось возможного опрокидывания.

Главными критериями устойчивости тягово-транспортной машины против опрокидывания являются характеристики его геометрических параметров и расположение центра масс относительно движителя, определяющие границы статической устойчивости при помощи так называемых предельных углов. При расположении тягово-транспортной машины на наклонной опорной поверхности, соответствующей одному из предельных углов, возникает опрокидывание под действием только сил тяжести. Если учитывать влияние и других сил, кроме силы тяжести, то следует иметь в виду критические углы, характеризующие начало опрокидывания в рассматриваемом случае [9].

Наибольший угол подъема, на котором тягово-транспортная машина может стоять без опрокидывания, называют предельным статическим углом подъема  $\alpha_n$ .

Схема внешних сил, действующих на тягово-транспортную машину, показана на рисунке 1.

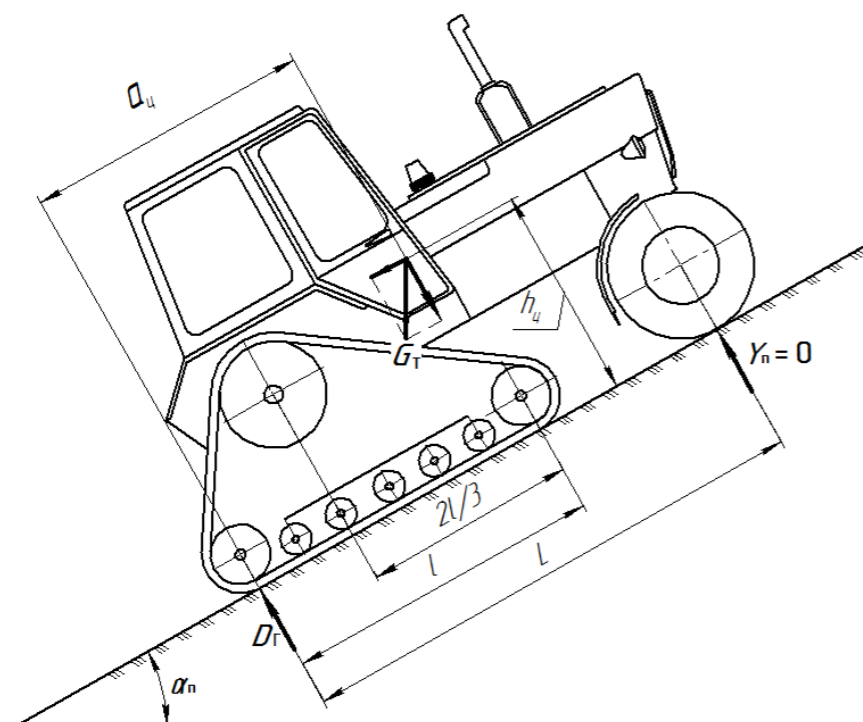


Рисунок 2 – Схема внешних сил, действующих на тягово-транспортную машину на предельном подъеме

В исследуемом полугусеничном движителе гусеничный движитель установлен вместо заднего колеса, а колёсный движитель является передним направляющим. Поэтому продольная устойчивость полугусеничной тягово-транспортной машины определяется положением центра давления  $D_T$ . Предельный угол подъема  $\alpha_n$  будет соответствовать такому положению, когда центр давления  $D_T$  сместится к задней кромке опорной поверхности гусеницы.

Уравнение равновесия моментов, влияющих на устойчивость тягово-транспортной машины можно выразить через выражение

$$M_{\text{опр}} \geq M_{\text{уд}}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{опр}}$  – опрокидывающий момент;

$M_{\text{уд}}$  – удерживающий момент.

При этом опрокидыванию соответствует такое поднятие движителя над опорной поверхностью, при котором угол подъема остова достигает предельного значения и дальнейшее его движение в направлении крена под действием силы тяжести и инерции становится необратимым.

Уравнение равновесия моментов относительно центра давления тягово-транспортной машины  $D_T$  на подъеме можно записать следующим образом

$$G_T \cdot a_u \cdot \cos \alpha_n = G_T \cdot h_u \cdot \sin \alpha_n, \quad (2)$$

где  $G_T$  – масса тягово-транспортной машины;

$a_u$  – горизонтальная координата центра тяжести машины;

$h_u$  – вертикальная координата центра тяжести машины.

Из выражения (2) получим следующее

$$\text{tg } \alpha_n = \frac{\sin \alpha_n}{\cos \alpha_n} = \frac{a_u}{h_u}. \quad (3)$$

При выводе формулы (3) пренебрегаем силами сопротивления движению.

### Результаты и обсуждение

В результате обзора материалов публикации ведущих ученых и специалистов в области эксплуатации тягово-транспортных средств и механизации технологических процессов, а также на основании данных, опубликованных в специализированных научно-теоретических изданиях, проведен концептуальный анализ вопроса реализации потенциала эффективности эксплуатации колесных машин. Он показал, что проблема повышения устойчивости на склонах не имеет окончательного решения и остается актуальной.

Проведем расчет продольной устойчивости исследуемой полугусеничной тягово-транспортной машины. В качестве базы нами выбран трактор Беларусь 82.1. Некоторые геометрические параметры данного трактора представлены в работе [10].

Горизонтальная и вертикальная координаты центра тяжести тягово-транспортной машины равны соответственно  $a_u = 1430$  мм и  $h_u = 965$  мм.

Отсюда

$$\text{tg } \alpha_n = \frac{1430}{965} = 1,482.$$

Предельный угол подъема составил  $\alpha_n = 56^\circ$ .

Во многих исследованиях, учебниках и научной литературе приводятся предельные углы продольной устойчивости колесного трактора в пределах  $35-40^\circ$ . При дальнейшем развитии конструкции трактора, связанное увеличением энергонасыщенности, мощности двигателя, массы трактора и изменением некоторых компоновочных схем, предельные углы продольной устойчивости увеличились до  $43-47^\circ$ . При использовании полугусеничного движителя, как показывают наши исследования, увеличивается предельный угол продольной устойчивости.

**Выводы**

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании полугусеничного движителя увеличивается предельный угол продольной статической устойчивости колесной тягово-транспортной машины. В дальнейших исследованиях запланировано провести расчет динамического угла подъема машины, для этого необходимо учитывать силы сопротивления движению.

**Финансирование**

Исследование выполнено в рамках грантового финансирования фундаментальных и прикладных научных исследований по научно-техническим проектам на 2021–2023 годы по проекту АР09258862 «Разработка и исследование многоцелевого транспортного средства», финансируемый Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Куляшов, А. П., Колотилин, В. Е. Экологичность движителей транспортно-технологических машин. – М. : Машиностроение, 1993. – 256 с.
- 2 Забродский, В. М., Файнлейб, А. М., Кутин, Л. Н., Уткин-Любовцов, О. Л. Ходовые системы тракторов. Устройство, эксплуатация, ремонт: справочник. – М.: Агропромиздат, 1986. – 271 с.
- 3 Иовлев, Г. А., Бахтерев, А. А., Голдина, И. И. Продольная устойчивость колёсного трактора // Аграрное образование и наука. – 2022. – № 3. – С. 6–19.
- 4 Абишев, К. К., Касенов, А. Ж., Асыллова, К. Б. К вопросу выбора конструкции полугусеничного движителя тягово-транспортной машины // Механика и технологии. – 2020. – № 1. – С. 31–38.
- 5 Полугусеничный движитель : Патент на полезную модель РК №5185 / Абишев К. К., Касенов А. Ж., Муканов Р. Б., Асыллова К. Б., Қайролла Б. Қ. – Заявлено 30.04.2020; Опубли. 05.05.2020, Бюлл. № 4. – С. 3.: ил.
- 6 Abishev, K. K., Kassenov, A. Zh., Assylova, K. B. Design Justification of Half-Track Propulsor of Traction and Transport Vehicle // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2021. – P. 434–440.
- 7 Абишев, К. К., Сулейменов, А. Д., Асыллова, К. Б. Влияние нормальной жесткости гусеницы на распределение давления по длине резиногусеничного движителя // Наука и техника Казахстана. – 2023. – № 2. – С. 103–112.
- 8 Скотников, В. А., Мащенко, А. А., Солонский, А. С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
- 9 Гуськов, В. В. Тракторы, Ч. II. Теория. – Минск : Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.
- 10 Голдина, И. И., Несговоров, А. Г. Анализ и сравнение эксплуатационных свойств тракторов «Беларус» и тракторов ведущих зарубежных фирм // Научно-технический вестник : Технические системы в АПК. – 2019. – № 3. – С. 113–123.

**REFERENCES**

- 1 Kulyashov, A. P., Kolotilin, V. E. Ekologichnost' dvizhitelej transportno-tekhnologicheskikh mashin [Environmental friendliness of propellers of transport and technological machines]. – Moscow : Mechanical engineering, 1993. – 256 p.
- 2 Zabrodsky, V. M., Finleib, A. M., Kutin, L. N., Utkin-Lyubovtsov, O. L. Hodovye sistemy traktorov. Ustrojstvo, ekspluaciya, remont: spravochnik [Tractor running systems. Device, operation, repair: reference]. – Moscow: Agropromizdat, 1986. – 271 p.
- 3 Iovlev, G. A., Bakhterev, A. A., Goldina, I. I. Prodol'naya ustojchivost' kolyosnogo traktora [Longitudinal stability of a wheeled tractor] // Agrarian education and science. – 2022. – № 3. – P. 6–19.
- 4 Abishev, K. K., Kasenov, A. Zh., Asylova, K. B. K voprosu vybora konstrukcii polugusenichnogo dvizhitelya tyagovo-transportnoj mashiny [On the issue of choosing the design of a semi-tracked propulsion traction vehicle] // Mechanics and technology. – 2020. – № 1. – P. 31–38.
- 5 Polugusenichnyj dvizhitel': Patent na poleznuyu model' RK No 5185 [Semi-tracked propulsion: Utility model patent of the Republic of Kazakhstan № 5185] / Abishev K. K., Kasenov A. Zh., Mukanov R. B., Asylova K. B., Kajrolla B. K. – Declared 30.04.2020; Publ. 05.05.2020, Byul. № 4. – P. 3: ill.
- 6 Abishev, K. K., Kassenov, A. Zh., Assylova, K. B. Design Justification of Half-Track Propulsor of Traction and Transport Vehicle // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2021. – P. 434–440.
- 7 Abishev, K. K., Suleimenov, A. D., Assylova, K. B. Vliyanie normal'noj zhestkosti gusenicy na raspredelenie davleniya po dline rezinogusenichnogo dvizhitelya [The influence of the normal stiffness of the caterpillar on the pressure distribution along the length of the rubber-track mover] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 2. – P. 103–112.
- 8 Skotnikov, V. A., Mashenskiy, A. A., Solonsky, A. S. Osnovy` teorii i rascheta traktora i avtomobilya [Fundamentals of the theory and calculation of a tractor and a car]. – Moscow: Agropromizdat, 1986. – 383 p.
- 9 Guskov, V. V. Traktory. II. Teoriya. [Tractors. Part II. Theory]. – Minsk: Higher School, 1977. – 384 p.
- 10 Goldina, I. I., Nesgovorov, A. G. Analiz i sravnenie e`kspluatacionny`x svojstv traktorov «Belarus» i traktorov vedushhix zarubezhny`x firm [Analysis and comparison of operational properties of tractors «Belarus» and tractors of leading foreign firms] // Scientific and Technical Bulletin: Technical systems in agriculture. – 2019. – № 3. – P. 113–123.

Материал поступил в редакцию 05.09.23.



\*К. К. Abishev<sup>1</sup>, К. В. Assylova<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 05.09.23.

### DETERMINATION OF THE LONGITUDINAL STABILITY OF A SEMI-TRACKED TRACTION AND TRANSPORT VEHICLE

The article presents the results of the research work within the framework of the state-funded research AP09258862 «Development and research of a multipurpose vehicle». The necessity of increasing the efficiency of the use of transport equipment is described. One of the ways to improve the performance of machines is to improve the running system of traction vehicles. The longitudinal and transverse stability of the traction vehicle is also important.

The object of the study is a semi-tracked propulsion, which is a combination of wheeled and tracked propulsion. Based on the analysis of the existing designs of semi-tracked propellers, the research team has developed a new design of a semi-tracked propulsion traction vehicle. The description of the mover is given.

The stability of traction vehicles is characterized by their ability to work on longitudinal and transverse slopes without overturning. The main criteria for the stability of a traction and transport vehicle against overturning are the characteristics of its geometric parameters and the location of the center of mass relative to the mover, which determine the boundaries of static stability using the so-called limit angles.

The article offers expressions for determining the limiting angle of longitudinal stability of a semi-tracked traction and transport vehicle. The authors selected tractor Belarus 82.1 as the base of the investigated semi-tracked traction and transport machine. As a result of calculations, the maximum lifting angle was  $\alpha_n = 56^\circ$ .

Keywords: traction vehicle, running system, semi-tracked propulsion, static stability, maximum lifting angle.

\*Қ. Қ. Абишев<sup>1</sup>, Қ. Б. Асыллова<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан, Павлодар қ.

Материал 05.09.23 баспаға түсті.

### ЖАРТЫЛАЙ ТАРТУ-КӨЛІК МАШИНАСЫНЫҢ БОЙЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

Мақалада AP09258862 «Көп салалы көлік құралын жобалау және зерттеу» мемлекеттік бюджеттік ҒЗЖ аясындағы ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Көлік техникасын пайдалану тиімділігін арттыру қажеттілігі сипатталған. Машиналардың жұмыс көрсеткіштерін жақсарту бағыттарының бірі тарту-көлік машиналарының жүріс жүйесін жетілдіру болып табылады. Тарту-көлік машинасының бойлық және көлденең тұрақтылығы да маңызды.

Зерттеу нысаны ретінде доңгалақ және шынжыр табанды қозғалтқыштардың комбинациясы болып табылатын жартылай шынжыр табанды қозғалтқыш таңдалды. Қолданыстағы жартылай шынжыр

табанды қозғалтқыштардың құрылысын талдау негізінде ғылыми ұжым тарту-көлік машинасының жартылай шынжыр табанды қозғалтқышының жаңа конструкциясын жобалады. Қозғалтқыштың сипаттамасы келтірілген.

Тарту-көлік машиналарының тұрақтылығы олардың бойлық және көлденең еңістерде аударылмай жұмыс істеу қабілетімен сипатталады. Тарту-көлік машинасының аударылуды қарсы тұрақтылығының негізгі критерийлері оның геометриялық параметрлерінің сипаттамалары және шекті бұрыштар деп аталатын статикалық тұрақтылықтың шекараларын анықтайтын қозғалтқышқа қатысты масса центрінің орналасуы болып табылады.

Мақалада жартылай тарту-көлік машинасының бойлық тұрақтылығының шекті бұрышын анықтауға арналған өрнектер ұсынылған. Авторлар Беларусь 82.1 тракторын зерттеп жатқан жартылай шынжыр табанды тарту-көлік машинасының базасы ретінде таңдады. Есептеулер нәтижесінде шекті көтеру бұрышы  $\alpha_n = 56^\circ$  тең болды.

Кілтті сөздер: тарту-көлік құралы, жүріс жүйесі, жартылай шынжыр табанды қозғалтқыш, статикалық тұрақтылық, шекті көтеру бұрышы.

**Н. Б. Бахтыбаев<sup>1</sup>, \*О. Т. Балабаев<sup>2</sup>, Г. С. Сулейменов<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>ТОО «Mining Research Group», Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда.

e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ  
УСТАНОВКИ ПО ОБРАБОТКЕ АНТИОБЛЕДЕНЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ  
БОРТОВ И ДНИЩ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ  
В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА «МОЛОДЁЖНЫЙ»**

*В статье представлены результаты научно-исследовательской работы «Проведение опытно-промышленного исследования антиобледеняющего состава (АОС) для обработки ж/д полувагонов в условиях разреза «Молодёжный» в выполненной ТОО «Mining Research Group» в соответствии с договором с ТОО «Kazakhstan Coal».*

*Целью опытно-промышленных испытаний являлось проведение испытаний по изучению работоспособности установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов и определению эффективности применения антиобледеняющей жидкости при обработке железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhstan Coal». Для достижения цели были поставлены следующие задачи: проверить работоспособность установки в условиях разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhstan Coal»; проверить соответствие параметров установки технической характеристике; проверить соответствие установки правилам безопасности и промышленной санитарии; определить эффективность применения антиобледеняющей жидкости при обработке железнодорожных полувагонов для условий угольного разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhstan Coal».*

*В ходе проведенных исследований были определены: средний расход (л/ваг) антиобледеняющих жидкостей на один полувагон; среднее время обработки антиобледеняющими жидкостями одного полувагона. При проведении опытно-промышленных испытаний визуальный осмотр полувагонов после разгрузки угля показал, что применение всех видов АОЖ дало положительный эффект – борта и днища полувагонов практически все чистые в сравнение с необработанными полувагонами. Однако при наличии снега по всему днищу у обрабатываемых полувагонов вызывает налипания угля по всему днищу полувагонов, поэтому при обработке полувагонов АОЖ необходимо проводить тщательную очистку полувагонов от снега с применением ручного труда или современных систем очистки и обдува полувагонов от снега.*

*Ключевые слова: угольный разрез, антиобледеняющие средства, обработка полувагонов, уголь, опытно-промышленные испытания, установка по обработке полувагонов.*

**Введение**

Разрез «Молодежный» относится к Борлинскому каменноугольному месторождению, расположенному в Осакаровском районе Карагандинской области Республики Казахстан. Климат района разреза «Молодежный»: резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом; температура воздуха может достигать летом +30°C÷+40°C, зимой -40°C÷-45°C; глубина промерзания грунтов достигает 2,5-3,0 м; среднегодовое количество осадков составляет 250-300 мм; в течение календарного года дуют частые и сильные ветры, достигающие скорости 10-20 м/с; ветровой режим непостоянный. Основные метеорологические и климатические характеристики приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Метеорологические и климатические характеристики разреза «Молодежный»

Метеорологические характеристики	Показатели
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, Т°С	+ 29,7
Средняя минимальная температура наружного воздуха наиболее холодного месяца года, Т°С	- 21,3
Среднегодовая роза ветров, %:	
– северный	11
– северо-восточный	10
– восточный	5
– юго-восточный	5
– южный	19
– юго-западный	27
– западный	15
– северо-западный	8
Скорость ветра по средним многолетним данным, повторяемость превышения которой составляет 5%, м/с	11
Среднегодовая скорость ветра, м/с	4,2

В связи с отрицательными климатическими условиями на Борлинском месторождении разреза «Молодежное» возникают риски примерзания угля к бортам и днищам железнодорожных полувагонов в зимний период, что приводит к основным проблемам в местах разгрузки угля. На сегодняшний день известны много работ в области предотвращения смерзания грузов на открытых подвижных составах [2–6]. С целью предотвращения примерзания угля к бортам и днищам железнодорожных полувагонов в зимнее время была инициирована работа по изучению эффективности предварительной обработки антиобледеняющими жидкостями.

**Материалы и методы**

В 2022–2023 гг проведена научно-исследовательская работа (НИР) в соответствии с договором № 2000006110 от 15.04.2022 года «Проведение опытно-промышленного исследования антиобледеняющего состава (АОС) для обработки ж/д полувагонов в условиях разреза «Молодёжный» [7]. В соответствии с календарным планом НИР выполнены:

- анализ физико-механические свойства добываемого угля;
- анализ профилактических методов по предотвращению примерзания насыпных грузов, в частности угля;
- свойства антиобледенительной и пылеподавляющей жидкости;
- анализ климатических условия, применимость АОЖ (антиобледенительная жидкость) в условиях разреза «Молодежное»;
- разработка проекта опытно-конструкторской установки системы для обработки и нанесения антиобледеняющей жидкости;
- разработка технической документации на установку;
- монтаж опытно-конструкторской установки и гидравлической системы;
- выбор антиобледеняющей жидкости;
- опытно-промышленные испытания установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов [7].

Объектом опытно-промышленных испытаний (далее ОПИ) была разработанная установка (далее установка) по обработке антиобледеняющей жидкостью (АОЖ) бортов и днищ железнодорожных полувагонов (рисунок 1) [8].



Рисунок 1 – Опытно-промышленная установка по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный»:

- 1) жидкостная рампа с форсунками;
- 2) механизированная стрела;
- 3) операторская комната;
- 4) насос высокого давления;
- 5) резервуар хранения жидкости

Данная установка размещена возле железнодорожного пути на разрезе «Молодёжный» и представляет из себя опытно-промышленную конструкцию по обработке полувагонов антиобледеняющими средствами. Обработка происходит путем орошения жидкостью днище и стен полувагона при помощи выдвижной стрелы и установленных на ней форсунок. В состав опытно-промышленной конструкции входит:

- теплое помещение для жидкости и оборудования;
- операторская комната для управления комплексом;
- насос высокого давления для подачи противобледеняющего вещества из резервуара в жидкостную рампу;
- резервуар хранения противобледеняющего раствора;
- жидкостная рампа с форсунками и механизированная стрела для погружения жидкостной рампы в полувагоны.

Целью опытно-промышленных испытаний является проведение испытаний по изучению работоспособности установки и определению эффективности применения антиобледеняющей жидкости при обработке железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный».

При выполнении опытно-промышленных испытаний были использованы следующие основные методы исследований: наблюдение, измерение, сравнение, методы планирования и обработки экспериментальных исследований.

Опытно-промышленные испытания проводились в 3 (три) этапа [7]:

- 1) подготовительный;
- 2) проведение испытаний;
- 3) завершающий.

ОПИ проводились Приемочной комиссией (ПК), в состав которой входили представители организаций (разрез «Молодёжный» ТОО «Kazakhmys Coal», ТОО «Mining Research Group», поставщики АОЖ, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова). Общее руководство ОПИ осуществляло ТОО «Mining Research Group», контроль проведения ОПИ осуществляло ТОО «Kazakhmys Coal».

На подготовительном этапе были выполнены следующие виды работ [7]:

- планирование сроков проведения ОПИ (выбор дат проведения ОПИ осуществлялся после предварительного анализа предстоящей температуры окружающей среды на разрезе «Молодежное»);
- выбор антиобледеняющих жидкостей (3 вида АОЖ);
- ознакомление инженерно-технических работников с установкой; проведение инструктажа по технике безопасности обслуживающего персонала [9, 10];
- предварительное опробование работы установки.

ОПИ проводились по 3 датам:

- 1) с 25 по 26 февраля 2023 г. – опытно-промышленные испытания № 1;
- 2) с 26 по 27 февраля 2023 г. – опытно-промышленные испытания № 2;
- 3) с 3 по 5 марта 2023 г. – опытно-промышленные испытания № 3;

Порядок работ, выполняемых при проведении ОПИ [7]:

1. На железнодорожный путь под механизированную стрелу установки подавался железнодорожный состав с количеством более 25–30 полувагонов.

2. Перед началом обработки полувагонов персонал убеждался в качестве предварительной очистки полувагонов от остатков горной массы, снега и др. Подготовку и предварительную очистку полувагонов железнодорожного состава обеспечивал разрез «Молодёжный».

Приемочная комиссия, осуществляла:

– визуальный осмотр полувагонов железнодорожного состава с применением фото/видео фиксации;

– письменную фиксацию номеров полувагонов, их степень очистки и другие условия, влияющие на чистоту проведения испытаний.

3. Обработка полувагонов железнодорожного состава 3 видами АОЖ осуществлялось под наблюдением ПК с фиксацией в Актах приемочных испытаний (таблица 2):

– даты и времени испытаний;

– температуры окружающей среды непосредственно на момент испытаний;

– номеров обрабатываемых полувагонов 3 видами АОЖ (фото/видео фиксация), а также номеров не обрабатываемых полувагонов (фото/видео фиксация);






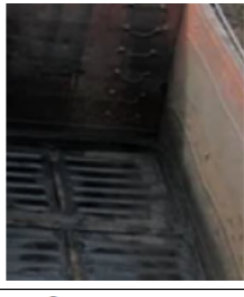






– обработки полувагонов (фото/видео фиксация) 3 видами АОЖ механизированной стрелой установки;

– среднего времени на обработку одного полувагона;

– расход (л/ваг) АОЖ на один полувагон для различных АОЖ.

После ОПИ порожный железнодорожный состав отправлялся под погрузку угля.

Таблица 2 – Опытные-промышленные испытания

Номер полувагона	Визуальный осмотр полувагонов до погрузки	Обработка полувагонов АОЖ	Визуальный осмотр полувагонов после разгрузки
Опытно-промышленные испытания №1			
			
Опытно-промышленные испытания №2			
			
Опытно-промышленные испытания №3			
			

Время движения груженого железнодорожного состава с обработанными полувагонами не превышало срока проведения испытания – до 72 часов:

1) Опытные-промышленные испытания №1:

– дата отправки полувагонов 25.02.2023 г.;

– дата прибытия полувагонов 26.02.2023 г.;

2) Опытные-промышленные испытания №2:

– дата отправки полувагонов 26.02.2023 г.;

– дата прибытия полувагонов 27.02.2023 г.;

3) Опытные-промышленные испытания №3:

– дата отправки полувагонов 03.03.2023 г.;

– дата прибытия полувагонов 05.03.2023 г.

В ходе испытаний отслеживалась температура окружающей среды во время движения груженого железнодорожного состава с обработанными

полувагонами по метеорологическими параметрами представленным Филиалом РГП «Казгидромет» Карагандинской и Ұлытауской областям.

После прибытия груженого железнодорожного состава с обработанными полувагонами в пункт разгрузки, ТОО «Kazakhmys Coal» обеспечило доступ ПК на место разгрузки. ПК осуществляло наблюдение за разгрузкой груженого железнодорожного состава с обработанными полувагонами.

При проведении опытно-промышленных испытаний осуществлялось фото/видео фиксация всех полувагонов (таблица 2 – демонстрационные фото полувагонов) на всех этапах выполняемых работ. Все электронные материалы были переданы представителям ТОО «Kazakhmys Coal».

На завершающем этапе [7] выполнены обработка и анализ результатов испытаний с оформлением Актов приемочных испытаний, в которых отражены: фактические данные (фото/видео фиксация), полученные в результате испытаний установки; фактические данные (фото/видео фиксация), отражающие состояние обработанных железнодорожных полувагонов после выгрузки угля.

#### Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов [1] показал:

– ОПИ проводились на 87 обработанных полувагонах ТОО «Kazakhmys Coal», что соответствует Техническому заданию;

– расход (л/ваг) АОЖ на один полувагон составил для АОЖ-1 – до 6 л/ваг; АОЖ-2 – до 7,5 л/ваг; АОЖ-3 – 9-10 л/ваг) не превышает рекомендуемый норматив 12 л/ваг;

– время обработки АОЖ одного полувагона в среднем достигает до 40 секунд, что не превышает рекомендуемые 3 (три) минуты по Техническому заданию;

– при проведении опытно-промышленных испытаний № 1 и № 2 визуальный осмотр полувагонов после разгрузки показал, что применение всех трех видов АОЖ дало положительный эффект – борта и днища полувагонов практически все чистые в сравнение с необработанными полувагонами, местами имеются незначительные налипания угля; причинами налипания угля являются перепады температур, происходящие в период времени с момента загрузки до момента разгрузки;

– при проведении опытно-промышленного испытания № 3: визуальный осмотр полувагонов до погрузки показал наличие снега по всему днищу у всех обрабатываемых полувагонов; в связи с чем, обработка полувагонов АОЖ не дало положительный эффект – борта и днища полувагонов имели налипания угля по всему днищу полувагонов; поэтому при обработке полувагонов АОЖ необходимо проводить тщательную очистку полувагонов от снега с применением ручного труда или современных систем очистки и обдува полувагонов от снега.

#### Информация о финансировании (при наличии)

НИР выполнено в рамках договора № 2000006110 от 15.04.2022 года «Проведение опытно-промышленного исследования антиобледеняющего состава (АОС) для обработки ж/д полувагонов в условиях разреза «Молодёжный», финансируемого ТОО «Kazakhmys Coal» (Казакмыс Коал).

#### Выводы

Таким образом, цель опытно-промышленных испытаний установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhmys Coal» считается достигнутой. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- осуществлена проверка работоспособности установки в условиях разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhmys Coal» – установка работоспособна;
- осуществлена проверка соответствия параметров установки технической характеристике – установка соответствует заявленным требованиям;
- осуществлена проверка соответствия установки правилам безопасности и промышленной санитарии – установка соответствует заявленным требованиям;
- определена эффективность применения АОЖ при обработке железнодорожных полувагонов для условий разреза «Молодёжный» ТОО «Kazakhmys Coal» – АОЖ эффективны при обработке железнодорожных полувагонов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение опытно-промышленного исследования антиобледеняющего состава (АОС) для обработки ж/д полувагонов в условиях разреза «Молодёжный» (заключительный). – 2023. – 111 с.

2 Семенов, Д. Г., Трушков, А. В., Кутушева, Л. Р. Реагент антифриз против примерзания, прилипания, смерзания в массе и пыления сыпучих материалов (варианты) – RU 2 550 186 C1 – 2015.

3 Рыбакин, Д. В., Рябов, Н. И., Гельбинг, Р. А., Мамонов, А. Л., Волков, Д. Н. Способ предотвращения смерзания влажного железорудного концентрата – RU 2 743 951 C1 – 2021.

4 Дивин, О. А., Стуров, В. М., Терехин, Л. Н., Зыков, А. В., Цигельный, П. М. Установка для опрыскивания открытого подвижного состава противосмерзающим раствором – SU 1 808 401 A1 – 1993.

5 Гушин, А. А., Ермаков, А. Ю., Мирошников, А. М. Аналитический обзор реагентов для предотвращения смерзания угля – Отдельные статьи горного информационно-аналитического бюллетеня – 2016.

6 Касаткин, Ф. П., Коновалов, С. И., Касаткина, Э. Ф. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса. М. : Академия, 2004. 352 С.

7 Программа опытно-промышленных испытаний установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов и определению эффективности применения антиобледеняющей жидкости при обработке железнодорожных полувагонов в условиях разреза «Молодёжный». ТОО «Kazakhmys Coal». – Караганда: ТОО «Mining Research Group», 2023. – 18 с.

8 Бахтыбаев, Н. Б., Балабаев, О. Т., Сулейменов, Г. С., Рысқұлов, А. А., Альжанова, А. К., Канат, Ф. Е., Бахтыбаева, А. С. Заявление о выдаче

патента Республики Казахстан на изобретение «Установка для обработки антиобледеняющими жидкостями кузовов железнодорожных полувагонов перед загрузкой». Регистрационный № 2022/0794.1.

9 Руководство по эксплуатации установки по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов. ТОО «Kazakhmys Coal». – Караганда: ТОО «Mining Research Group», 2023. – 26 с.

10 Краткая инструкция для персонала, обслуживающего установку по обработке антиобледеняющей жидкостью бортов и днищ железнодорожных полувагонов. – Караганда: ТОО «Mining Research Group», 2023. – 15 с.

#### REFERENCES

1 Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Provedenie opytно-promyshlennogo issledovaniya antiobledenayushchego sostava (AOS) dlya obrabotki zh/d poluvagonov v usloviyah razreza «Molodyozhnyj» (zaklyuchitel'nyj) [“Conducting a pilot study of the anti-icing composition (AIC) for the treatment of railway gondola cars in the conditions of the Molodyozhny open pit (final)]. – 2023. – 111 p.

2 **Semenov, D. G., Trushkov, A. V., Kutusheva, L. R.** Reagent antifriz protiv primerzaniya, prilipaniya, smerzaniya v masse i pyleniya sypuchih materialov (varianty) [Antifreeze reagent against freezing, sticking, freezing in bulk and dusting of bulk materials (options)] – RU 2 550 186 C1 – 2015.

3 **Rybakin, D. V., Ryabov, N. I., Gel'bing, R. A., Mamonov, A. L., Volkov, D. N.** Sposob predotvrashcheniya smerzaniya vlazhnogo zhelezorudnogo koncentrata [Method for preventing freezing of wet iron ore concentrate] - RU 2 743 951 C1 – 2021.

4 **Divin, O. A., Sturov, V. M., Terekhin, L. N., Zыkov, A. V., Cigel'nyj, P. M.** Ustanovka dlya opryskivaniya otkrytogo podvizhnogo sostava protivosmerzayushchim rastvorom [Installation for spraying open rolling stock with antifreeze solution] - SU 1 808 401 A1 – 1993.

5 **Gushchin, A. A., Ermakov, A. Yu., Miroshnikov, A. M.** Analiticheskij obzor reagentov dlya predotvrashcheniya smerzaniya uglya [Analytical review of reagents to prevent coal freezing] – Otdel'nye stat'i gornogo informacionno-analiticheskogo byulletenya – 2016.

6 **Kasatkin, F. P., Konovalov, S. I., Kasatkina, E. F.** Organizaciya perevozochnyh uslug i bezopasnost' transportnogo processa [Organization of transportation services and safety of the transport process]. M.: Akademiya, 2004. – 352 p.

7 Programma opytно-promyshlennyh ispytaniy ustanovki po obrabotke antiobledenayushchej zhidkost'yu bortov i dnishch zheleznodorozhnyh poluvagonov i opredeleniyu effektivnosti primeneniya antiobledenayushchej zhidkosti pri obrabotke zheleznodorozhnyh poluvagonov v usloviyah razreza «Molodyozhnyj». ТОО «Kazakhmys Coal» [Program of pilot tests of the installation for treating the sides and bottoms of railway gondola cars with anti-icing liquid and determining the effectiveness of the use of anti-icing liquid when treating railway gondola cars in the conditions of

the Molodyozhny mine. Kazakhmys Coal LLP]. – Karaganda: ТОО «Mining Research Group», 2023. – 18 s.

8 **Bahtybaev, N. B., Balabaev, O. T., Sulejmenov, G. S., Ryskylov, A. A., Al'zhanova, A. K., Kanat, F. E., Bahtybaeva, A. S.** Zayavlenie o vydache patenta Respubliki Kazahstan na izobretenie «Ustanovka dlya obrabotki antiobledenayushchimi zhidkostyami kuzovov zheleznodorozhnyh poluvagonov pered zagruzkoj [Installation for the treatment of railway gondola car bodies with anti-icing liquids before loading]». Registration № 2022/0794.1.

9 Rukovodstvo po ekspluatatsii ustanovki po obrabotke antiobledenayushchej zhidkost'yu bortov i dnishch zheleznodorozhnyh poluvagonov. ТОО «Kazakhmys Coal» [Operating instructions for the anti-icing liquid treatment of the sides and bottoms of railway gondola cars. Kazakhmys Coal LLP]. – Karaganda : ТОО «Mining Research Group», 2023. – 26 p.

10 Kratkaya instrukciya dlya personala, obsluzhivayushchego ustanovku po obrabotke antiobledenayushchej zhidkost'yu bortov i dnishch zheleznodorozhnyh poluvagonov [Brief instructions for personnel servicing the installation for the treatment of rail car sides and bottoms with anti-icing liquid]. – Karaganda : ТОО «Mining Research Group», 2023. – 15 p.

Материал поступил в редакцию 04.09.23.

**Н. Б. Бахтыбаев<sup>1</sup>, \*О. Т. Балабаев<sup>2</sup>, Г. С. Сулейменов<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>«Mining Research Group» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ;

<sup>2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

Материал 04.09.23 баспаға түсті.

#### «МОЛОДЕЖНЫЙ» РАЗРЕЗИ ЖАҒДАЙЫНДА ТЕМІР ЖОЛ ЖАРТЫЛАЙ ВАГОНДАРЫНЫҢ БҮЙІРЛЕРІ МЕН ТҮБІН МҰЗДАНУҒА ҚАРСЫ СҰЙЫҚТЫҚПЕН ӨНДЕУ ЖӨНІНДЕГІ ҚОНДЫРҒЫҒА ТӘЖІРИБЕЛІК-ӨНЕРКӘСІПТІК СЫНАҚТАР ЖҮРГІЗУ

*Мақалада «Kazakhmys Coal» ЖШС-мен жасалған шартқа сәйкес «Mining Research Group» ЖШС орындаған «Молодежный» разрезі жағдайында «жартылай вагондарды өңдеу үшін мұздануға қарсы құрамға (МКК) тәжірибелік-өнеркәсіптік зерттеу жүргізу» ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері келтірілген.*

*Тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтардың мақсаты «Kazakhmys Coal» ЖШС «Молодежный» разрезі жағдайында темір жол жартылай вагондарының бүйірлері мен түбін мұздануға қарсы сұйықтықпен өңдеу жөніндегі қондырғының жұмыс қабілеттілігін зерделеу және темір жол жартылай вагондарын өңдеу кезінде мұздануға қарсы сұйықтықты қолдану тиімділігін айқындау бойынша сынақтар жүргізу болып табылады. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: «Kazakhmys Coal» ЖШС «Молодежный» разрезі жағдайында қондырғының жұмысқа қабілеттілігін*

тексеру; орнату параметрлерінің техникалық сипаттамаға сәйкестігін тексеру; қондырғының қауіпсіздік және өнеркәсіптік санитария ережелеріне сәйкестігін тексеру; «Kazakhstan Coal» ЖШС «Молодежный» көмір разрезінің жағдайлары үшін темір жол жартылай вагондарын өңдеу кезінде мұздануға қарсы сұйықтықты қолданудың тиімділігін анықтау.

Жүргізілген зерттеулер барысында: бір жартылай вагонға мұздануға қарсы сұйықтықтардың орташа шығыны (л/ваг); бір жартылай вагонға мұздануға қарсы сұйықтықтармен өңдеудің орташа уақыты анықталды. Тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтарды жүргізу кезінде көмірді түсіргеннен кейін жартылай вагондарды көзбен шолып тексеру МҚС – ның барлық түрлерін қолдану оң нәтиже бергенін көрсетті-жартылай вагондардың бүйірлері мен түбі өңделмеген жартылай вагондармен салыстырғанда іс жүзінде барлығы таза. Алайда, өңделетін жартылай вагондардың түбінде қар болған жағдайда, жартылай вагондардың түбінде көмір жабысын қалады, сондықтан жартылай вагондарды өңдеу кезінде жартылай вагондарды қардан қол еңбегін немесе заманауи тазарту жүйелерін және жартылай вагондарды қардан үрлеуді қолдана отырып, мұқият тазалау қажет.

Кілтті сөздер: көмір разрезі, мұздануға қарсы құралдар, жартылай вагондарды өңдеу, көмір, тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар, жартылай вагондарды өңдеу қондырғысы.

**N. B. Bakhtybayev<sup>1</sup>, \*O. T. Balabayev<sup>2</sup>, G. S. Suleimenov<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>«Mining Research Group» LLP, Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>2</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 04.09.23.

#### CONDUCTING PILOT TESTS ANTI-ICE FLUID TREATMENT UNITS SIDE AND BOTTOM OF RAILWAY GONDOLA CARS IN THE CONDITIONS OF THE «YOUTH» OPEN PIECE

*The article presents the results of the research work “Conducting a pilot study of an anti-icing composition (AIC) for processing railway gondola cars in the conditions of the «Molodyozhny» open pit, carried out by Mining Research Group LLP in accordance with an agreement with Kazakhmys Coal LLP.*

*The purpose of the pilot tests was to conduct tests to study the operability of the installation for treating the sides and bottoms of railway gondola cars with anti-icing liquid and to determine the effectiveness of the use of anti-icing liquid when treating railway gondola cars in the conditions of the Molodyozhny open pit of Kazakhmys Coal LLP. To achieve the goal, the following tasks were set: to check the operability of the installation in the conditions of the Molodyozhny open pit of Kazakhmys Coal LLP; check the compliance of the installation parameters with the technical specifications; check the compliance of the installation with safety and industrial sanitation rules; to determine the effectiveness of the use of anti-icing liquid in the*

*processing of railway gondola cars for the conditions of the “Molodyozhny” open pit of Kazakhmys Coal LLP.*

*In the course of the research, the following were determined: average consumption (l/car) of anti-icing liquids per one gondola car; average time of treatment with anti-icing liquids for one gondola car. When conducting pilot tests, a visual inspection of gondola cars after unloading coal showed that the use of all types of liquid coolant had a positive effect - the sides and bottoms of gondola cars are almost all clean compared to untreated gondola cars. However, if there is snow on the entire bottom of the processed gondola cars, it causes coal sticking all over the bottom of the gondola cars, therefore, when processing gondola cars, it is necessary to thoroughly clean the gondola cars from snow using manual labor or modern systems for cleaning and blowing snow from gondola cars.*

*Keywords: open pit, anti-icing composition, gondola car processing, coal, pilot tests, gondola car processing unit.*

\***А. В. Рожков<sup>1</sup>, Б. Ш. Аскаргов<sup>2</sup>, Р. Р. Хайбуллин<sup>3</sup>,  
А. Р. Кенжекеева<sup>4</sup>, Ф. Е. Канат<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

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

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОНЕСУЩЕГО ПОЛОТНА КРУТОНАКЛОННОГО ПЛАСТИНЧАТОГО КОНВЕЙЕРА**

*Одной из основных отличительных особенностей современного состояния открытых горных работ является устойчивая тенденция к увеличению глубины и производительности карьеров. В этих условиях наиболее эффективной становится циклично-поточная технология (ЦПТ) разработки полезных ископаемых. Это подтверждается имеющимся опытом применения ЦПТ на карьерах страны. В наше время опыт эксплуатации ЦПТ выявил необходимость создания специальных типов конвейеров, способных транспортировать крупнокусковую горную массу под углами установки, равными углу естественного откоса части карьера, которые составляют 35...45 град. Одной из конструктивных схем таких конвейеров является крутонаклонный пластинчатый конвейер, в которой, для удержания груза на несущем полотне используется принцип подпора груза (поддерживающие перегородки). Для снижения материалоемкости грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера, необходимо определить оптимальные соотношения между геометрическими параметрами грузовой ячейки (участок грузовой ветви между двумя поддерживающими перегородками) крутонаклонного конвейера. Составлена математическая модель оптимизации геометрических параметров грузовой ячейки крутонаклонного пластинчатого конвейера, представляющая собой целевую функцию объема груза в грузовой ячейке, при фиксированном значении площади поверхности грузовой ячейки. Целевая функция исследована на максимум численным методом, в результате чего получены зависимости оптимальных значений геометрических параметров грузовой ячейки от относительной величины ширины полотна конвейера, угла установки конвейера, угла естественного откоса транспортируемого материала.*

*Ключевые слова: циклично-поточная технология, крутонаклонный конвейер, геометрические параметры, математическая модель, целевая функция, объем груза в ячейке, оптимальные соотношения.*

#### **Введение**

В последние годы при открытой добыче полезных ископаемых, особенно на глубоких рудных карьерах, остро встала проблема обновления существующих технологических видов транспорта, повышения его экологической безопасности и экономической эффективности, улучшения его технических параметров при транспортировании вскрышных пород и полезного ископаемого.

Транспортные схемы на большинстве крупных рудных карьеров сформировались в конце 60 - х или в 70 - х годах, когда в достаточной мере не учитывалась экологическая безопасность применения того или иного вида транспорта. В настоящее время эти карьеры достигли глубины 300 — 400 м, и применяемый в большинстве случаев для транспортирования горной массы автотранспорт стал экономически неэффективным. Применение крутонаклонных конвейеров, располагаемых под углами откосов бортов карьера, позволяет не только наиболее резко снизить длину транспортирования, но и свести до минимума горнокапитальные работы [1–4].

Крутонаклонными называются конвейеры, у которых грузонесущее полотно имеет угол подъема, больший критического (при котором груз на гладком грузонесущем полотне еще не имеет гравитационного перемещения).

Возможны следующие способы удержания груза на грузонесущем элементе: путем повышения коэффициента сцепления груза с поверхностью полотна, увеличения давления груза на полотно, создания подпора груза на полотне [5].

Конструктивная схема крутонаклонного конвейера с использованием принципа подпора груза, с расположением поддерживающих перегородок на отдельном тяговом органе имеет определенные преимущества: увеличение длины конвейера в одном ставе; возможность транспортирования крупнокускового груза; обеспечение надежной очистки несущего полотна и пр.

Для повышения эффективности использования конвейерных подъемников, необходимо на этапе проектирования конвейера использовать оптимальные соотношения геометрических параметров грузонесущего полотна конвейера, с целью уменьшения его материалоемкости.

Оптимизации параметров грузонесущего полотна крутонаклонных конвейеров уделено достаточное внимание. В работе [6] исследована оптимизация параметров линейной части трубчатых конвейеров; в работах [7–9] рассматриваются вопросы оптимизации геометрических параметров крутонаклонного конвейера с перегородками.

В приведенных исследованиях выявленные зависимости геометрических параметров от влияющих факторов определены в абсолютных значениях параметров.

Для повышения универсальности решения было бы более целесообразно получить зависимости оптимальных геометрических параметров грузонесущего полотна крутонаклонного конвейера в относительном выражении от основного эксплуатационного параметра конвейера – производительности.

Целью исследования является разработка методических основ определения оптимальных параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать математическую модель оптимизации геометрических параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера;



– определить зависимости оптимальных геометрических параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера от его эксплуатационных характеристик.

**Материалы и методы**

Форма груза в грузовой ячейке крутонаклонного конвейера (участок грузонесущего полотна между двумя поддерживающими перегородками грузонесущего полотна) представлена на Рисунке 1 а).

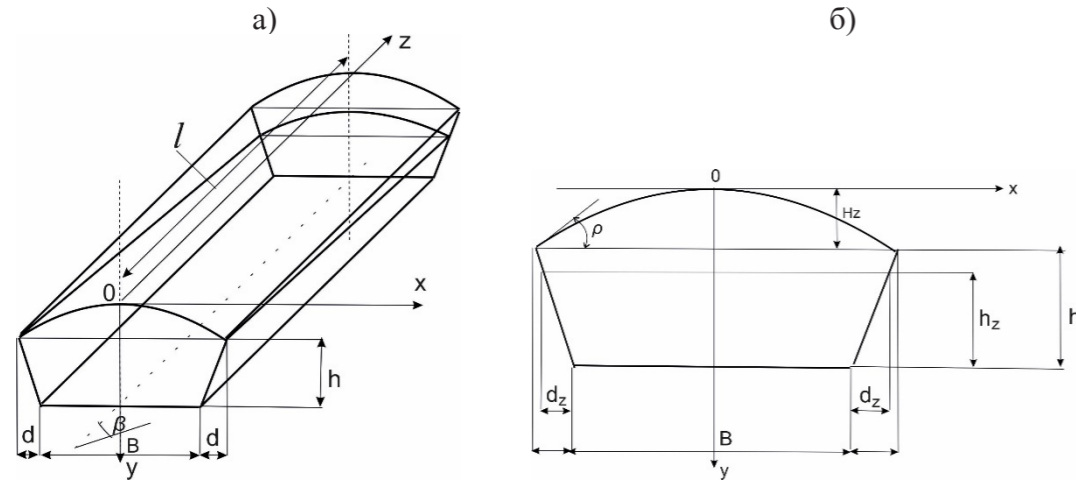


Рисунок 1 Грузовая ячейка крутонаклонного конвейера

А) – форма груза в грузовой ячейке; б) – поперечное сечение грузовой ячейки

Очевидно, что оптимальные соотношения геометрических параметров грузовой ячейки являются такими, которые обеспечивают максимальный объем груза в грузовой ячейке крутонаклонного конвейера, при заданной площади боковой поверхности грузовой ячейки, т.е.:

$$V=f(B,d,h,L) \rightarrow \max \quad (1)$$

при  $S=const$ .

Где:  $B,d,h,L$  – геометрические параметры грузовой ячейки крутонаклонного конвейера (Рисунок 1);  $S$  – площадь боковой поверхности грузовой ячейки крутонаклонного конвейера.

Объем груза в ячейке можно определить по формуле

$$V=\int_0^l S(z)dz \quad (2)$$

где:  $S$  – функция площади поперечного сечения груза на конвейере в зависимости от расстояния от нижней перегородки до рассматриваемого сечения.

**Результаты и обсуждение**

Рассмотрим поперечное сечение груза крутонаклонного конвейера на расстоянии  $z$  от нижней перегородки (Рисунок 1 б)).

Разделим поперечное сечение на 2 части: верхнюю и нижнюю.

Исходя из того, что очертание верхней части описывается параболой, и угол наклона касательной и поверхности груза равен углу естественного откоса материала- $\rho$ , то очертание верхней части описывается функцией [10]

$$y=\frac{tg\rho}{B+2dz} * x^2 \quad (3)$$

Высота «шапки» груза определится формулой (3) и при  $x=B/2+dz$  будет равна:

$$H_z=(B+2dz)tg\rho/4 \quad (4)$$

Площадь верхней части груза определяется выражением:

$$S_z^B=2\int_0^{B/2+dz} (H_z - y)dx=\frac{(B+2dz)^2}{6}tg\rho \quad (5)$$

Площадь нижней части

$$S_z^H=(B+dz)h_z \quad (6)$$

Площадь поперечного сечения груза в сечении  $z$ :

$$S(z)=S_z^B+S_z^H=\frac{(B+2dz)^2}{6}tg\rho+(B+dz)h_z \quad (7)$$

Высота борта груза в сечении  $z$ , и развал бортов определяются следующими выражениями:

$$h_z=h-ztg(\beta-\rho) \quad (8)$$

$$d_z=\frac{d}{h} h_z=\frac{d}{h}[h-ztg(\beta-\rho)] \quad (9)$$

Подставив (8) и (9) в (7) получим функцию площади поперечного сечения груза на конвейере в зависимости от расстояния от нижней перегородки до сечения  $z$ :

$$S(z)=\{B + 2\frac{d}{h}[h - ztg(\beta - \rho)]\}^2tg\rho/6+[B + 2\frac{d}{h}[h - ztg(\beta - \rho)]] * [h-ztg(\beta-\rho)] \quad (10)$$

Подставив (10) в (2) получим выражение для объема груза в ячейке грузовой ветви крутонаклонного конвейера:

$$V=[tg\rho(B + 2d)^2/6+(B+2d)h]l- tg(\beta-\rho)[4\frac{d}{h}B+8\frac{d^2}{h}+2d]l^2/2+ tg(\beta-\rho)[4\frac{d^2}{6h^2}tg\rho+\frac{d}{h}]l^3 \quad (11)$$

Производительность крутонаклонного конвейера определится по формуле:

$$Q=3,6\frac{V}{l}v\gamma \quad (12)$$

При проектном расчете обычного конвейера, исходя из требуемой производительности определяют площадь поперечного сечения, а затем геометрические размеры желоба конвейера.

Для крутонаклонного конвейера удобно оперировать понятием средней площади сечения, определяемой соотношением:

$$F_{cp} = \frac{V}{l} \quad (13)$$

Или, учитывая формулу (11) получим

$$F_{cp} = [\operatorname{tg} \rho (B + 2d)^2 / 6 + (B + 2d)h]l - \operatorname{tg}(\beta - \rho) [4 \frac{d}{h} B + 8 \frac{d^2}{h} + 2d]l / 2 + \operatorname{tg}(\beta - \rho) [4 \frac{d^2}{6h^2} \operatorname{tg} \rho + \frac{d}{h}]l^2 \quad (14)$$

Очевидно, что имеются оптимальные соотношения между параметрами B, d, h и l с точки зрения обеспечения максимальной производительности при определенном расходе материала. несущего полотна, т.е. его материалоемкости.

Поскольку производительность крутонаклонного конвейера определяется объемом груза в ячейке крутонаклонного конвейера, то металлоемкость грузовой ветви будет определяться площадью поверхности несущего полотна одной ячейки и площадью поверхности одной перегородки, так как каждая перегородка принадлежит одновременно двум соседним ячейкам.

Таким образом, задачу нахождения рациональных геометрических размеров грузовой ветви крутонаклонного конвейера можно сформулировать следующим образом: при заданной площади поверхности ячейки найти такие ее размеры, при которых обеспечивается максимум объема груза в ячейке конвейера. При этом должен быть учтен тот фактор, что конвейер предназначен для транспортирования крупнокусового груза.

Площадь боковой поверхности ячейки (см. Рисунок 1 а)) определим по формуле

$$S = (B + 2\sqrt{d^2 + h^2})l + (B + 2d)^2 \operatorname{tg} \rho / 6 + (B + d)h \quad (15)$$

Из (15) найдем

$$l = [S - (B + d)h - (B + 2d)^2 \operatorname{tg} \rho / 6] / (B + 2\sqrt{d^2 + h^2}) \quad (16)$$

Как видно из формулы (11), функция объема зависит от 4-х параметров B, d, h, l, причем три из них являются независимыми, а четвертый выражается через остальные три.

Наиболее удобно выразить параметр l через параметры B, d, h и заданную площадь боковой поверхности S. Данная зависимость выражается соотношением (16).

Для получения универсального решения, необходимо выразить геометрические параметры в относительных единицах. Удобнее всего, выразить их в виде отношения к корню квадратному из площади боковой поверхности ячейки, следующим образом:

$$B = \alpha \sqrt{S}; \quad d = \gamma \sqrt{S}; \quad h = \varepsilon \sqrt{S} \quad (17)$$

Подставим (17) в (16) получим:

$$l = \frac{1 - (\alpha + \gamma)\varepsilon - (\alpha + 2\gamma)\operatorname{tg} \rho / 6}{\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}} \sqrt{S} \quad (18)$$

или

$$l = \psi \sqrt{S} \quad (19)$$

где

$$\psi = \frac{1 - (\alpha + \gamma)\varepsilon - (\alpha + 2\gamma)\operatorname{tg} \rho / 6}{\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}} \sqrt{S} \quad (20)$$

Подставим (17) и (20) в (11) получим выражение целевой функции

$$V = \{ [\operatorname{tg} \rho (\alpha + 2\gamma)^2 + (\alpha + \gamma)\varepsilon] \psi / 6 - \operatorname{tg}(\beta - \rho) * [\operatorname{tg} \rho (4\gamma\alpha / \varepsilon + 8\gamma^2 / \varepsilon) + 2\gamma] \psi^2 / 2 + \operatorname{tg}(\beta - \rho) [4\gamma^2 \operatorname{tg} \rho / (6\varepsilon^2) + \gamma / \varepsilon] \psi^3 / 3 \} \sqrt{S^3} \quad (21)$$

Где параметр  $\psi$  выражается через  $\alpha$ ,  $\gamma$  и  $\varepsilon$  соотношением (20).

Найдя максимум функции (21), получим значения B, d, h, l в относительных единицах от корня квадратного из площади боковой поверхности ячейки.

Удобнее выразить геометрические параметры грузовой ветви конвейера через корень квадратный из средней площади сечения грузовой ветви, так как средняя площадь может быть определена при проектировании конвейера по формуле:

$$F_{cp} = \frac{Q}{3,6v\gamma_{гр}} \quad (22)$$

Подставив формулы (16)-(18) в формулу (13), получим выражение для соотношения площадей:

$$\xi = \frac{F_{cp}}{S} = \operatorname{tg} \rho (\alpha + 2\gamma)^2 / 6 + (\alpha + \gamma)\varepsilon - \operatorname{tg}(\beta - \rho) [\operatorname{tg} \rho (4\gamma\alpha / \varepsilon + 8\gamma^2 / \varepsilon) + 2\gamma] \psi + \operatorname{tg}(\beta - \rho) [4\gamma^2 \operatorname{tg} \rho / (6\varepsilon^2) + \gamma / \varepsilon] \psi^2 / 3 \quad (23)$$

Тогда пересчет на новые относительные единицы будет осуществляться по формулам:

$$\alpha' = \alpha / \sqrt{\xi}; \quad \gamma' = \gamma / \sqrt{\xi}; \quad \varepsilon' = \varepsilon / \sqrt{\xi}; \quad \psi' = \psi / \sqrt{\xi} \quad (24)$$

Поскольку конвейер предназначен для транспортирования крупнокусовых грузов, то минимальные значения B и l будут ограничиваться максимальной величиной куска транспортируемого материала. Поэтому, для получения оптимального решения в относительных единицах следует задаться величиной  $\alpha$  и определить оптимальные соотношения  $\gamma$ ,  $\varepsilon$  и  $\psi$ , соблюдая при этом условие:

$$\psi \geq \alpha \quad (25)$$

Рассчитав оптимальные соотношения для различных B можно построить номограмму для определения оптимальных соотношений по известному соотношению определяемому исходя из требуемой производительности и крупности куска транспортируемого материала.

Так как целевая функция довольно сложна, то аналитическое решение получить не удастся, поэтому необходимо искать решение численным методом. В исследовании использован градиентный метод поиска многомерного оптимума – метод наискорейшего подъема [10].

Согласно этому методу, выбирают начальную точку, и затем смещают координаты на шаг в направлении градиента функции с последующим вычислением целевой функции. Если ее величина оказывается больше предыдущей, вычисляется

градиент в новой точке, и вся процедура повторяется до обеспечения заданной точности вычислений.

Градиент функции определяется выражением

$$\vec{grad} F = \frac{\partial F}{\partial x_1} \vec{e}_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2} \vec{e}_2 + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n} \vec{e}_n \quad (26)$$

Шаг изменения каждого параметра при методе наискорейшего подъема определяется по формуле

$$x_{i+1} = x_i + \alpha v_i \quad (27)$$

где  $\alpha$ -величина смещения, уменьшающаяся по мере приближения к оптимуму;

$v_i$ -относительная величина  $i$ -й частной производной, определяемой по формуле

$$v_i = \frac{\partial F}{\partial x_i} / \sqrt{\sum_{j=1}^n (\frac{\partial F}{\partial x_j})^2} \quad (28)$$

Найдем выражения для частных производных. Перепишем (28) в виде

$$v = A\psi + B\psi^2 + C\psi^3 \quad (29)$$

где:

$$A = \text{tg}(\alpha + 2\gamma)^2 / 6 + (\alpha + \gamma)\varepsilon \quad (30)$$

$$C = \text{tg}(\beta - \rho) [4\gamma^2 \text{tg}(\rho) / (6\varepsilon^2) + \gamma / \varepsilon] \quad (31)$$

$$B = \text{tg}(\beta - \rho) [\text{tg}(\rho) (4\gamma\alpha / \varepsilon + 8\gamma^2 / \varepsilon) / 6 + 2\gamma] \psi^2 / 2 \quad (32)$$

Частные производные от (29)

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial \alpha} &= \frac{\partial A}{\partial \alpha} \psi + A \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} + \frac{\partial B}{\partial \alpha} \psi^2 + 2\psi \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \frac{\partial C}{\partial \alpha} \psi^3 + 3\psi^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial v}{\partial \gamma} &= \frac{\partial A}{\partial \gamma} \psi + A \frac{\partial \psi}{\partial \gamma} + \frac{\partial B}{\partial \gamma} \psi^2 + 2\psi \frac{\partial B}{\partial \gamma} + \frac{\partial C}{\partial \gamma} \psi^3 + 3\psi^2 \frac{\partial C}{\partial \gamma} \end{aligned} \quad (33)$$

где:

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial \alpha} &= \text{tg}(\alpha + 2\gamma) / 3 + \varepsilon \\ \frac{\partial B}{\partial \alpha} &= -\text{tg}(\beta - \rho) [\text{tg}(\rho) \gamma \psi^2] / (3\varepsilon) \\ \frac{\partial C}{\partial \alpha} &= 0 \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} &= \{ [-\varepsilon - \text{tg}(\alpha + 2\gamma) / 3] (\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}) - [1 - (\alpha + \gamma)\varepsilon - \text{tg}(\alpha + \\ &+ 2\gamma)^2 / 6] / [(\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2})^2] \\ \frac{\partial A}{\partial \gamma} &= 2\text{tg}(\alpha + 2\gamma) / 3 + \varepsilon \\ \frac{\partial B}{\partial \gamma} &= -\text{tg}(\beta - \rho) [\text{tg}(\rho) [\text{tg}(\rho) (4\alpha / \varepsilon + 16\gamma / \varepsilon) / 6 + 2] / 2 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \gamma} = \text{tg}^2(\beta - \rho) (4\gamma \text{tg}(\rho) / (3\varepsilon^2) + 1 / \varepsilon) / 3$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial \gamma} &= \{ [-\varepsilon - 2\text{tg}(\rho) (\alpha + 2\gamma) / 3] (\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}) - (2\gamma / \sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}) [1 - \\ &(\alpha + \gamma)\varepsilon - \text{tg}(\rho) (\alpha + \gamma)^2 / 6] / [(\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2})^2] \\ \frac{\partial A}{\partial \varepsilon} &= \alpha + \gamma \\ \frac{\partial B}{\partial \varepsilon} &= \text{tg}(\beta - \rho) [\text{tg}(\rho) (4\alpha\gamma + 8\gamma^2) / 6\varepsilon^2] / 2 \\ \frac{\partial C}{\partial \varepsilon} &= -\text{tg}^2(\beta - \rho) [4\gamma^2 \text{tg}(\rho) / (3\varepsilon^3) + \gamma / \varepsilon^2] / 3 \end{aligned} \quad (36)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon} = [ -(\alpha + \gamma) (\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}) - (2\varepsilon / \sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2}) [1 - (\alpha + \gamma)\varepsilon - (\alpha + 2\gamma)^2 \text{tg}(\rho) / 6] / [(\alpha + 2\sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2})^2]$$

Согласно вышеприведенной методики рассчитаны относительные величины геометрических параметров несущего полотна.

Результаты расчета показаны на графике зависимостей относительных размеров грузовой ветви крутонаклонного конвейера от относительной ширины полотна (Рисунок 2), причем все величины отнесены к корню квадратному из средней площади сечения, что позволяет, исходя из требуемой производительности конвейера и крупности куска транспортируемого материала, определить оптимальные геометрические размеры грузовой ветви конвейера по приведенным зависимостям.

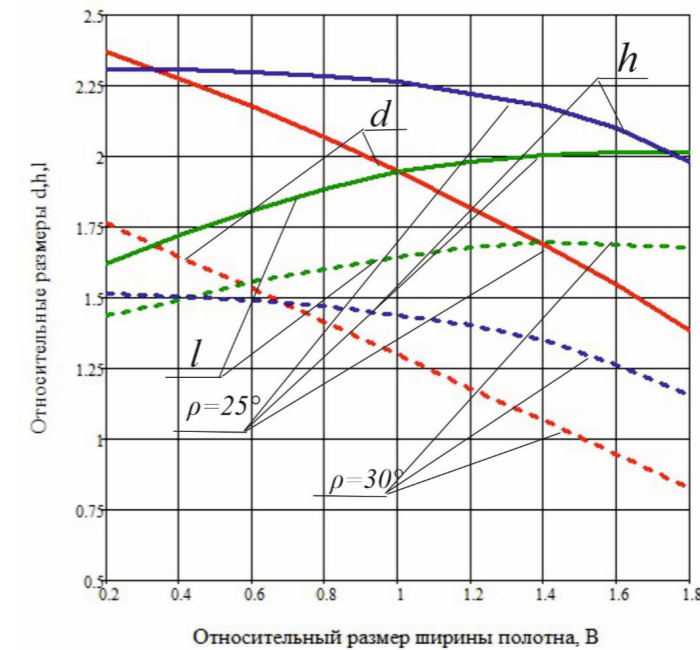


Рисунок 2 – Зависимости относительных размеров грузовой ветви крутонаклонного конвейера от относительной ширины полотна при угле установки конвейера  $\beta = 35^\circ$

**Выводы**

В представленном исследовании изложены методические основы определения оптимальных параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера. В ходе проведенных теоретических исследований были решены следующие задачи:

– определена целевая функция, составляющая основу математической модели оптимизации геометрических параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера;

– определены зависимости относительных оптимальных геометрических параметров грузонесущего полотна крутонаклонного пластинчатого конвейера от относительной величины ширины полотна конвейера при различных углах естественного откоса транспортируемого материала и угла установки конвейера.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Малыбаев, С. К., Рожков, А. В., Балабаев, О. Т.** Перспективы применения циклично-поточной и поточной технологий на открытых горных работах // Республиканский журнал «Труды университета». № 1. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2006. – С. 68.

2 **Кольга, А. Д., Московка, Е. В.** Повышение экологичности использования карьерных автосамосвалов в составе автопоездов на открытых горных работах // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. – Т.6. – № 1. С. 55–57.

3 **Бурмистров, К. В., Гавришев, С. Е.** Повышение эффективности разработки рудных месторождений на основе интенсификации горных работ на участках карьера. Магнитогорск : Из-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2005. – 10 с.

4 **Гавришев, С. Е., Калмыков, В. Н., Бурмистров, К. В., Томила, Н. Г., Заляднов, В. Ю.** Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2014. – № 1. – С. 8–12.

5 **Шешко, Е. Е.** Обоснование параметров мощных крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой для подъема из глубоких карьеров М.: «Горная промышленность» № (136)-2017 С. – 80–83.

6 **Дмитриев, В. Г., Бажанов, П. А.** Оптимизация параметров линейной части ленточного трубчатого конвейера, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. – вып.6, С. 36–50.

7 **Репин, С. В., Баженов, А. А.** Метод оптимизации геометрических параметров крутонаклонных конвейеров с перегородками, Научно-технический журнал «Вестник гражданских инженеров», 2018. – № 1(66), С. 141–145.

8 **Черненко, В. Д.** Расчет средств непрерывного транспорта : Учебное пособие. – СПб. Политехника, 2011. – 386 с.

9 **Баженов, А. А.** Разработка методики расчета крутонаклонных конвейеров с перегородками, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, СПб, 2012. – 90 с.

10 **Калиткин, Н. Н., Корякин, П. В.** Численные методы : в 2 кн.: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования - М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 304 с.

**REFERENCES**

1 **Maly`baev, S. K., Rozhkov, A. V., Balabaev, O. T.** Perspektivy` primeneniya ciklichno-potochnoj i potochnoj tehnologij na otkry`ty`x gorny`x rabotax // Respublikanskij zhurnal «Trudy` universiteta». № 1. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2006. – P. 68.

2 **Kol`ga, A. D., Moskovka, E. V.** Povy`shenie e`kologichnosti ispol`zovaniya kar`erny`x avtosamosvalov v sostave avtopoezdov na otkry`ty`x gorny`x rabotax // Sovremenny`e problemy` transportnogo kompleksa Rossii. – 2016. – Т.6. – № 1. – P. 55–57.

3 **Burmistrov, K. V., Gavrishev, S. E.** Povy`shenie e`ffektivnosti razrabotki rudny`x mestorozhdenij na osnove intensivatsii gorny`x rabot na uchastkax kar`era. Magnitogorsk: Iz-vo Magnitogorsk. gos. tehn. un-ta im. G. I. Nosova, 2005. – 10 p.

4 **Gavrishev, S. E., Kalmy`kov, V. N., Burmistrov, K. V., Tomilina, N. G., Zalyadnov, V. Yu.** Ocenka e`ffektivnosti sxem vskry`tiya zakonturny`x zapasov s primeneniem kar`erny`x pod`emnikov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova. – 2014. – № 1. P. 8–12.

5 **Sheshko, E. E.** Obosnovanie parametrov moshhny`x krutonaklonny`x konvejerov s prizhimnoj lentoy dlya pod`ema iz glubokix kar`erov M. : «Gornaya promy`shlennost`» №(136)-2017 P. 80–83.

6 **Dmitriev, V. G., Bazhanov, P. A.** Optimizatsiya parametrov linejnoy chasti lentochnogo trubchatogo konvejera, Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-texnicheskij zhurnal), 2014. – vy`p.6, P. 36–50.

7 **Repin, S. V., Bazhenov, A. A.** Metod optimizatsii geometricheskix parametrov krutonaklonny`x konvejerov s peregorodkami, Nauchno-texnicheskij zhurnal «Vestnik grazhdanskix inzhenerov», 2018. – № 1(66), P. 141–145.

8 **Chernenko, V. D.** Raschet sredstv neprery`vnogo transporta : Uchebnoe posobie. – SPb. Politehnika, 2011. – 386 p.

9 **Bazhenov, A. A.** Razrabotka metodiki rascheta krutonaklonny`x konvejerov s peregorodkami, Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk, SPb, 2012. – 90 p.

10 **Kalitkin, N. N., Koryakin, P. V.** Chislenny`e metody` : v 2 kn.: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij vy`ssh. prof. obrazovaniya – M. : Izdatel`skij centr «Akademiya», 2013. – 304 p.

Материал поступил в редакцию 27.08.23.

\*А. В. Рожков<sup>1</sup>, Б. Ш. Аскаргов<sup>2</sup>, Р. Р. Хайбуллин<sup>3</sup>,  
А. Р. Кенжекеева<sup>4</sup>, Ф. Е. Канат<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.  
Материал 27.08.23 баспаға түсті.

### ЖОҒАРЫ ЕҢКЕЙТІЛГЕН ТАСЫМАЛДЫ КОНВЕЙЕРДІҢ ЖҮК ТҮСІРУШІ МАТАСЫНЫҢ ОПТИМАЛДЫ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ.

Ашық әдіспен өндірудің қазіргі жағдайының басты ерекшелік белгілерінің бірі – карьерлердің тереңдігі мен өнімділігін арттырудың тұрақты үрдісі. Мұндай жағдайларда пайдалы қазбаларды игерудің циклдік ағынды технологиясы (CPT) ең тиімді болады. Мұны еліміздің ашық кеніштерінде CLT қолданудың бар тәжірибесі растайды. Біздің уақытта CPT пайдалану тәжірибесі 35 ... болатын карьер бөлігінің тірелу бұрышына тең орнату бұрыштарында үлкен өлшемді тау массасын тасымалдауға қабілетті конвейерлердің арнайы түрлерін жасау қажеттілігін анықтады. 45 градус. Мұндай конвейерлердің конструктивтік схемаларының бірі - тік көлбеу пластиналы конвейер, онда жүкті тасымалдаушы кенепте ұстау үшін жүкті тіреу принципі (тірек қалқалар) қолданылады. Тік көлбеу перронды конвейердің жүк көтергіш торының материал шығынын азайту үшін жүк ұяшығының геометриялық параметрлері (екі тіреуіш қалқа арасындағы жүк тармағының учаскесі) арасындағы оңтайлы арақатынастарды анықтау қажет. конвейер. Тік көлбеу пластиналы конвейердің жүк ұяшығының геометриялық параметрлерін оңтайландырудың математикалық моделі құрастырылды, ол жүк ұяшығындағы жүк көлемінің объективті функциясы болып табылады, жүк бетінің ауданы белгіленген мәні бар. ұяшық. Мақсаттық функция сандық әдіспен максималды түрде зерттелді, нәтижесінде жүк ұяшығының геометриялық параметрлерінің оңтайлы мәндерінің конвейер таспасының салыстырмалы еніне, конвейерді орнату бұрышына тәуелділігі анықталды. , және тасымалданатын материалдың отыру бұрышы алынды.

Кілтті сөздер: циклдік ағын технологиясы, тік көлбеу конвейер, геометриялық параметрлер, математикалық модель, мақсаттық функция, ұяшықтағы жүк көлемі, оңтайлы арақатынастар.

\*A. V. Rozhkov<sup>1</sup>, B. Sh. Askarov<sup>2</sup>, R. R. Khaibullin<sup>3</sup>,  
O.A. R. Kenzhekeeva<sup>4</sup>, F. E. Kanat<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda.  
Material received on 27.08.23.

### DETERMINATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE LOAD-CARRYING FABRIC OF A HIGHLY TILT PLATED CONVEYOR

One of the main distinguishing features of the current state of open pit mining is a steady trend towards an increase in the depth and productivity of open pits. Under these conditions, the cyclic flow technology (CPT) for the development of minerals becomes the most effective. This is confirmed by the existing experience of using CLT in the country's open pit mines. In our time, the experience of operating the CPT has revealed the need to create special types of conveyors capable of transporting large-sized rock mass at installation angles equal to the angle of repose of the part of the quarry, which are 35 ... 45 degrees. One of the design schemes of such conveyors is a steeply inclined plate conveyor, in which, to hold the load on the carrier canvas, the principle of load support (supporting partitions) is used. To reduce the material consumption of the load-carrying web of a steeply inclined apron conveyor, it is necessary to determine the optimal ratios between the geometric parameters of the cargo cell (section of the cargo branch between two supporting partitions) of the steeply inclined conveyor. A mathematical model for optimizing the geometric parameters of the cargo cell of a steeply inclined plate conveyor has been compiled, which is an objective function of the volume of cargo in the cargo cell, with a fixed value of the surface area of the cargo cell. The objective function was studied to the maximum by a numerical method, as a result of which the dependences of the optimal values of the geometric parameters of the cargo cell on the relative width of the conveyor belt, the angle of installation of the conveyor, and the angle of repose of the transported material were obtained.

Keywords: cyclic flow technology, steeply inclined conveyor, geometric parameters, mathematical model, objective function, cargo volume in a cell, optimal ratios.

\***R. Zaripov<sup>1</sup>, P. Gavrilovs<sup>2</sup>, R. Mukanov<sup>1</sup>, A. Mazdubay<sup>1</sup>, A. Zhekenov<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Riga Technical university, Institute of railway transport, Latvia;

<sup>3</sup>Higher College of Electronics and Communications,  
Kazakhstan of Republic, Pavlodar

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

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SMALL ELECTRIC-POWERED VESSEL USING PHOTOVOLTAIC CELLS

*The article reflects the research of the possibility of using solar panels on small-class vessels in order to improve environmental safety. A mathematical model and algorithm for calculating the elements and characteristics of «small» passenger ships with various types of electric solar power plants have been developed. Scope of application: uninterrupted supply of electric energy to the consumer on ships. The results obtained in the work can be used for the development of renewable energy projects. To justify the rationality of using an electric motor and electrochemical energy sources, extensive field tests were carried out on the Irtysh River, during which the composition of equipment, passenger capacity, operational speed and the length of the line of operation varied. Based on the enlarged flowchart, the authors develop a program that allows for a quantitative analysis of the impact on the characteristics and elements of a «small» passenger vessel of various complexes of an atypical rowing rig using an electric motor as the main one. The program provides for the calculation of such economic indicators as the payback period of the vessel, the cost of transportation of one passenger, profit from the operation of the vessel.*

*Keywords: «small» ships, vessel, solar panels, electric motor, battery.*

### Introduction

The transition to a «green economy» is largely due to increased emissions requirements and rising fuel prices. Currently, Western shipbuilders have implemented vessels with both combined drive and fully electric. The latter are, in our opinion, very promising for river transport. The development of the photovoltaic cell market and technological progress in the production of batteries contribute to the implementation of bold innovative projects.

The advantages of using solar panels include:

- prospects, availability and inexhaustibility of an energy source in conditions of constant growth of prices for traditional types of energy carriers;
- complete safety for the environment.

However, this energy source is characterized by such disadvantages as dependence on the weather and time of day; seasonality in mid-latitudes and the discrepancy between the periods of energy production and demand for it, unprofitability in high latitudes; the need for energy accumulation; high cost of construction associated with

the use of rare elements; the need for maintenance (periodic cleaning of surfaces from contamination heating of the atmosphere above the power plant; low power density.

The issue of using atypical energy sources may be relevant for “small” passenger ships providing local and intra-city transportation.

### Materials and methods

Employees of the Faculty of Engineering of Toraighyrov University are working on the creation of environmentally friendly small vessels with an electric power plant and solar power panels (Fig. 1). The projected pontoon vessel has an electric motor with a capacity of 10 kW, 8 solar panels and a battery voltage of 48 V.

The main problem in the design of such vessels is the justification of the spheres and conditions for the use of combined or autonomous non-typical energy sources for electric propulsion systems.



Figure 1 – Prototype of a vessel with photocells

The solution of the task can be achieved based on the analysis of the mathematical model of the vessel, which, when calculating with its use of the main characteristics, elements, economic indicators and criteria, should take into account the main aspects of the creation and life cycle of a vessel using an atypical complex of electrical equipment.

Article [1] defines that electromechanical solar panels are constructed using a motor-screw-slider-rack-and-pinion design in combination with solar panels.

The article [2] shows a new design of a small autonomous ground vehicle powered by solar energy. The vehicle was made of composite materials of natural origin. It was equipped with an electric motor powered by an ultralight photovoltaic panel.

In [3] a simplified ship size optimization base on the existing ship design for obtaining minimum propulsion power by using golden search section algorithm has been applied.

The paper [4] illustrates the practical new technologies (naval architecture small craft design, mechanical and electrical design), rational design and engineering approach, safety and reliability methods used in solar boats. In our project, the boat is powered by lithium-ion batteries that can be charged at any time by the photovoltaic generator placed on a flat top structure.

The paper [5] aims to analyze the possibility of applying renewable energy sources, particularly solar and wind energy, on an existing vessel by conducting technical and economic analysis. Data for the solar hour's number and wind distribution are gathered from the six locations in the Adriatic Sea over 32 years period.

The peculiarity of the mathematical model of a vessel with an autonomous electric rowing unit (AERU) is related to the characteristics of electric power sources reflected in it, which ensure the operation of the rowing electric motor (EM) and makes up the second part of the model. If the obtained characteristics change the mass-dimensional characteristics of the vessel as a whole, then the latter are corrected and only economic indicators are calculated based on them.

Expression (1) defines the required power, mass-dimensional characteristics and the possibility of placing the main equipment of the ship's electrical power plant of the vessel. The system describes the requirements for sufficient capacity of batteries and the number of their elements, the condition for placing modules of photovoltaic cells and a set of equipment in the hull of the vessel.

$$\left. \begin{aligned} C_{bat} &\geq \frac{N(v, P_e, t, \eta_p, \eta_w, \eta_n)}{bat} - (C_{sb}(L, B) + \Omega) \\ n_{el} &\geq n_1^{el}(U_{bat}; C_{bat}) + n_2^{el}(U_{bat}; C_{bat}) \\ S_{sb}^{el}(L, B) &\leq S_{SD} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

where  $C_{bat}$  is the total capacity of the battery, Ah;  
 $U_{bat}$  – voltage of the main electrical network, V;  
 $C_{sb}(L, B)$ – the capacity of photovoltaic cells, Ah;  
 $\Omega$  – is the total capacity obtained when recharging during the parking of the vessel;  
 $n_{el}$  – the number of elements that provide the necessary mains voltage and the required capacity for the vessel to move at a given speed during a certain voyage parameters, time;  
 $n_1^{el}$  – the number of elements connected in series;  
 $n_2^{el}$  – the number of elements connected in parallel;  
 $S_{sb}^{el}$  – total area of photovoltaic modules;  
 $S_{SD}$  – the area of the superstructure deck designed to accommodate the solar array;

The structure of the complex of electrical equipment significantly depends on the type of autonomous electric rowing unit. Figure 1 shows the schematic diagrams of the AERU. The power source of the propeller electric motor in both cases is the battery, but the first scheme provides for the possibility of parallel supply of current to the EM from the battery and diesel generator (DG). As an option for working under this scheme, the DG is used only for charging the elements.

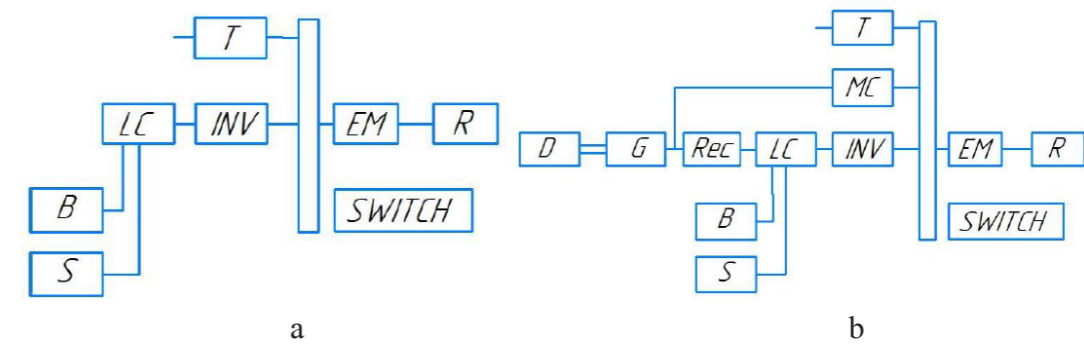


Figure 1 – Schematic diagram of an electric power plant (a); schematic diagram of a combined power plant (CPP) (b)

D – diesel engine; G – generator; B – batteries; S – photocells; Rec – rectifier; LC – load controller; MC – mode controller; INV– inverter; SWITCH – main switchboard; EM – electric motor; R – reducer; T – transformer.

The subtask representing the design component is connected with the determination of the composition of the necessary equipment and operational modes of the vessel, which significantly depends on the type of the ship's power propulsion system and determines its configuration.

The calculation of the mass-dimensional characteristics of the battery cells is based on the calculated required capacity for a given driving time on electric traction. The total capacity is determined depending on the set mains voltage and the required total capacity of the vessel, which is according to the methodology given in [6].

According to the total capacity, the number of battery cells providing the required mains voltage is calculated by the formula

$$n_{el} = U_{bat}/U_{el}, \quad (2)$$

where  $n_{el}$  is the number of cells interconnected according to the calculation scheme;  
 $U_{bat}$ , V – voltage of the electrical installation;  
 $U_{el}$ , V is the average voltage of one element.

The power output of the battery can be found by the expression

$$P_{bat} = \frac{(P_e + N_{ec})}{\eta_c},$$

where  $P_{el}$ , kW is the required power of the propeller to ensure the movement of the vessel at a given speed;

$N_{ec}$ , kW – estimated capacity of the power plant;  
 $\eta_c$  is the total efficiency of the system.

The capacity of the batteries is determined by the expression

$$C_{bat} = \frac{P_{bat} \cdot 1000}{U_{bat} \cdot h_p}, \quad (4)$$

where  $h_p$  is the permissible depth of battery discharge.

The operating time of an electric motor from batteries is calculated by the formula

$$t_p = \frac{C \cdot U_{bat} \cdot h_p}{P_e}, \quad (5)$$

For the CPP, the share of energy accounted for by the main sources of electrical energy is a given value. When distributing the shares of energy between the DG and battery, it is worth following not only the parameters of the voyage (the estimated operating time of the vessel on battery), but also the fact that when determining the power of the generator, it is necessary to take into account the energy needs of other consumers for the operation of the vessel in the current operational mode.

To calculate the mass-dimensional characteristics of the battery, taking into account the features of their design, as well as a significant proportion of the mass, in order to avoid large errors, it is preferable to take technical characteristics for specific manufactured equipment.

The efficiency of using photovoltaic cells as an additional power source of the vessel is largely due to the indicators of insolation for the region of operation of the vessel during the entire navigation. The total capacity of the modules installed on the deck of the superstructure is determined by the formula

$$\sum P_{SB} = \frac{E_{ins} \cdot (P_{SB} \cdot n_{el}^{SB})}{\lambda} \cdot k_{SB} \quad (6)$$

where  $k_{SB}$  is a correction factor that takes into account the efficiency of the system and the operating conditions of the batteries;  $P_{SB}$  is the power of the photovoltaic module. Determined by the technical characteristics;  $n_{el}^{SB}$  – the number of modules located on the deck of the superstructure;  $E_{ins}$ , – the average value of insolation for the current period for a given region of operation of the vessel (horizontal platform);  $\lambda$  – the power of insolation on the earth's surface per square meter, 1000 W/m<sup>2</sup>.

Similarly to the battery, the mass-dimensional characteristics of solar cells are calculated for specific equipment.

In the case of an electric ship power plant, the operation of the vessel is provided by one main engine – electric. With this approach, the following operational modes that determine the operation of a particular equipment at the moment can be enlarged for the CPP.

The beginning of movement. The need for maximum energy causes the simultaneous supply of electricity from the battery and the DG.

Standby mode. This mode is used during the parking period at the bus stop. In this mode, the diesel generator works to power the ship's power grid and charge the batteries.

Also, the use of this mode is possible to activate the EM and move at a minimum speed without using battery power.

Electric mode. In this mode, the vessel moves at cruising speed exclusively with the help of EM. At the same time, the battery charge level is constantly monitored.

Boost. The mode is designed to move (if necessary) at maximum speed. This contributes to high dynamics and rapid acceleration. The power supply is supplied to both the screw and the consumers.

Coastal mode. This mode is used when the ship is in port to connect to shore power to charge the battery.

This approach makes it possible to quantify the operating time of the vessel using a specific energy source and calculate accordingly the need for a particular type of energy.

All of these tasks are closely related to each other, so their division into groups is rather conditional. At the same time, their solution occurs within the framework of probabilistically uncertain information (the duration of a particular operating mode, data on the required amount of a specific type of energy). These factors determine a certain conditionality of the solutions obtained, which are only close to the actual operating conditions of the vessel [8].

In Block 1, the initial data is set.

Block 2 contains the optimal values at the stage of solving the optimization problem for the vessel as a whole for diesel-mechanical SPP.

In Block 3, depending on the specified type of AERU, the composition of the SPP equipment is determined.

Block 4 controls the presence or absence of photocells in the task with a given utilization factor of the superstructure deck.

In Blocks 5, 6, the mass-dimensional and capacitance characteristics of photovoltaic modules are calculated.

Unit 7 calculates the required battery capacity depending on a given fraction (combined version) or for a fully electric power plant. This parameter depends on the full capacity of the vessel, which consists of the required energy to ensure operational speed, internal ship needs, power reserve, taking into account losses during conversion and transmission of energy in the system, as well as the time of operation of the vessel from the battery during the day.

In Block 8, the mass-dimensional characteristics of the entire complex of installed equipment and the minimum required dimensions of the machine room and the room for the placement of the battery are determined.



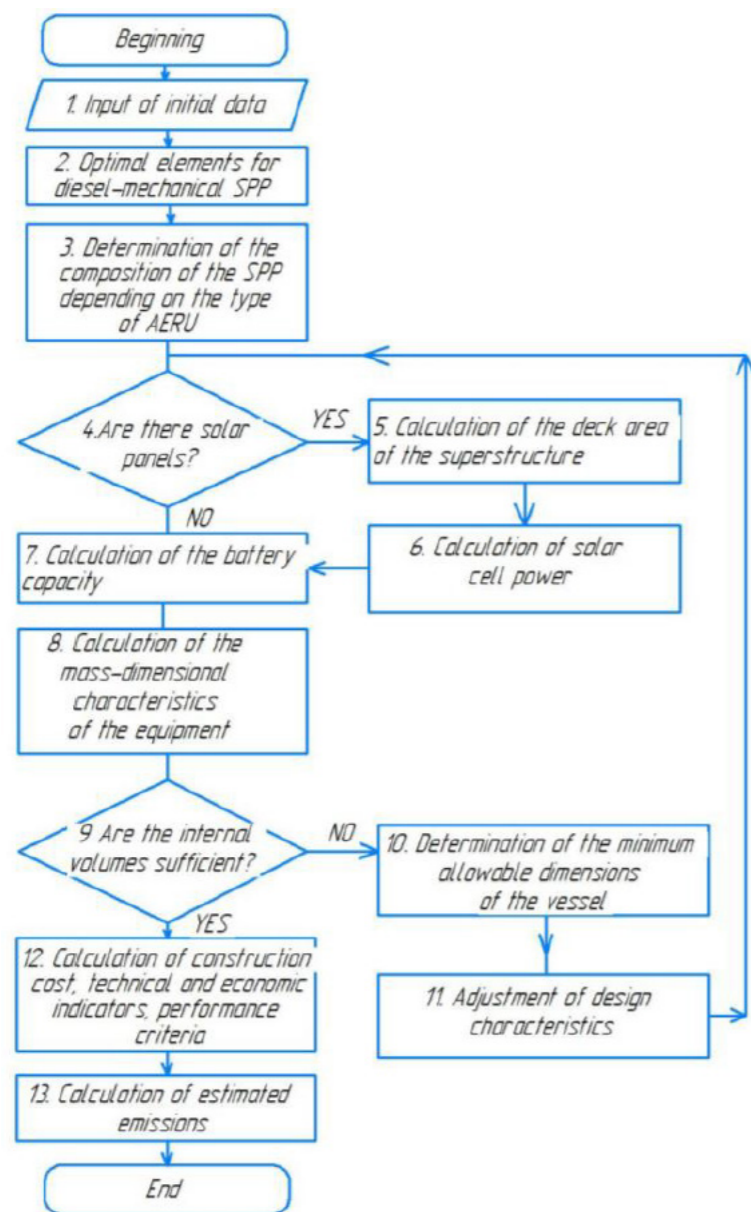


Figure 2 – Block diagram of the problem of designing «small» passenger ships with various types of electric SPP

In Block 9, the dimensions of the engine room determined at the previous calculation step are compared with those calculated for a vessel with a diesel-mechanical SPP.

As a result of the inspection in Blocks 10, 11, if necessary, the main dimensions of the vessel are adjusted (to meet the requirements for the placement of equipment) and the characteristics depending on them.

In Block 12, the construction cost, the performance indicators of the vessel on the line and the economic efficiency criteria for the selected variant of the vessel are calculated.

Block 13 examines the impact of the type of SPP on the environment at the initial design stage. The calculation is reduced to determining the amount of estimated emissions of pollutants into the atmosphere during the period of operation under consideration. The calculation is performed using averaged indicators according to generally accepted methods for operated river vessels [7-10].

In Block 14, the comparative economic indicators of a vessel with an atypical SPP complex and a vessel with a diesel-mechanical installation are calculated.

### Conclusions

On the basis of an enlarged flowchart, a program is being developed that allows a quantitative analysis of the impact on the characteristics and elements of a «small» passenger vessel of various complexes of an atypical rowing rig using an electric motor as the main one. The program provides for the calculation of such economic indicators as the payback period of the vessel, the cost of transportation of one passenger, profit from the operation of the vessel.

In order to substantiate the rationality of using an electric motor and electrochemical energy sources, extensive field tests were carried out on the Irtysh River, during which the composition of equipment, passenger capacity, operational speed and length of the line of operation varied.

### REFERENCES

- 1 **Haomin, Zhang , Xingang, Xu.** Research and Design of Wind and Solar Complementary Electric Sightseeing Boat E3S Web of Conferences 145, 0 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20201420195020> IAECST 2056 (2020) 56.
- 2 **Sorne K., Wiercioch J., Kurczynya D., Figaj R., Wojcik, M. Borowicz, M. Wielinski.** Development of a solar-powered small autonomous surface vehicle for environmental measurements Mechanical Systems and Signal Processing Volume 181, 1 December 2022. – 109521.
- 3 **A. Nasirudina, R. Chaoa, K. P. Utama** Solar Powered Boat Design Optimization Procedia Engineering 194. – 2017. – P. 260 – 267.
- 4 **Spagnolo G. S., Papalillo D., Martocchia A., Makary G.** Solar-Electric Boat Journal of Transportation Technologies, 2012. – 2, 144–149. [Electronic resource]. – doi:10.4236/jtts.2012.22015
- 5 **Georgakis D., Papathanassiou S., Hatziargyriou N., Engler A., and Hardt C.** «Operation of a prototype microgrid system based on micro-sources equipped with fast-acting power electronics interfaces,» in Proceedings of the IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC '04), vol. 4. – P. 2521– 2526, June 2004.
- 6 **Peša, T.; Krčum, M.; Kero, G.; Šoda, J.** Retrofitting Vessel with Solar and Wind Renewable Energy Sources as an Example of the Croatia Study-Case. J. Mar. Sci. Eng. 2022. – 10. – 1471. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.3390/jmse10101471>

7 **Zaripov, R., Tkachuk, A., Miller, S., Zigangirov, S., Gavrilovs, P.** On the Development of Electric Vehicles for the Tourism Industry Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2022. – 2022-October, P. 911–915.

8 **Behrouzian E., Tabesh A., Bahrainian F., and Zamanin A.** «Power electronics for photovoltaic energy system of an oceanographic buoy» in Proceedings of the IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC '11), P. 1–4, April 2011.

9 **Hoppmann, J., Huenteler, J., Girod, B.** Compulsive policymaking—the evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power. Research Policy, Vol. 43, № 8, P. 1422–1441. – 2014.

10 **Mandal, P., Madhira, S. T. S., Haque, A. U.** Forecasting Power Output of Solar Photovoltaic System Using Wavelet Transform and Artificial Intelligence Techniques. Procedia Computer Science, Vol. 12. – № 1, P. 332–337, 2012.

Material received on 06.06.23.

**\*Р. Зарипов<sup>1</sup>, П. Гаврилов<sup>2</sup>, Р. Муканов<sup>3</sup>, А. Маздубай<sup>4</sup>, А. Жекенов<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы Павлодар қ;

<sup>2</sup>Рига техникалық университеті, теміржол көлігі институты, Латвия, Рига қ;

<sup>5</sup>Электроника және коммуникация жоғары колледжі,

Қазақстан Республикасы Павлодар қ.

Материал 06.06.23 баспаға түсті.

#### ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНАТЫН ШАҒЫН ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІ КЕМЕНІ ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Мақалада су көлігінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру мақсатында шағын класты өзен кемелерінде күн батареяларын пайдалану мүмкіндігін зерттеу көрсетілген. Электр күн электр станцияларының әртүрлі типтері бар «шағын» жолаушылар кемелерінің элементтері мен сипаттамаларын есептеудің математикалық моделі мен алгоритмі жасалды. Қолдану саласы: шағын көлемді кемелерде тұтынушыны электр энергиясымен үздіксіз қамтамасыз ету. Жұмыста алынған нәтижелер жаңартылатын энергия көздері саласындағы су көліктерін дамыту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Электр қозғалтқышы мен электрохимиялық энергия көздерін пайдаланудың ұтымдылығын негіздеу үшін Павлодар облысындағы Ертіс өзенінде кең далалық сынақтар жүргізілді, оның барысында қолда бар жабдықтардың құрамы, жолаушылар сыйымдылығы, пайдалану жылдамдығы, сондай-ақ пайдалану желісінің ұзақтығы өзгерді. Үлкейтілген блок-схема негізінде авторлар Электр қозғалтқышын негізгі ретінде пайдаланатын типтік емес есу қондырғысының әртүрлі кешендерінің «шағын» жолаушылар кемесінің сипаттамалары мен элементтеріне әсерін сандық талдауға мүмкіндік беретін бағдарлама әзірлейді. Бағдарлама кеменің өтелу мерзімі, бір жолаушыны тасымалдау құны, кемені пайдаланудан түскен пайда сияқты экономикалық көрсеткіштерді автоматтандырылған есептеуді көздейді.

*Кілтті сөздер: «шағын» кемелер, кеме, күн панельдері, электр қозғалтқышы, батарея.*

**\*Р. Зарипов<sup>1</sup>, П. Гаврилов<sup>2</sup>, Р. Муканов<sup>3</sup>, А. Маздубай<sup>4</sup>, А. Жекенов<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>2</sup>Рижский технический университет,

Институт железнодорожного транспорта, Латвия, г. Рига;

<sup>5</sup>Высший колледж электроники и коммуникаций,

Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 06.06.23.

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕБОЛЬШОГО СУДНА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

*В статье отражено исследование возможности использования солнечных панелей питания на речных судах малого класса с целью повышения экологической безопасности водного транспорта. Разработана математическая модель и алгоритм расчета элементов и характеристик «малых» пассажирских судов с различными типами электрических солнечных электростанций. Область применения: бесперебойное снабжение электрической энергией потребителя на маломерных судах. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для разработки водных транспортных средств в области возобновляемых источников энергии.*

Чтобы обосновать рациональность использования электрического двигателя и электрохимических источников энергии, были проведены обширные полевые испытания на реке Иртыш в Павлодарской области, в ходе которых варьировался состав имеющегося оборудования, пассажироместимость, эксплуатационная скорость, а также протяженность линии эксплуатации. На основе укрупненной блок-схемы авторы разрабатывают программу, позволяющую проводить количественный анализ влияния на характеристики и элементы «малого» пассажирского судна различных комплексов нетипичной гребной установки, использующей электродвигатель в качестве основного. Программа предусматривает автоматизированный расчет таких экономических показателей, как срок окупаемости судна, стоимость перевозки одного пассажира, прибыль от эксплуатации судна.

*Ключевые слова: «малые» суда, судно, солнечные панели, электродвигатель, аккумулятор.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абишев Кайратолла Кайроллинович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Абишкенов Максат Жарылгасынович**, ғылыми қызметкер, аға оқытушы, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ. 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Адилов Галымжан Алибекович**, ғылыми қызметкер, техника ғылымдарының магистрі, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [galek@mail.ru](mailto:galek@mail.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**, техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инженерингтік орталығының металлургия зертханасының басшысы, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Абишев Кайратолла Кайроллинович**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Абишкенов Максат Жарылгасынович**, научный сотрудник, ст.преподаватель, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Адилов Галымжан Алибекович**, научный сотрудник, магистр технического наук, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [gamovpa@susu.ru](mailto:gamovpa@susu.ru)

**Алмагамбетов Марал Сарсенбаевич**, кандидат технических наук, Начальник лаборатории металлургии ТОО Научно-исследовательского инженерингового центра ERG, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Abishev Kairatolla Kayrollinovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport Technologies and Logistics», Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru)

**Abishkenov Maxat Zharylgasynovich**, Researcher, Senior Lecturer, Master of Technical Sciences, Department of «Technological Machines and Transport», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Adilov Galymzhan Alibekovich**, Researcher, Master of Technical Sciences, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [gamovpa@susu.ru](mailto:gamovpa@susu.ru)

**Almagambetov Maral Sarsenbayevich**, Candidate of Technical Sciences, The head of Laboratory of Metallurgy LTD Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Maral.Almagambetov@erg.kz](mailto:Maral.Almagambetov@erg.kz)

**Аппазова Салтанат Маратовна**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Инжинирингтік технологиялар» кафедрасы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 120014, Қазақстан Республикасы, e-mail: [saltanat1986.10@gmail.com](mailto:saltanat1986.10@gmail.com)

**Аргын Айдар Абдилмәлікұлы**, PhD, аға ғылыми қызметкер, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com)

**Арепьева Светлана Витальевна**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Рудный индустриалды институты, Рудный қ., 111500, Қазақстан Республикасы, e-mail: [smirnovasv@mail.ru](mailto:smirnovasv@mail.ru)

**Асқаров Бахтияр Шарapidенұлы**, PhD, «Профессор А. Н. Даниярова атындағы өнеркәсіптік тасымалдау» кафедрасы меңгерушісі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Асыллова Карлыгаш Баймухановна**, докторант, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylova\\_1973@mail.ru](mailto:asylova_1973@mail.ru)

**Аппазова Салтанат Маратовна**, магистр естественных наук, ст.преподаватель, кафедра «Инженерные технологии» Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 120014, Республика Казахстан, e-mail: [saltanat1986.10@gmail.com](mailto:saltanat1986.10@gmail.com)

**Аргын Айдар Абдилмәлікұлы**, PhD, ст. научный сотрудник, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com)

**Арепьева Светлана Витальевна**, кандидат физико-математических наук, ст. преподаватель, Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, 111500, Республика Казахстан, e-mail: [smirnovasv@mail.ru](mailto:smirnovasv@mail.ru)

**Асқаров Бахтияр Шарapidенович**, Phd, заведующий кафедры «Промышленный транспорт имени профессора А. Н. Даниярова», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Асыллова Карлыгаш Баймухановна**, докторант, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asylova\\_1973@mail.ru](mailto:asylova_1973@mail.ru)

**Appazova Saltanat Maratovna**, Master of Natural Sciences, Senior lecturer, Department of «Engineering Technologies» Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, 120014, Republic of Kazakhstan, e-mail: [saltanat1986.10@gmail.com](mailto:saltanat1986.10@gmail.com)

**Argyn Kaydar Abdimalikuly**, PhD, Senior Researcher, Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com)

**Arepyeva Svetlana Vitalievna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior lecturer, Rudny Industrial Institute, Rudny, 111500, Republic of Kazakhstan, e-mail: [smirnovasv@mail.ru](mailto:smirnovasv@mail.ru)

**Askarov Bakhtiyar Sharapidenovich**, Phd, head of department, «Industrial transport named after Professor A. N. Daniyarov», Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Asylova Karlygash Baimukhanovna**, doctoral student, Department of «Transport Engineering and Logistics», Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylova\\_1973@mail.ru](mailto:asylova_1973@mail.ru)

**Ахметова Шолпан Даулетовна**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Технологиялық машиналар және транспорт» кафедрасы, Satpayev University, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ahmetova\\_sh\\_58@mail.ru](mailto:ahmetova_sh_58@mail.ru)

**Ашкеев Жасулан Аманжолович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Баева Асель Бакытовна**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана ҚР ДСМ КЭЖ, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [B.Asel@mail.ru](mailto:B.Asel@mail.ru)

**Базенов Габит Максұтович**, PhD, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Байгереев Самат Рақимғалиевич**, PhD, аға оқытушы, Машина жасау мектебі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [samat.baigereyev@mail.ru](mailto:samat.baigereyev@mail.ru)

**Ахметова Шолпан Даулетовна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Технологические машины и транспорт», Satpayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [ahmetova\\_sh\\_58@mail.ru](mailto:ahmetova_sh_58@mail.ru)

**Ашкеев Жасулан Аманжолович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Баева Асель Бакытовна**, магистр естественных наук, ФРГП на ПВХ «Национальный центр экспертизы» санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭЖ МЗ РК, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [B.Asel@mail.ru](mailto:B.Asel@mail.ru)

**Базенов Габит Максұтович**, PhD, кафедра Машиностроения и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

**Байгереев Самат Рақимғалиевич**, PhD, ст. преподаватель, школа Машиностроения, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: [samat.baigereyev@mail.ru](mailto:samat.baigereyev@mail.ru)

**Akhmetova Sholpan Dauletovna**, PhD, Associate Professor, Department of «Technological Machines and Transport», Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ahmetova\\_sh\\_58@mail.ru](mailto:ahmetova_sh_58@mail.ru)

**Ashkeyev Zhassulan Amanzholovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Technological Machines and Transport», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Bayeva Assel**, Master of Technical Sciences, RGF on PCB «National Centre for Expertise» sanitary-hygienic laboratory in Pavlodar region SСЕС МН RK, Pavlodar, 140008, Kazakhstan, e-mail: [B.Asel@mail.ru](mailto:B.Asel@mail.ru)

**Bazenov Gabit Maxutovich**, PhD, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

**Baigereyev Samat Rakimgalievich**, PhD, senior lecturer, School of Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: [samat.baigereyev@mail.ru](mailto:samat.baigereyev@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темірғалиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Басқанбаева Динара Жумабайқызы**, PhD, Энергетика және машина жасау институты, директордың орынбасары, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [d.baskanbayeva@satbayev.university](mailto:d.baskanbayeva@satbayev.university)

**Бахтыбаев Нурбол Бахтыбаевич**, техника ғылымдарының кандидаты, «Mining Research Group» ЖШС директоры, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bakhtybayev@minrg.com](mailto:bakhtybayev@minrg.com)

**Богомолов Алексей Витальевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Бузауова Тоты Мейірбековна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, қауымд. профессор, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темірғалиевич**, кандидат технических наук, и. о. профессора, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Басқанбаева Динара Джумабаевна**, PhD, заместитель директора Института энергетике и машиностроения, Казахский национальный исследовательский университет имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [d.baskanbayeva@satbayev.university](mailto:d.baskanbayeva@satbayev.university)

**Бахтыбаев Нурбол Бахтыбаевич**, кандидат технических наук, директор ТОО «Mining Research Group», г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, e-mail: [bakhtybayev@minrg.com](mailto:bakhtybayev@minrg.com)

**Богомолов Алексей Витальевич**, кандидат технических наук, профессор Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Бузауова Тоты Мейірбековна**, кандидат технических наук, доцент, ассоц. профессор, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru)

**Oyum Balabayev**, Candidate Technical Science, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Baskanbayeva Dinara Dzhumabaевна**, PhD, Deputy Director of the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering, K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [d.baskanbayeva@satbayev.university](mailto:d.baskanbayeva@satbayev.university)

**Bakhtybayev Nurbol Bakhtybayevich**, Candidate Technical Sciences, Director of «Mining Research Group» LLP, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bakhtybayev@minrg.com](mailto:bakhtybayev@minrg.com)

**Bogomolov Alexey**, Candidate Technical Science, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Buzauova Toty**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru)

**Быков Петр Олегович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)

**Габдуллин Серик Токенович**, техника ғылымдарының кандидаты, Химиялық тадау зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы Химико-металлургиялық институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [s.gabdullin.63@mail.ru](mailto:s.gabdullin.63@mail.ru)

**Галиновский Андрей Леонидович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Зымыран-ғарыштық машина жасау технологиялары», Н. Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу қ., 105005, Ресей Федерациясы, e-mail: [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

**Гамов Павел Александрович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Пирометаллургиялық және құю технологиялары» кафедрасының меңгерушісі, Оңтүстік-Орал мемлекеттік университеті, Челябинск қ., 454000, Ресей федерациясы, e-mail: [gamovpa@susu.ru](mailto:gamovpa@susu.ru)

**Быков Петр Олегович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)

**Габдуллин Серик Токенович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Химического анализа», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [s.gabdullin.63@mail.ru](mailto:s.gabdullin.63@mail.ru)

**Галиновский Андрей Леонидович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологии ракетно-космического машиностроения». Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. г. Москва, 105005, Российская Федерация, e-mail: [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

**Гамов Павел Александрович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Пирометаллургические и литейные технологии», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, 454000, Российская Федерация, e-mail: [gamovpa@susu.ru](mailto:gamovpa@susu.ru)

**Bykov Petr Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru)

**Gabdullin Serik Tokenovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of «Chemical Analysis», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [s.gabdullin.63@mail.ru](mailto:s.gabdullin.63@mail.ru)

**Galinovskiy Andrey Leonidovich**, Doctor of Science, Professor, Head of «Technology of Rocket-and-Space Engineering» department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

**Gamov Pavel Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of «Pyrometallurgical and Lyrical Technologies», South Ural State University, Chelyabinsk, 454000, Russian Federation, e-mail: [gamovpa@susu.ru](mailto:gamovpa@susu.ru)

**Гульзат Айтқалиева**, PhD, кауымд. профессор, Геология, мұнай және тау-кен ісі институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [g.aitkaliyeva@satbayev.university](mailto:g.aitkaliyeva@satbayev.university) <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>. +77071225811

**Гурьянов Георгий Александрович**, техника ғылымдарының кандидаты, машина жасау мектебінің профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [gguryanov@mail.ru](mailto:gguryanov@mail.ru)

**Доненбаев Бахытжан Серикович**, PhD, ғылыми қызметкер, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Досекенов Мұрат Сағитжанұлы**, Экология инженері, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инженерингтік орталығының металлургия зертханасының бас инженер-технологы, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Гульзат Айтқалиева**, PhD, асоц. профессор, Институт геологии, нефти и горного дела, Сатпаев университет, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан [g.aitkaliyeva@satbaev.university](mailto:g.aitkaliyeva@satbaev.university) <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>. +77071225811

**Гурьянов Георгий Александрович**, кандидат технических наук, профессор Школы машиностроения, Восточно-Казахстанский технологический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: [gguryanov@mail.ru](mailto:gguryanov@mail.ru)

**Доненбаев Бахытжан Серикович**, PhD, Научный сотрудник, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Досекенов Мұрат Сағитжанович**, Главный инженер-технолог лаборатории металлургии ТОО Научно-исследовательского инженерингового центра ERG, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Gulzat Aitkaliyeva**, PhD, Associate Professor, Institute of Geology, Oil and Mining, Satbayev University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan; [g.aitkaliyeva@satbayev.university](mailto:g.aitkaliyeva@satbayev.university) <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>. +77071225811

**Guryanov Georgiy Aleksandrovich**, candidate of technical sciences, professor of the School of Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: [gguryanov@mail.ru](mailto:gguryanov@mail.ru)

**Donenbayev Bakytzhan**, PhD, Researcher, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karagandy, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Dossekenov Murat Sagitzhanovich**, Environmental engineer, The head process engineer of Laboratory of Metallurgy Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Murat.Dossekenov@erg.kz](mailto:Murat.Dossekenov@erg.kz)

**Досмухамедов Нурлан Калиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан, e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru)

**Ержапова Дана**, докторант, Геология, мұнай және тау-кен ісі институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [d.yerzhanova@satbayev.university](mailto:d.yerzhanova@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0002-3671-0210>. +77471315591

**Елемесов Қасым Көптілеуұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, директор, Satbayev University, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [k.yelemessov@satbayev.university](mailto:k.yelemessov@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

**Ержанов Алмас Сатыбалдыевич**, PhD, «Металлургия және материалтану» кафедрасының меңгерушісі, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.yerzhanov@ttu.edu.kz](mailto:a.yerzhanov@ttu.edu.kz)

**Досмухамедов Нурлан Калиевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Казахстан e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru)

**Ержапова Дана**, докторант, Институт геологии, нефти и горного дела, Сатпаев университет, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан e-mail: [d.yerzhanova@satbayev.university](mailto:d.yerzhanova@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0002-3671-0210>. +77471315591

**Елемесов Қасым Көптілеуевич**, кандидат технических наук, доцент, директор, Satbayev University, Институт энергетике и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [k.yelemessov@satbayev.university](mailto:k.yelemessov@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

**Ержанов Алмас Сатыбалдыевич**, PhD, заведующий кафедрой «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [a.yerzhanov@ttu.edu.kz](mailto:a.yerzhanov@ttu.edu.kz)

**Dosmukhamedov Nurlan Kalievich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Almaty, 050000, Kazakhstan, e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru)

**Yerzhanova Dana**, Doctoral student, Institute of geology, oil and mining, Satbayev University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan; e-mail: [d.yerzhanova@satbayev.university](mailto:d.yerzhanova@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0002-3671-0210>. +77471315591

**Yelemessov Kassym**, PhD., associate professor, Satbayev University, director of the Institute of Energy and Mechanical Engineering, Almaty, 050000, Kazakhstan, e-mail: [k.yelemessov@satbayev.university](mailto:k.yelemessov@satbayev.university)  
<https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

**Ержанов Алмас Сатыбалдыевич**, PhD, Head of the Department of «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.yerzhanov@ttu.edu.kz](mailto:a.yerzhanov@ttu.edu.kz)

**Есенгалиев Даурен Амангельдиевич**, PhD, доцент, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

**Жакупов Алибек Нығматуллович**, PhD, постдокторант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Жакупова Арай Төленбергеновна**, PhD, Постдокторант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жақан Армат Медетулы**, «Металлургия» мамандығы бойынша магистрант, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының ІІ – санатты инженері, Ж. Әбішев атындағы химико-металлургиялық институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Жекенов Айтұған Бақтиярұлы**, бөлімше меңгерушісі, Электроника және коммуникация Жоғары колледжі, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Zhekenov1993@mail.ru](mailto:Zhekenov1993@mail.ru)

**Есенгалиев Даурен Амангельдиевич**, PhD, доцент, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

**Жакупов Алибек Нығматуллович**, PhD, постдокторант, Факультет Инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Жакупова Арай Төленбергеновна**, PhD, постдокторант, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жақан Армат Медетулы**, магистрант по специальности «Металлургия», инженер ІІ – категории лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Жекенов Айтұған Бақтиярович**, заведующий отделением, Высший колледж электроники и коммуникаций г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Zhekenov1993@mail.ru](mailto:Zhekenov1993@mail.ru)

**Yessengaliyev Dauren Amangeldievich**, PhD, Associate Professor, Department of «Metallurgy and Mining», Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

**Zhakupov Alibek**, PhD, Postdoctoral, Faculty of Engineering, Toraighyrov university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Zhakupova Aray**, PhD, Postdoctoral student, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Zhakan Armat Medetuly**, undergraduate student in the specialty «Metallurgy», Engineer of the ІІ – category of the Laboratory of «Ferroalloys and recovery processes», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Zhekenov Aitugan Baktiyarovich**, Head of the Department, Higher College of Electronics and Communications, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Zhekenov1993@mail.ru](mailto:Zhekenov1993@mail.ru)

**Жолдасбай Ержан Есенбайұлы**, PhD, жетекші ғылыми қызметкері, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhete@mail.ru](mailto:zhete@mail.ru)

**Жунуспеков Дархан Серикович**, «Машина жасау» білім беру бағдарламасының докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Караганда қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhynyspekov\\_darkhan@mail.ru](mailto:zhynyspekov_darkhan@mail.ru)

**Жүнісқалиев Талгат Тоқашұлы**, PhD, директор, Ғылым, инновация және халықаралық қатынастар департаменты, «Металлургия және машина жасау» факультеті, Қарағанды индустриалық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [talgat.zhuniskaliyev@mail.ru](mailto:talgat.zhuniskaliyev@mail.ru)

**Зарипов Рамис Юрисович**, аға оқытушы, Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Заякин Олег Вадимович**, техника ғылымдарының докторы, Ресей ғылым академиясының корреспондент мүшесі, Металлургия институты, Екатеринбург қ., 620000, Ресей Федерациясы, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Жолдасбай Ержан Есенбайұлы**, PhD, Ведущий научный сотрудник, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [zhete@mail.ru](mailto:zhete@mail.ru)

**Жунуспеков Дархан Серикович**, докторант образовательной программы «Машиностроение», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [zhynyspekov\\_darkhan@mail.ru](mailto:zhynyspekov_darkhan@mail.ru)

**Жүнісқалиев Талгат Тоқашұлы**, PhD, директор, Департамент науки, инновации и международные содружество, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [talgat.zhuniskaliyev@mail.ru](mailto:talgat.zhuniskaliyev@mail.ru)

**Зарипов Рамис Юрисович**, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика» Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Заякин Олег Вадимович**, доктор технических наук, Член-корреспондент Российской академии наук, Институт металлургии, г. Екатеринбург, 620000, Российская Федерация, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Zholdasbay Yerzhan Yesenbayuly**, PhD, Leading Researcher, Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhete@mail.ru](mailto:zhete@mail.ru)

**Zhynuspekov Darkhan Serikovich**, doctoral student of the educational program «Mechanical Engineering», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhynyspekov\\_darkhan@mail.ru](mailto:zhynyspekov_darkhan@mail.ru)

**Zhynuspekov Darkhan Serikovich**, doctoral student of the educational program «Mechanical Engineering», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhynyspekov\\_darkhan@mail.ru](mailto:zhynyspekov_darkhan@mail.ru)

**Zaripov Ramis Yurisovich**, Lecturer, Department of «Transport Engineering and Logistics», Faculty of Engineering, Toraiygyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Zayakin Oleg Vadimovich**, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Metallurgy, Ekaterinburg, 620000, Russian Federation, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru)

**Зульфиади Зулхан**, техника ғылымдарының докторы, оқытушы / зерттеушісі, «Металлургиялық машина жасау кафедрасы», Тау-кен ісі және мұнай инженериясы факультеті, Бандунг технологиялық институты, Индонезия, e-mail: [zulfiadi.zullhan@gmail.com](mailto:zulfiadi.zullhan@gmail.com)

**Искакова Динара Алтынбековна**, техника ғылымдарының магистры, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [iskakovada@mail.ru](mailto:iskakovada@mail.ru)

**Итыбаева Галия Тулеубаевна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [galiya-itibaeva@mail.ru](mailto:galiya-itibaeva@mail.ru)

**Қарлы Диана**, магистрант, Геология, мұнай және тау-кен ісі институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы; e-mail: [d.karly@satbayev.university](mailto:d.karly@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3764-9666>. +77071638786

**Камаров Аман Уахитович**, докторант, аға оқытушы, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Зульфиади Зулхан**, доктор технических наук, преподаватель/исследователь, кафедра «Металлургического машиностроения», Факультет горного дела и нефтяной инженерии, Бандунгский Технологический институт, Индонезия, e-mail: [zulfiadi.zullhan@gmail.com](mailto:zulfiadi.zullhan@gmail.com)

**Искакова Динара Алтынбековна**, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [iskakovada@mail.ru](mailto:iskakovada@mail.ru)

**Итыбаева Галия Тулеубаевна**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [galiya-itibaeva@mail.ru](mailto:galiya-itibaeva@mail.ru)

**Қарлы Диана**, магистрант, Институт геологии, нефти и горного дела, Сатбаев университет, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: [d.karly@satbayev.university](mailto:d.karly@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3764-9666>. +77071638786

**Камаров Аман Уахитович**, докторант, аға оқытушы, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Zulfiadi Zulhan**, Doctor of Technical Sciences, Lecturer/Researcher, Department of «Metallurgical Engineering», Bandung Institute of Technology, Indonesia, e-mail: [zulfiadi.zullhan@gmail.com](mailto:zulfiadi.zullhan@gmail.com)

**Iskakova Dinara Altynbekovna**, Master of Technical Science, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraiygyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [iskakovada@mail.ru](mailto:iskakovada@mail.ru)

**Itybayeva Galiya Tuleubaeva**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraiygyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [galiya-itibaeva@mail.ru](mailto:galiya-itibaeva@mail.ru)

**Karly Diana**, master student, Institute of geology, oil and mining, Satbayev University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [d.karly@satbayev.university](mailto:d.karly@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3764-9666>. +77071638786

**Kamarov Aman Uakhitovich**, doctoral student, senior lecturer Department of «Metallurgy», Toraiygyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Касенов Асылбек Жумабекович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Кенжекеева Акбоне Рахымбековна**, аға оқытушы, Профессор А. Н. Данияров атындағы «Өндірістік көлік» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bope71@mail.ru](mailto:bope71@mail.ru)

**Коробаев Бейсен Саматович**, «SA Minerals» ЖШС өндіріс бойынша директордың орынбасары, Павлодар обл., 140308, Қазақстан Республикасы, e-mail: [B.Korabaev@mail.ru](mailto:B.Korabaev@mail.ru)

**Куандыков Алмаз Болатович**, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Касенов Асылбек Жумабекович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Кенжекеева Акбоне Рахымбековна**, ст. преподаватель, кафедра «Промышленный транспорт» имени профессора А. Н. Даниярова, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [bope71@mail.ru](mailto:bope71@mail.ru)

**Коробаев Бейсен Саматович**, ТОО «SA Minerals» Заместитель директора по производству, Павлодарская обл., 40308, Республика Казахстан, e-mail: [B.Korabaev@mail.ru](mailto:B.Korabaev@mail.ru)

**Куандыков Алмаз Болатович**, ст. преподаватель, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Kassenov Assylbek Zhumabekovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Kelamanov Bauyrzhan Satybaldyuly**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Metallurgy and Mining», Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic Kazakhstan, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Kenzhekeeva Akbone Rakhimbekovna**, senior lecturer, Department of «Industrial Transport» named after professor A. N. Daniyarov, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bope71@mail.ru](mailto:bope71@mail.ru)

**Korabaev Beisen Samatovich**, «SA Minerals» LLP Deputy Director for Production, Pavlodar region, 140308, Kazakhstan of Republic, e-mail: [B.Korabaev@mail.ru](mailto:B.Korabaev@mail.ru)

**Kuandykov Almaz Bolatovich**, senior teacher, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Кусаинов Руслан Бексултанович**, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kussainovrb@mail.ru](mailto:kussainovrb@mail.ru)

**Қайзаит Жұлдызай Қажығалиқызы**, техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhuldyzzai@mail.ru](mailto:zhuldyzzai@mail.ru)

**Қанат Фариза Еркебуланқызы**, ассистент, Профессор А. Н. Данияров атындағы «Өндірістік көлік» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kanat\\_fariza@mail.ru](mailto:kanat_fariza@mail.ru)

**Қосдаулетов Нұрлыбай Ырғызбайұлы**, техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nake140694@mail.ru](mailto:nake140694@mail.ru)

**Қуатбай Ербол Қуатбайұлы**, аға оқытушы, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Metallургия және машина жасау факультеті, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kazakh\\_84@mail.ru](mailto:kazakh_84@mail.ru)

**Кусаинов Руслан Бексултанович**, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [kussainovrb@mail.ru](mailto:kussainovrb@mail.ru)

**Қайзаит Жұлдызай Қажығалиқызы**, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [zhuldyzzai@mail.ru](mailto:zhuldyzzai@mail.ru)

**Қанат Фариза Еркебуланқызы**, ассистент, кафедра «Промышленный транспорт» имени профессора А. Н. Даниярова, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [kanat\\_fariza@mail.ru](mailto:kanat_fariza@mail.ru)

**Қосдаулетов Нұрлыбай Ырғызбайұлы**, магистр технических наук, научный сотрудник, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [nake140694@mail.ru](mailto:nake140694@mail.ru)

**Қуатбай Ербол Қуатбайұлы**, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия и материаловедение», Факультет металлургия и машиностроение, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [kazakh\\_84@mail.ru](mailto:kazakh_84@mail.ru)

**Kussainov Ruslan**, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kussainovrb@mail.ru](mailto:kussainovrb@mail.ru)

**Kaizait Zhuldyzay**, Master of Technical Sciences, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhuldyzzai@mail.ru](mailto:zhuldyzzai@mail.ru)

**Kanat Fariza Yerkebulanovna**, Assistant, Department of «Industrial Transport» named after professor A. N. Daniyarov, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kanat\\_fariza@mail.ru](mailto:kanat_fariza@mail.ru)

**Kosdauletov Nurlybay Irgizbayevich**, Master of Technical Sciences, Researcher, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nake140694@mail.ru](mailto:nake140694@mail.ru)

**Kuatbay Yerbol Kuatbayuly**, Senior teacher, Department «Metallurgy and materials engineering», Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic Kazakhstan, e-mail: [kazakh\\_84@mail.ru](mailto:kazakh_84@mail.ru)



**Маздубай Асылхан Владимирович**, қауымд. профессор, оқытушы, «Металлургия» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylkhan@mail.ru](mailto:asylkhan@mail.ru)

**Мардонов Бахтиёр Тешаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ректор, Навои мемлекеттік тау-кен технологиялық университеті, Навои қ., 210100, Өзбекстан Республикасы, e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)

**Матешов Арман Кариевич**, техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [makashka\\_m@mail.ru](mailto:makashka_m@mail.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, PhD, «Металлургия» мамандығы, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы химико-металлургиялық институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Махмудов Лutfiddin Насимович**, аға оқытушы, «Машина жасау технологиясы» кафедрасы, Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялар университеті, Науайы қ., 210100, Өзбекстан Республикасы, e-mail: [lmn\\_76@mail.ru](mailto:lmn_76@mail.ru)

**Маздубай Асылхан Владимирович**, ассоц. профессор, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерия, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asylkhan@mail.ru](mailto:asylkhan@mail.ru)

**Мардонов Бахтиёр Тешаевич**, доктор технических наук, профессор, ректор, Навоийский государственный горно-технологический университет, г. Навои, 210100, Республика Узбекистан, e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)

**Матешов Арман Кариевич**, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [makashka\\_m@mail.ru](mailto:makashka_m@mail.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, PhD, специальность «Металлургия», заведующий лабораторией «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Махмудов Лutfiddin Насимович**, ст. преподаватель, кафедра «Технология машиностроения», Навоийский государственный горно-технологический университет, г. Навои, 210100, Республика Узбекистан, e-mail: [lmn\\_76@mail.ru](mailto:lmn_76@mail.ru)

**Mazdubay Asykhhan Vladimirovich**, associate professor, lecturer, Department of «Metallurgy», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylkhan@mail.ru](mailto:asylkhan@mail.ru)

**Mardonov Bakhtiyor Teshayevich**, Professor, Doctor of Technical Science, rector, Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Republic of Uzbekistan, e-mail: [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru)

**Mateshov Arman**, Master of Technical Sciences, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [makashka\\_m@mail.ru](mailto:makashka_m@mail.ru)

**Makhambetov Yerbolat Nysanaluly**, PhD, specialty «Metallurgy», Head of the Laboratory of «Ferroalloys and recovery processes», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Makhmudov Lutfiddin Nasimovich**, senior lecturer, Department of «Mechanical Engineering Technology», Navoi State Mining and Technology University, Navoi, 210100, Republic of Uzbekistan, e-mail: [lmn\\_76@mail.ru](mailto:lmn_76@mail.ru)

**Мәдениет Елубай**, химия ғылымдарының кандидаты, меңгеруші, профессор, Химия және химиялық технологиялар кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [yelubay.m@tou.edu.kz](mailto:yelubay.m@tou.edu.kz) <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215> [+77056124252](tel:+77056124252)

**Муканов Руслан Батырбекович**, қауымд. профессор, оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Мусина Жанара Керейовна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасының меңгерушісі, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mussina-zhanara@mail.ru](mailto:mussina-zhanara@mail.ru)

**Мырзағалиев Айбар Аскарулы**, «Металлургия» мамандығы бойынша магистр, «ERG Ғылыми-инженерлік орталығының» металлургия зертханасының I-санатты инженер-технологы, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Aibar.Myrzagaliev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliev@erg.kz)

**Мадениет Елубай**, кандидат химических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Химии и химических технологий», Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [yelubay.m@tou.edu.kz](mailto:yelubay.m@tou.edu.kz) <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215> [+77056124252](tel:+77056124252)

**Муканов Руслан Батырбекович**, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерия, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Мусина Жанара Керейовна**, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [mussina-zhanara@mail.ru](mailto:mussina-zhanara@mail.ru)

**Мырзағалиев Айбар Аскарулы**, магистр по специальности «Металлургия», Инженер технолог I-категории лаборатории металлургии «Научно-инженерного центра ERG», г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Aibar.Myrzagaliev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliev@erg.kz)

**Madeniyet Yelubay**, Candidate of Chemical Science, Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technologies, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [yelubay.m@tou.edu.kz](mailto:yelubay.m@tou.edu.kz) <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215> [+77056124252](tel:+77056124252)

**Mukanov Ruslan Baturbekovich**, Department of «Transport Equipment and Logistics», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Mussina Zhanara Kereyovna**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mussina-zhanara@mail.ru](mailto:mussina-zhanara@mail.ru)

**Myrzagaliev Aibar Askaruly**, Master of «Metallurgy», I-category process engineer of Laboratory of «Metallurgy» Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Aibar.Myrzagaliev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliev@erg.kz)

**Никонова Татьяна Юрьевна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а., «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nitka82@list.ru](mailto:nitka82@list.ru)

**Ногаев Кайрош Абилович**, техника ғылымдарының кандидаты, кафедра меңгерушісі, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nk-1912@mail.ru](mailto:nk-1912@mail.ru)

**Павел Гаврилов**, PhD, «Теміржол машина жасау» кафедрасы, Машина жасау, көлік және аэроавтика факультеті, Рига техникалық университеті, Рига қ., Латвия, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Равшанов Жамшид Равшанович**, PhD, Навои мемлекеттік тау-кен технологиялық университеті, Навои қ., 210100, Өзбекстан Республикасы, e-mail: [ravshanov.zhamshid@mail.ru](mailto:ravshanov.zhamshid@mail.ru)

**Ракишев Асет Кариғулович**, PhD, аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.rakishev@kstu.kz](mailto:a.rakishev@kstu.kz)

**Никонова Татьяна Юрьевна**, кандидат технических наук, и.о. доцента, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [nitka82@list.ru](mailto:nitka82@list.ru)

**Ногаев Кайрош Абилович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет г. Теміртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [nk-1912@mail.ru](mailto:nk-1912@mail.ru)

**Павел Гаврилов**, PhD, кафедра «Железнодорожного машиностроения», Факультет Машиностроения, транспорта и аэроавтики, Рижский технический университет, г. Рига, Латвия, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Равшанов Жамшид Равшанович**, PhD, Навоийский государственный горно-технологический университет г. Навои, 210100, Республика Узбекистан, e-mail: [ravshanov.zhamshid@mail.ru](mailto:ravshanov.zhamshid@mail.ru)

**Ракишев Асет Кариғулович**, PhD, ст. преподаватель, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [a.rakishev@kstu.kz](mailto:a.rakishev@kstu.kz)

**Nikonova Tatyana Yuryevna**, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Department of the «Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nitka82@list.ru](mailto:nitka82@list.ru)

**Nogaev Kayrosh Abilovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, Department of «Technological Machines and Transport», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nk-1912@mail.ru](mailto:nk-1912@mail.ru)

**Pavel Gavrilov**, PhD, Department of «Railway Engineering», Faculty of Mechanical Engineering, Transport and Aeronautics, Riga Technical University, Riga, Latvia, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Ravshanov Jamshid Ravshanovich**, PhD, Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Republic of Uzbekistan, e-mail: [ravshanov.zhamshid@mail.ru](mailto:ravshanov.zhamshid@mail.ru)

**Rakishev Asset**, PhD, senior lecturer, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karagandy, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.rakishev@kstu.kz](mailto:a.rakishev@kstu.kz)

**Рожков Александр Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, Профессор, А. Н. Данияров атындағы «Өндірістік көлік» кафедрасының доценті м.а., Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Сагітов Алмат Ардакович**, магистр, постдокторант, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru)

**Саденова Маржан Ануарбековна**, химия ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, в.н.с. «VERITAS» шеберлік орталығы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы

**Сапинов Руслан Викторович**, PhD, қауымд. профессор, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Сариев Өтеген Рафхатович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Рожков Александр Владимирович**, кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Промышленный транспорт» имени профессора А. Н. Даниярова, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Сагітов Алмат Ардакович**, магистр, постдокторант, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru)

**Саденова Маржан Ануарбековна**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, в.н.с. Центра превосходства «VERITAS», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан

**Сапинов Руслан Викторович**, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Сариев Өтеген Рафхатович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Rozhkov Alexander Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Department of «Industrial Transport» named after professors A. N. Daniyarova, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Sagitov Almat Ardakovich**, Master, Postdoctoral candidate, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru)

**Sadenova Marzhan Anuarbekovna**, Candidate of Chemical Sciences, Associated Professor, Leading Researcher, Center of Excellence «VERITAS», D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University named after, Ust-Kamenogorsk 070000, Republic of Kazakhstan,

**Sapinov Ruslan Viktorovich**, PhD, Associate Professor, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Sariev Otegen Rafkatovich**, Associate Professor, Department of «Metallurgy and Mining», Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rafhatsson@mail.ru](mailto:rafhatsson@mail.ru)

**Софья Массакбаева**, химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Химия және химиялық технологиялар кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sofochka184@mail.ru](mailto:sofochka184@mail.ru)  
https://orcid.org/0000-0001-8668-472X. +77772853802

**Сулейменов Асаган Дюсембаевич**, аға оқытушы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Сулейменов Габиден Сагиевич**, «Mining Research Group» ЖШС ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gabiden@minrg.com](mailto:gabiden@minrg.com)

**Сүлеймен Бакыт Темірғалиұлы**, техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bakysuleimen@mail.ru](mailto:bakysuleimen@mail.ru)

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru)

**Софья Масакбаева**, кандидат химических наук, профессор, кафедра «Химии и химических технологий» Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [sofochka184@mail.ru](mailto:sofochka184@mail.ru)  
https://orcid.org/0000-0001-8668-472X +77772853802

**Сулейменов Асаган Дюсембаевич**, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Сулейменов Габиден Сагиевич**, научный сотрудник, ТОО «Mining Research Group», г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, e-mail: [gabiden@minrg.com](mailto:gabiden@minrg.com)

**Сүлеймен Бакыт Темірғалиұлы**, магистр технического наук, научный сотрудник, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [bakysuleimen@mail.ru](mailto:bakysuleimen@mail.ru)

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru)

**Sofya Massakbayeva**, Candidate of Chemical Science, Professor, Department of «Chemistry and Chemical Technologies», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sofochka184@mail.ru](mailto:sofochka184@mail.ru)  
https://orcid.org/0000-0001-8668-472X. +77772853802

**Suleimenov Ansagan Dyusembaevich**, Senior lecturer, Department of «Transport techniques and logistics» Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Kazakhstan, e-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru)

**Suleimenov Gabiden Sagievich**, Researcher, «Mining Research Group» LLP, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [gabiden@minrg.com](mailto:gabiden@minrg.com)

**Suleiman Bakyt Temirgalievich**, Master of Technical Sciences, Researcher, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bakysuleimen@mail.ru](mailto:bakysuleimen@mail.ru)

**Taskarina Aizhan**, PhD, Doctor, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru)

**Тусупова Саягуль Ораловна**, PhD, постдокторант, «Машинажасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [suleeva.s@inbox.ru](mailto:suleeva.s@inbox.ru)

**Ұлмағанбетов Нұрсұлтан Асқарұлы**, Металлургия магистрі, I категориялық инженер-технолог, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инжинирингтік орталығының металлургия зертханасының Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Хайбуллин Рашид Равильевич**, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Профессор А. Н. Данияров атындағы «Өндірістік көлік» кафедрасы, Абылқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Хайрур Риджал Джамалудин**, PhD, қауымд. профессор, Малайзия технология университеті, Куала-Лумпур қ., 54100, Малайзия, e-mail: [khairur.kl@utm.my](mailto:khairur.kl@utm.my)

**Шеров Карибек Тагаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Тусупова Саягуль Ораловна**, PhD, постдокторант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [suleeva.s@inbox.ru](mailto:suleeva.s@inbox.ru)

**Ұлмағанбетов Нұрсұлтан Асқарович**, Магистр металлургии, Инженер-технолог I категории Лаборатории металлургии ТОО Научно-исследовательского инжинирингового центра ERG, Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Хайбуллин Рашид Равильевич**, доктор технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Промышленный транспорт» имени профессора А.Н.Даниярова, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Хайрур Риджал Джамалудин**, PhD, ассоц. профессор, Университет технологий Малайзии, г. Куала-Лумпур, 54100, Малайзия, e-mail: [khairur.kl@utm.my](mailto:khairur.kl@utm.my)

**Шеров Карибек Тагаевич**, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Tussupova Sayagul Oralovna**, PhD, Postdoctoral student, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [suleeva.s@inbox.ru](mailto:suleeva.s@inbox.ru)

**Ulmaganbetov Nursultan Askarovich**, Master of Metallurgy, I-category process engineer, Laboratory Metallurgy Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Khaybullin Rashid Ravilevich**, Doctor of Technical Sciences, Senior lecturer, Department of «Industrial Transport» named after professor A. N. Daniyarov, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Khairur Rijal Jamaludin**, PhD, associate professor, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, 54100, Malaysia, e-mail: [khairur.kl@utm.my](mailto:khairur.kl@utm.my)

**Sherov Karibek Tagaevich**, Doctor of Technical Science, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Шошай Жансерик**, докторант, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shoshai.z@tou.edu.kz](mailto:shoshai.z@tou.edu.kz)

**Янюшкин Александр Сергеевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер, «Машина жасау технологиясы» кафедрасы, И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, Чебоксары қ., 428015, Чуваш Республикасы, Ресей Федерациясы, e-mail: [yanyushkinas@mail.ru](mailto:yanyushkinas@mail.ru)

**Ясаков Юрий Дмитриевич**, студент, «Технологиялық процестер мен өндірістерді автоматтандыру» білім беру бағдарламасының Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, ФМБЖКБМ, Санкт-Петербург қ., 195251, Ресей Федерациясы, e-mail: [yassakov.02@gmail.com](mailto:yassakov.02@gmail.com)

**Шошай Жансерик**, докторант, школа Металлургии и обогащения полезных ископаемых, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: [shoshai.z@tou.edu.kz](mailto:shoshai.z@tou.edu.kz)

**Янюшкин Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, кафедра «Технология машиностроения», Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, 428015, Чувашская Республика, Россия, e-mail: [yanyushkinas@mail.ru](mailto:yanyushkinas@mail.ru)

**Ясаков Юрий Дмитриевич**, студент, образовательная программа «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация, e-mail: [yassakov.02@gmail.com](mailto:yassakov.02@gmail.com)

**Shoshay Zhanserik**, doctoral student, School Metallurgy and Mineral Enrichment, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shoshai.z@tou.edu.kz](mailto:shoshai.z@tou.edu.kz)

**Yanyushkin Alexander Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of «Mechanical Engineering Technology», I. N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, Russian Federation, e-mail: [yanyushkinas@mail.ru](mailto:yanyushkinas@mail.ru)

**Yassakov Yuriy Dmitriyevich**, student of the educational program «Automation of Technological Processes and Production», FSBEIHP Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, 195251, Russian Federation, e-mail: [yassakov.02@gmail.com](mailto:yassakov.02@gmail.com)

## 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.**

**\*Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

**\* 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,

заклучение, 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 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

**Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате.** Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

**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 HSBKZKX 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 искомым 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*

300

**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.

301

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 obrazovaniyu i vospitaniyu (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 Торайғыров университета», «Краеведение», «Наука и техника Казахстана»

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров 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 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«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