

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 (2024)

---

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/IYNS2338>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

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 Lapuerta – д.т.н., профессор (Сьюдад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

**МАЗМҰНЫ**

**МАШИНА ЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING**

**Аукенова Б. Қ., Молдаханов Б. А., Дудкин М. В.**  
Бульдозерлі қайырмамен қазуға қарсылық күшіне  
әсер ететін кесу және ұстау бұрыштарын анықтау.....6

**Berg A. S., Nurzhanova O. A., Zharkevich O. M., Berg A. A.**  
Economic efficiency of application of optimized mill bed.....18

**Ibraim A. S., Absadykov B. N.**  
Printing a «bracket» type part for an energy-efficient car.....30

**Kassenov A. Zh., Taskarina A. Zh., Mazdubay A. V.,  
Abishev K. K., Suleimenov A. D.**  
Prospects for the use of combined metal-cutting tools for threading.....43

**Мусаев М. М., Шеров К. Т., Касымбабина Д. С.,  
Абдугалиева Г. Б., Бобеев А. Б.**  
Металлографическое исследование образцов из материала шинопровивного  
инструмента наплавленных проволокой ESAB OK TUBRODUR 35GM .....52

**Manabayev N. T., Azimov A. M., Ibragimova Z. A., Manabayev R. N.**  
Development of highly effective milling chisel ploughwith  
simultaneous local application of hydrogel.....66

**Сағитов А. А., Шеров А. К., Косамбекова Д. Ш.,  
Тусупбекова Г.М., Есиркепова А. Б.**  
Саусақты фрезаның тозуға төзімділігін арттыру .....76

**Сағынтай М., Мустафа А.**  
Аддитивті технологияда қолданылатын арматуралық  
сырықтардың дәнекерлеу кезіндегі қызуын зерттеу .....88

**Smailova B. K., Buzauova T. M., Bartenev I. A., Škamat J.**  
Analysis of the quality of the restored gear tooth of large-module gears.....96

**Sovetbayev R. A., Nugman Y., Shayakhmetov Y. Y., Kawalek A.**  
Computer simulation of the stress-strain state of bar blanks made of alloy .....109

**Тлеужанова Г. Б., Кадыров Ж. Н.**  
Экспериментальные исследования автоматической системы контроля наезда,  
поломки и износа инструментов .....120

**Тулешов А. К., Джомартов А. А., Абдураимов А. Е., Камал А. Н.**  
Испытательный стенд для оценки работы центробежного  
консольного насоса.....138

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

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

**Акишев К. М., Нуртай Ж.**

Оценка эффективности добавок металлургического шлака с различными гранулометрическими размерами на прочностные показатели строительных изделий.....149

**Быков П. О., Жунусова А. К., Куандыков А. Б., Муканов Р. Б., Э. Сименс**

Сравнительные исследования по доизвлечению железа из бокситов Казахстана альтернативными восстановителями (восстановление углеродом).....162

**Куликов В. Ю., Қордашева А. А., Ковалев П. В., Абдилдина М. М.**

Экзогендік суспензиялық құю әдісімен легіріленген құймаларды дайындау технологиясын зерттеу .....175

**Zayakin O. V., Kenzhebekova A. E., Zhunusov A. K., Bakirov A. G.,**

Determination of optimal parameters of sintering of rolling scale .....187

**Makhambetov Ye., Saulebek Zh., Akhmetov A., Toleukadyr R., Zhakan A.**

Study of the modes of recovery and destructibility of chrome briquettes under current and thermal loads .....200

**Мамбеталиева А. Р., Сағатбек С., Тусупбекова Т. Ш., Макашева Г. К.**

Извлечение меди из лежалых хвостов обогащения .....213

**Zhakupov A. T.**

Non-destructive method of identification of steel grades of rolling products .....224

**Zhakupova A. T.**

Study of the seamless pipes properties obtained from a hollow billet .....230

**Тажиев Е. Б., Жолдасбай Е. Е., Аргын А. А., Ичева Ю. Б., Досмухамедов Н. К.**

Технология переработки отходов обогащения марганцевых руд с получением товарного ферромарганца .....238

**Шошай Ж., Сапинов Р. В., Саденова М. А.**

Изучение кинетики процесса выщелачивания золота из хвостов обогащения майкаинской золотоизвлекательной фабрики № 1 .....235

**КӨЛІК**  
**ТРАНСПОРТ**  
**TRANSPORT**

**Балабаев О. Т., Михайлов В. Ф., Аскароев Б. Ш.,**

**Қасымжанова А. Д., Бейсембаев Д. М.**

Имитационная 3d модель съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) .....264

**Yessaulkov V. S. Gondal I. A.**

China's leadership in new energy vehicles: strategies and global impact .....273

**Жандарбекова А. М., Мурзабекова К. А.**

Шығыс Қазақстан облысы аумағындағы жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайы .....282

**Киселёва О. Г., Токмурзина-Коберняк Н. А.**

Нормирование потребности зарядной инфраструктуры для электромобилей.....293

Авторлар туралы ақпарат

Сведения об авторах  
 Information about the authors.....305

Авторларға арналған ережелер

Правила для авторов  
 Rules for authors.....329

Жарияланым этикасы

Публикационная этика  
 Publication ethics .....339

FTAMP 55.57.33

<https://doi.org/10.48081/DWQM4458>

\***Б. Қ. Ауқенова<sup>1</sup>, Б. А. Молдаханов<sup>2</sup>, М. В. Дудкин<sup>3</sup>**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

\*e-mail: [bekzat89a@mail.ru](mailto:bekzat89a@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

### БУЛЬДОЗЕРЛІ ҚАЙЫРМАМЕН ҚАЗУҒА ҚАРСЫЛЫҚ КҮШІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН КЕСУ ЖӘНЕ ҰСТАУ БҰРЫШТАРЫН АНЫҚТАУ

Мақала геометриясының көп деңгейлі өзгерісі бар қайырмамен жабдықталған бульдозермен топырақты тегістеу жұмыстарының энергия шығының қайырма пішінің өзгеруіне және сәйкесінше оның ағымдағы кесу мен ұстауына тәуелділігін шығаруға Бульдозер техникасымен орындалатын жұмыстардың классификациясы келтірілген. Мақалада геометриясының көп деңгейлі өзгерістері бар перспективті қайырманың жобалық диаграммалары берілген, топырақты тарту призмалық ағындарды қайта бөлумен қайырманың геометриялық пішінінің өзгерістері егжей-тегжейлі талданған, қайырманың жазықтығы барлық нүктелермен әртүрлі бұрыштарда көрсетілген қайырманың пішіні мен геометриясына әсер ететін күштерді қолдану және нақты бұрыштардағы өзгерістер. Негізгі математикалық тәуелділіктерді шығарудың қысқаша шолуы көрсетілген, оған сәйкес қайырманың ортаңғы немесе бүйір бөліктерінің орналасуына байланысты күштердің қайта бөлінуіне әсер ететін ұстау және кесу бұрыштарында синхронды өзгеріс болады, кесуге және топырақты тегістеуге кедергі келтіреді. Мақалада геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен бейімделетін қайырманың жерімен әрекеттесу процесін анықтайтын геометриялық параметрлерді есептеуге мүмкіндік беретін тәуелділіктер алынды және ұсынылды: ортаңғы қиманың ұзындығының қатынасы, қалақшаның максималды жұмыс еніне, бульдозердің бойлық және көлденең жазықтықтарындағы топсаларды орнату бұрыштары; топсаларға қатысты бүйірлік бөліктердің айналу бұрышы.

Кілтті сөздер: бульдозер, қайырма, кесу бұрышы, топырақ сүйреу призмасы, қайырманың қисаю бұрыштары, қайырманың бүйір бөліктері, тартылатын ортаңғы пышақ, топсалы қайырма.

#### Кіріспе

Әлемдегі автомобиль жолдарының ұзындығы жылдам қарқынмен өсуде, демек, жоғары жылдамдықты құрылыс орындарында дайындық және жер

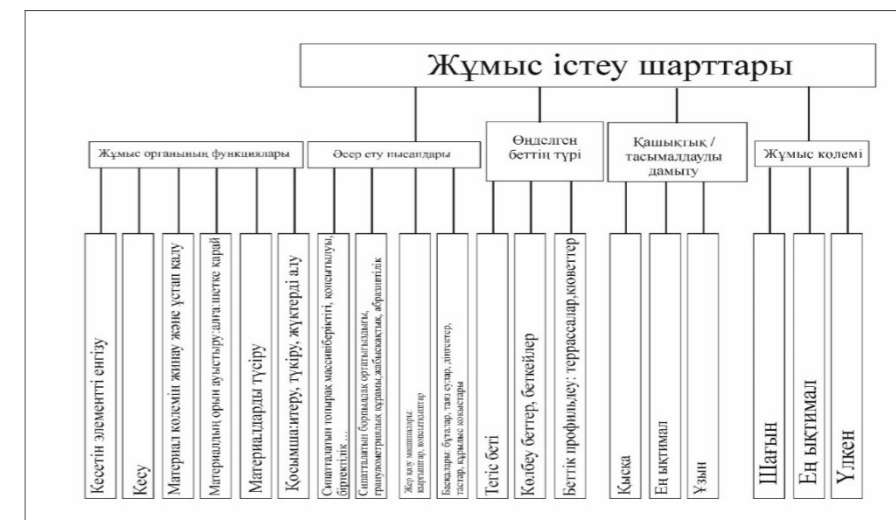
жұмыстарының көлемі де артып келеді, сондықтан жаңа өндірістік мүмкіндіктері бар жаңа жол техникасын қолдану есебінен жол-құрылыс жұмыстарының қарқыны мен сапасын арттыра отырып, осы жұмыстарды өндіруге жұмсалатын қаржылық шығындардың төмендеуі өзекті мәселе болып отыр.

Дайындық қазу жұмыстарына арналған ең көп таралған машина әртүрлі пішіндегі қайырмалармен жабдықталған бульдозер болып табылады.

#### Материалдар мен әдістер

Әр уақытта бульдозерлік техниканың өнімділігі мен жұмыс сапасын арттыру мақсатында бульдозерлік қайырмаларды жетілдірумен бүкіл әлемнің ғалымдары мен ірі фирмалары айналысты және айналысады [1; 2; 3; 4; 5; 6] сияқты ірі өндірістік фирмалар да осы мәселемен айналысты

Жоғарыда аталған жарияланымдардан алынған бульдозер қайырмаларының орташа сипаттамалары мен жұмыс істеу шарттары бойынша 1-суретте келтірілген бульдозер қайырмаларының жұмыс классификациясы жасалды.



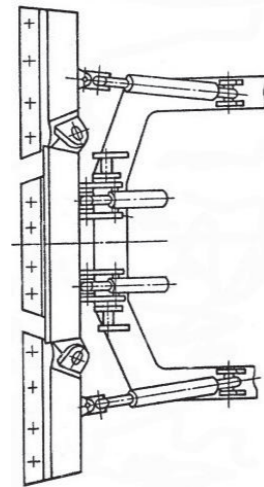
Сурет 1 – Бульдозерлік жабдықпен орындалатын жұмыстар

Қарастырылған жан-жақты зерттеулердің ішінен бұл мақалада [7, 148 б.; 8, 1-4 б.; 9, 224 б] жұмыстары үлкен қызығушылық тудырады. Бұл зерттеулерде бульдозер қайырымасы өзінің механикалық-геометриялық пішініне байланысты жоспарланған топыраққа барынша бейімделген (2-4 суреттер). Қарастырылып отырған бульдозер қайырмалары - бұл 3 топсалы-буынды секциялардан тұратын өзгермелі ұстау және кесу бұрыштары бар жұмыс кесу жазықтығы, олардың ортасы қосымша тартылатын ортаңғы пышақ ретінде әрекет ете алады. Мұндай қайырмалардың жұмысы жылжымалы сызу призмасының стандартты үйінділерден ерекшеленетін сипаттамаларына ие, сонымен қатар кесілген жоңқалардың көлемі мен топырақты қазуға төзімділік күштері.

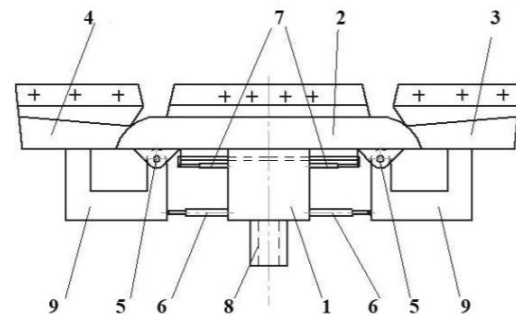
2-4 суреттердегі қайырмалардың конструкциялары сыртқы жағынан ұқсас және бір мақсатты орындауға бағытталған – бүйірлік бөлімдерді қайта орнату арқылы жоспарланған топырақтың ауыспалы контуры мен қасиеттеріне бейімделу



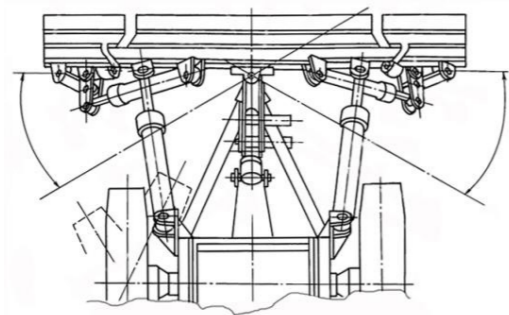
және кесілген топырақты сфералық қайырма сияқты ұзақ қашықтыққа тасымалдау мүмкіндігі бар.



Сурет 2 – RU №1553619 патент бойынша буддозерлік жабдық [7].



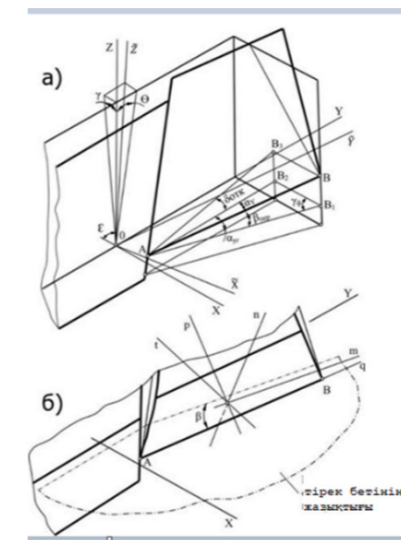
Сурет 3 – ҚР № 7055 пайдалы моделіне патент бойынша өзгермелі геометриясы бар бульдозер-террасер жабдығы [8].



Сурет 4 – RU №2034115 патенті бойынша қайырма үлгісіндегі жұмыс жабдығы [9].

Гранттық зерттеулерді орындау барысында оның бүйірлік бөлімдерінің негізгі қайырмамен топырақпен байланысты өзгермелі сипаттамаларының, φ айналу бұрышынан және γ, b және θ топсаларының ілмектерінің осьтерін табу координаттарын ескеретін сипаттамалардың геометриялық әсері есептелді.

5-суретте геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен жоғарыда көрсетілген бульдозер қайырмаларының геометриялық пішінін егжей-тегжейлі талдауға арналған схема берілген. 5-позицияда, ал ортаңғы негізгі және қосымша бүйірлік бөлік олардың төменгі кесу және жоғарғы жиектерін бөлетін жазықтықтармен белгіленеді. Топырақтың көлденең тірек бетімен айналмалы топса осінің қиылысу нүктесі OXYZ оң жақ координаталық жүйесінің басталуымен таңдалады, оның X осі бульдозердің қозғалысына бағытталған, ал Z осі күндізгі бетке перпендикуляр. XOZ жазықтығымен θ бұрышын және YOZ жазықтығымен γ = 90° - ε бұрышын құрайтын айналмалы топсаның геометриялық осі екінші қозғалмайтын оң жақ координаталық жүйенің  $\tilde{Z}$  осіне  $O\tilde{X}\tilde{Y}\tilde{Z}$  сәйкес келеді  $O\tilde{X}\tilde{Y}\tilde{Z}$ .



Сурет 5 – Геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен бульдозер қайырмасының геометриялық қалыптау сипаттамаларының сызбасы мен талдауы

$\tilde{X}$  осі ортаңғы бөліктің жазықтығына перпендикуляр, осі осы жазықтыққа параллель.

Бұл түрлендірудің операторы екі матрицаның көбейтіндісіне тең T матрицасымен ұсынылады T1 және T2:

$$T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} - \text{бұрышқа айналу матрицасы } (-\theta),$$

$$T_2 = \begin{pmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{pmatrix} - \text{бұрышқа айналу матрицасы } (-\gamma).$$

$$T = T_1 \cdot T_2 = \begin{pmatrix} \cos\gamma & 0 & -\sin\gamma \\ \sin\theta \cdot \sin\gamma & \cos\theta & \sin\theta \cdot \cos\gamma \\ \cos\theta \cdot \sin\gamma & -\sin\theta & \cos\theta \cdot \cos\gamma \end{pmatrix}$$

Айналмалы топсаның осіне қатысты бүйірлік бөлімді бұру кезінде оған тиесілі кез келген нүктенің радиус-векторы  $O\tilde{X}\tilde{Y}\tilde{Z}$  жүйесінде  $\tilde{A}$ – және  $OXYZ$  жүйесінде  $A$  – матрицаларымен ұсынылған сызықтық оператордың көмегімен түрлендіріледі:

$$\begin{aligned} V' &= A \cdot V \\ \tilde{V}' &= \tilde{A} \cdot \tilde{V} \end{aligned} \quad (1)$$

мұндағы  $V'$  және  $\tilde{V}'$  - радиусы векторлар  $OXYZ$  жүйесінде және сәйкесінше  $O\tilde{X}\tilde{Y}\tilde{Z}$  бұрышқа бұрылған бүйірлік бөліктің нүктелері  $\varphi$ .

Бүйірлік бөлімді айналдыру  $\tilde{Z}$  осіне қатысты жүзеге асырылады және жүйесіндегі айналу матрицасы тікелей жазылады:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матрицада  $\tilde{A}$  бұрышы  $\varphi$  бөлімді алға бұрған кезде оң болады (5 сурет) және негізгі қондырғыдан артқа бұрылған кезде ( - ) белгісімен белгіленеді.

Кейбір математикалық түрлендірулерден кейін біз бүйірлік бөліктің қалаған геометриялық сипаттамаларын ерікті түрде орнатқан кезде білдіреміз, яғни:  $\varphi \neq 0$ :

а) Бүйірлік бөлімнің ерікті нүктесінің координаттары.

$V(X_{oi}, Y_{oi}, Z_{oi}) - \varphi = 0$  кезіндегі  $i$  - нүктенің радиус-векторы болсын. (2.3) сәйкес, -де бізде немесе координаттарда бар:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{oi} \\ Y_{oi} \\ Z_{oi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \cdot X_{oi} + a_{12} \cdot Y_{oi} + a_{13} \cdot Z_{oi} \\ a_{21} \cdot X_{oi} + a_{22} \cdot Y_{oi} + a_{23} \cdot Z_{oi} \\ a_{31} \cdot X_{oi} + a_{32} \cdot Y_{oi} + a_{33} \cdot Z_{oi} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Бүйірлік бөлікті  $\varphi$  бұрышына бұрған кезде бізде  $n_i = A \cdot n_{i0}$ , ал координаттар (бағыттаушы косинустар)  $n_i$  тең болады:

$$\begin{aligned} \cos v_x &= a_{11} \cdot \sin \alpha_i + a_{13} \cdot \cos \alpha_i \\ \cos v_y &= a_{21} \cdot \sin \alpha_i + a_{23} \cdot \cos \alpha_i \\ \cos v_z &= a_{31} \cdot \sin \alpha_i + a_{33} \cdot \cos \alpha_i \end{aligned} \quad (3)$$

Бүйірлік бөліктің пышақ жазықтығына қалыпты векторлардың координаттарын есептеу кезінде және бөлімнің жазықтығында  $\alpha_{i0}$  орнына  $\alpha_{p0}$ , сәйкесінше  $E_0$  ауыстырылуы керек.

$$\begin{aligned} \cos \tau_x &= \frac{-\cos^2 v_x \cdot \cos v_z + \cos^2 v_y}{\sin^2 v_z} - 1, \\ \cos \tau_y &= \frac{\cos v_x \cdot \cos v_y \cdot (1 - \cos v_z)}{\sin^2 v_z} \end{aligned} \quad (4)$$

$E_\varphi$  бұрышы арасындағы бұрыш жазықтықта қалыпты векторы  $n_\varepsilon (\cos v_{x\varepsilon}, \cos v_{y\varepsilon}, \cos)$  және көлденең қалыпты векторы  $k (0, 0, 1)$  ретінде анықталады

$$\cos E_\varphi = \frac{\cos v_{z\varepsilon} \cdot 1}{|n_\varepsilon| \cdot |k|} = \cos v_{z\varepsilon}$$

$$E_\varphi = \arccos (\cos v_{z\varepsilon}).$$

б) бүйірлік бөлімді кесу бұрышы –  $\alpha_{p\varphi}$   $n(\cos v_x, \cos v_y, \cos v_z)$  және  $k(0, 0, 1)$  қалыпты векторлары бар жазықтық арасындағы бұрыш ретінде анықталады:

$$\alpha_{p\varphi} = \arccos(\cos v_z); \beta = \arccos(\cos \beta).$$

$$\cos \beta = \cos \xi_x \cdot \cos \mu_x + \cos \xi_y \cdot \cos \mu_y$$

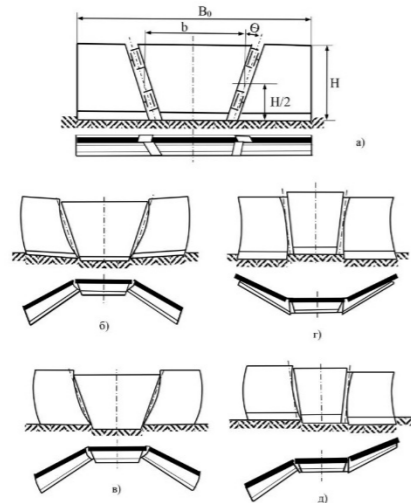
$$\sin \beta_{\text{пер}} = \frac{\cos \xi_z \cdot 1}{|\vec{q}| \cdot |k|} = \cos \xi_z$$

Осылайша, функциядағы ауыспалы геометриясы бар бейімделгіш қайырманың топырағы туралы өзара әрекеттесу процесін анықтайтын геометриялық параметрлерді есептеуге мүмкіндік беретін тәуелділіктер алынады: ортаңғы бөліктің ұзындығының қайырманың максималды еніне қатынасы -  $b/B_0$ , бульдозердің бойлық және көлденең жазықтықтарында топсаларды орнату бұрыштары –  $\gamma$  және  $\Theta$ ; топсаларға қатысты бүйірлік бөлімдердің айналу бұрыштары –  $\varphi$ .

#### Нәтижелер және талқылау

Орындалған есептеулердің нәтижелері оның технологиялық мүмкіндіктерін кеңейтуді және өнімділігін арттыруды қамтамасыз ететін Нұсқаулықтың бірқатар ерекшеліктерінің әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Бүйірлік бөліктердің бұрылу бұрыштарының әртүрлі тіркесімдеріндегі пышақтың сипаттамалық жұмыс позициялары 6 суретте көрсетілген [10, 35-159 б.; 11, 554-565 б.].

б, а суреті бойынша қайырманы орнату. Профильдеу жұмыстарын толтыруға мүмкіндік береді қайырмаларды дамыту және өнімділігі түсіру еніне пропорционалды басқа жұмыстар. Есептеулерге сәйкес,  $b/B_0 = 0,375$  қатынасында, мысалы, бүйірлік бөлімдерді  $30^0$ -ге дейін бұру арқылы түсіру ені  $10\%$  - ға азаяды. Бұл дәстүрлі түзу қайырмамен бірдей көліктік өлшемдері бар бейімделгіш типтегі қайырманың максималды ұстау ені (және сәйкесінше өнімділігі)  $1.1$  есе үлкен болуына мүмкіндік береді.



Сурет 6 – Әр түрлі қондырғыларда геометрияның көп деңгейлі өзгеруімен бейімделетін тартылатын бульдозер қайырмасын қолдану схемалары

Бүйірлік бөліктерді алға бұра отырып қайырманы орнатқан кезде (6, б сурет бойынша) при  $b/B_0 = 0,375$ ,  $\theta = 14^\circ$  және  $\varphi = 30^\circ$  кезінде, мысалы, бүйір пышақтардың кесу жиектерінің  $9^\circ$  бұрышқа қисаюы және ортаңғы пышақтың шығыңқы бөлігінің мөлшері - қайырманың биіктігінің орта есеппен 3 % қамтамасыз етіледі.

Осындай қайырмамен және тік қайырмамен кесілген жоңқалардың өлшемдерін шығыңқы ортаңғы пышақпен салыстыру олардың шамамен бірдей үлестік тереңдету және қысым күшін, демек, IV санаттағы берік топырақты игеруге тең мүмкіндік беретіндігін көрсетеді.

Тәуелділікті есептеу (4)  $\theta$  бұрышының ұлғаюымен бүйірлік чиптер бөлшектерінің қозғалыс траекториясының бүйірлік пышақтар бойымен түзуші ортаңғы бөлікке қарай ауытқуы азаятынын анықтауға мүмкіндік берді.

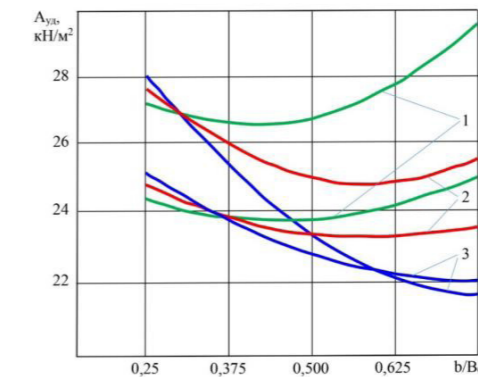
Энергия сыйымдылығының қол жеткізілген төмендеуі қазу тереңдігін, топырақтың жинақталған призмасының мөлшерін және нәтижесінде дамыған топырақты шектеулі, шағын өндірістік қашықтыққа жылжытқанда өзгермелі геометриясы бар пышақпен жабдықталған бульдозердің өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

6, в сурет бойынша пышақты алға қарай бұрылған бүйір бөліктердің пышақтарының қисаюына орнатқан кезде ортаңғы бөліктің орнату бұрышының ұлғаюымен өтеледі ( $\gamma = 900 - \varepsilon$  бұрышының азаюымен). Оның негізгі мәннен өзгеруі  $75^\circ$  -ден  $85^\circ$ -ге дейін, яғни сериялық бульдозерлерде жүзеге асырылатын шектерде қиғаштық бұрышын азайтуға мүмкіндік береді  $\theta = 14^\circ$  мысалы,  $\beta_{пер} = 2^\circ$  дейін.

Түсіру бұрышы бульдозердің қысым центрінің мешысуы және  $\gamma_{3x} = 60^\circ$  тең болу шартымен мүмкіндігінше аз қабылданды. Ортаңғы бөліктің ұзындығы бүйірлік бөлімдер бойымен қозғалатын жер ағындарының өзара әрекеттесуін болдырмау шарттарынан анықталды:

$$b = 2H \frac{90^\circ - \alpha_p + \psi}{(\sin\psi + \cos\alpha) \operatorname{tg}(\alpha + 5^\circ)}$$

$b/V$  ортаңғы бөлігінің салыстырмалы ұзындығын бір уақытта ұлғайту және жоспардағы ау бүйірлік бөлімдерін орнату бұрышын төмендету кезінде сүйреу призмасының шамасы 1,5 есеге дейін артады, ал бүйірлік роликтердегі шығындар 1,9..2,5 дейін төмендейді. Сонымен қатар, қазудың минималды энергия сыйымдылығы жағдайынан  $b/V$  мен  $\alpha_y$  арасында тікелей пропорционалды байланыс бар екендігі шығады. Қарама-қайшылық ылғалды топырақтарда күшейеді, онда қазу ортаңғы бөліктің салыстырмалы ұзындығында және бүйірлік қондырғының үлкен бұрышында орташа қабаттың қысылуына және қайырманың жабысуына байланысты энергия сыйымдылығының жоғарылауы байқалады (7 сурет).



Сурет 7 – жоспардағы бүйірлік бөлімдерді орнату бұрышының әртүрлі мәндеріндегі қазу қуатының  $b/V$  қатынасына тәуелділігі:

- 1)  $\alpha_y = 10^\circ$ ; 2)  $\alpha_y = 20^\circ$ ; 3)  $\alpha_y = 30^\circ$

#### Қаржыландыру туралы ақпарат

Осы мақалада келтірілген зерттеулердің нәтижелерін Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (АР22684640 «Көп деңгейлі геометриялық өзгерісі бар бульдозер қайырмасының топсалы-буындасқан құрылымын әзірлеу» гранты).

#### Қорытынды

Алынған тәуелділіктер функциядағы өзгермелі геометриясы бар бейімделгіш қайырманың ұсынылған дизайнының технологиялық мүмкіндіктері мен өнімділігін оның параметрлерінен анықтайтын геометриялық параметрлерді есептеуге мүмкіндік береді: бульдозердің бойлық және көлденең тік жазықтықтарындағы топсаларды орнату бұрыштары; топсаларға қатысты бүйірлік бөліктердің айналу бұрышы ( $\varphi$ ). Тәуелділіктер кез-келген үйінді конструкцияларына, соның ішінде көлденең және тік жазықтықта белгілі бір айналу бұрыштарында ортамен өзара әрекеттесетін басқарылатын бөлімдермен жабдықталған.

Әзірленген тәуелділіктердің көмегімен топырақтың физикалық-механикалық қасиеттерінің, геометриялық параметрлердің (қайырманың ұзындығы мен биіктігі,



ортаңғы бөліктің ұзындығы, кесу бұрыштары, бойлық және көлденең жазықтықта топсаларды орнату және бүйірлік бөлімдерді орнату бұрыштары), сондай-ақ қазу процесіне қазу тереңдігінің әсерін зерттеуге болады. Тәуелділіктер өнімділікті анықтауда және өзгермелі геометриясы бар және сфералық типтегі қайырмалары бар бульдозерлерді тартуда қолданыла алады.

Қабылданған болжамдардың дұрыстығын, әзірленетін аналитикалық тәуелділіктердің дұрыстығын тексеру үшін өзгермелі геометриясы бар қайырманың ұтымды конструктивтік параметрлерін негіздеу үшін топырақты қазу процесіне эксперименттік зерттеулер жүргізу қажет.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Курилов, Е. В., Трошин, Д. И.** Повышение эффективности бульдозерных отвалов. Строительные и дорожные машины. – М., 2014. – С. 9–12.

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

3 **Бабаев, Т. К.** Экспериментальное исследование влияния угла захвата и наклона рабочего органа машины для земляных работ, расположенного сбоку вне опорной поверхности на сопротивление копанью // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 3. С. 34–40.

4 **Zinke, H. P.** Bergbaumaschinen im Einsatz – Erdbewegungsmaschinen im diskontinuierlichen Tagebaubetrieb; Berlin, epubli, 2. Auflage. – 2018. – ISBN 978-3746714639.

5 **Карасев, Г. Н.** Теория резания и копания грунтов. Решения и проблемы: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2012. – 112 с.

6 Бульдозерные отвалы и их применение. – 2020. – [Электрондық ресурс]. – <https://www.zepelin.ru/o-kompanii/blog/resheniya/obzor-buldozernyh-otvalov/> Дата обращения 11.09.2023.

7 **Баловнев, В. И.** Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин. Учеб. пособие. – М.: МАДИ. – 2014. – 148 с.

8 **Аукенова, Б. К., Раденков, Р. Л., Савельев, А. Г., Кумыкова, Т. М., Дудкин, М. В., Курмангалиев, Т. Б.** Оборудование бульдозера-террасера. Патент на полезную модель РК № 7055. Оpubл. 29.04.2022, бюл. № 17. – 4 с. – [Электрондық ресурс]. – <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=354840>. Дата обращения 12.09.2023.

9 **Баловнев, В. И.** Определение параметров и выбор землеройных машин. – Москва – Омск: ЗАО «Полиграф». – 2010. – 224 с.

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

11 **Doudkin, M., Kim, A., Aukanova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N.** Experimental Studies on the Interaction Process with the Environment of an Adaptable Bulldozer Blade with Variable Geometry. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.). – [Электрондық ресурс]. – <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i11.21756> 2021. – Vol. 15. – N. 11, – P. 554–565.

#### REFERENCES

1 **Kurilov, E. V., Troshin, D. I.** Povysheniye effektivnosti bul'dozernykh otvalov [Improving the efficiency of bulldozer dumps]. Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny – M., 2014. – P. 9–12.

2 **Surashov, N. T., Asmatulaev, R. B., Tolymbek, D. N.** Opredeleniye ratsional'noy formy otvala bul'dozera s uchetom gruntovogo fona Respubliki Kazakhstan [Determination of the rational form of a bulldozer dump taking into account the soil background of the Republic of Kazakhstan]. SibADI Bulletin, Volume 18, № 6, 2021. – Omsk: SibADI. – 2021. – P. 662–677.

3 **Babaev, T. K.** Eksperimental'noye issledovaniye vliyaniya ugla zakhvata i naklona rabocheho organa mashiny dlya zemlyanykh rabot, raspolozhennogo sboku vne opornoй poverkhnosti na soprotivleniye kopaniyu [Experimental study of the effect of the angle of capture and inclination of the working body of an earthmoving machine located on the side outside the support surface on digging resistance]. Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. – 2019. – № 3. – P. 34–40.

4 **Zinke, H. P.** Bergbaumaschinen im Einsatz – Erdbewegungsmaschinen im diskontinuierlichen Tagebaubetrieb; Berlin, epubli, 2. Auflage, 2018; ISBN 978-3746714639.

5 **Karasev, G. N.** Teoriya rezaniya i kopaniya gruntov [Theory of cutting and digging of soils]. Resheniya i problemy: uchebnoye posobiye. – M.: MADI, 2012. – 112 p.

6 Bul'dozernye otvaly i ikh primeneniye [Bulldozer dumps and their application]. – 2020. – [Electronic resource]. – <https://www.zepelin.ru/o-kompanii/blog/resheniya/obzor-buldozernyh-otvalov/> Data obrashcheniya 11.09.2023

7 **Balovnev, V. I.** Podobiye i modelirovaniye v sisteme proyektirovaniya dorozhno-stroitel'nykh mashin [Similarity and modeling in the design system of road construction machines]. Ucheb. posobiye. – M. : MADI, 2014. – 148 p.

8 **Aukanova, B. K., Radenkov, R. L., Savel'ev, A. G., Kумыkova, T. M., Dudkin, M. V., Kurmangaliev, T. B.** Oborudovanie bul'dozera-terrasera [Equipment of the bulldozer-terraser]. The patent for the utility model of the Republic of Kazakhstan No. 7055. Publ. 04/29/2022, byul. No. 17–4p. – [Electronic resource]. – <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=354840>. Date of application 09/12/2023

9 **Balovnev, V. I.** Opredeleniye parametrov i vybor zemleroynykh mashin [Determination of parameters and selection of earthmoving machines]. – Moscow. – Omsk: ЗАО «Poligraf», 2010. – 224 p.

10 **Babaev, T. K.** Obosnovaniye ratsional'nykh parametrov i razrabotka konstruktsii dopolnitel'nogo bokovogo otvala, raspolozhennogo vne opornoj ploskosti gusenichnogo bul'dozera [Justification of rational parameters and design development of an additional side dump located outside the reference plane of a tracked bulldozer]. Dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.04 - dorozhnyye, stroitel'nyye i pod'yomno-transportnyye mashiny: – М: MADI, 2021. – 159 p.

11 **Doudkin, M., Kim, A., Aukenova, B., Radenkov, R., Saveliev, A., Andryukhov, N.** Experimental Studies on the Interaction Process with the Environment of an Adaptable Bulldozer Blade with Variable Geometry. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol. 15, N. 11, 2021. – P. 554–565. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i11.21756>

09.09.24 ж. баспаға түсті.

11.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**\*Б. К. Ауkenова, Б. А. Молдаханов, М. В. Дудкин**

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

Поступило в редакцию 09.09.24.

Поступило с исправлениями 11.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ЗАРЕЗАНИЯ И ЗАХВАТА, ВЛИЯЮЩИХ НА СИЛУ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОПАНИЮ БУЛЬДОЗЕРНЫМ ОТВАЛОМ

*Статья посвящена выводу зависимости энергопотребления работ по планированию грунта бульдозером, оснащенным отвалом с разноуровневым изменением геометрии, от изменения в процессе выполнения работ формы отвала и, соответственно, его текущих углов резания и захвата. Дана классификация работ, выполняемых бульдозерным оборудованием. В статье приведены конструктивные схемы перспективных отвалов с разноуровневым изменением геометрии, подробно проанализировано изменение геометрической формы отвала с перераспределением потоков призмы волочения грунта, плоскость отвала показана под разными углами со всеми точками приложения сил и изменения специфических углов, влияющих на форму и геометрию отвала. Показан краткий обзор вывода основных математических зависимостей, по которым, в зависимости от положения средней или боковых частей отвала, происходит синхронное изменение углов захвата и резания, которые влияют на перераспределение сил, препятствующих резанию и планированию грунта. В статье получены и приведены зависимости, которые позволяют рассчитывать геометрические параметры, определяющие процесс взаимодействия с грунтом адаптируемого отвала с разноуровневым изменением геометрии в функции от: отношения длины средней секции к максимальной ширине захвата отвала, углов установки шарниров в продольной и поперечной плоскостях бульдозера; угла поворота боковых секций относительно шарниров.*

*Ключевые слова: бульдозер, отвал, угол резания, призма волочения грунта, углы наклона отвала, боковые секции отвала, выдвижной средний нож, шарнирно-сочлененный отвал.*

**\*B. K. Aukenova, B. A. Moldakhanov, M. V. Dudkin**

D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Received 09.06.24.

Received in revised form 11.06.24.

Accepted for publication 12.09.24.

#### DETERMINATION CUTTING AND GRIP ANGLES AFFECTING FORCE OF DIGGING RESISTANCE WITH BULLDOZER BLADE

*The article is devoted to the derivation of the dependence of energy consumption of soil planning works by a bulldozer equipped with a blade with a multi-level change in geometry on the change in the blade shape during the work and, accordingly, its current cutting and grip angles. A classification of works performed by bulldozer equipment is given. The article presents design schemes of promising blades with a multi-level change in geometry, a change in the geometric shape of the blade with the redistribution of the flows of the soil drag prism is analyzed in detail, the blade plane is shown at different angles with all points of application of forces and changes in specific angles affecting the shape and geometry of the blade. A brief overview of the derivation of the main mathematical dependencies is shown, according to which, depending on the position of the middle or side parts of the blade, a synchronous change in the grip and cutting angles occurs, which affect the redistribution of forces that impede cutting and soil planning. The article presents dependencies that allow calculating geometric parameters that determine the process of interaction with the soil of an adaptable blade with a multi-level change in geometry as a function of: the ratio of the length of the middle section to the maximum width of the blade grip, the installation angles of the hinges in the longitudinal and transverse planes of the bulldozer; the angle of rotation of the side sections relative to the hinges.*

*Keywords: bulldozer, blade, cutting angle, soil drag prism, blade tilt angles, blade side sections, retractable middle knife, articulated blade.*



**A. S. Berg<sup>1</sup>, \*O. A. Nurzhanova<sup>2</sup>, O. M. Zharkevich<sup>3</sup>, A. A. Berg<sup>4</sup>**Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda\*e-mail: [nurzhanova\\_o@mail.ru](mailto:nurzhanova_o@mail.ru)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284><sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710><sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>**ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF OPTIMIZED MILL BED**

*This paper presents the selection of optimization parameters for the bed geometry of a long metal cutting machine (MCM), the design problem and boundary conditions were given. Five different geometries were designed for further mathematical analysis to meet the requirements of the problem. Static analysis of the mathematical model of the bed shells was performed by finite element method (FEM) using BETA CAE System tool, ABAQUS, which showed that by using stiffeners in the form of two variable pitch spirals and three hollow tubes, as well as changing the design at the connection point of the beam support to the bollards of the long bed of the metal cutting machine, the stresses that occurred in these places at an angle of 90° were reduced. The geometries were chosen in such a way that it was possible to reduce the stresses occurring at the point of cutting, to reduce the deflection, to increase the rigidity of the structure. The economic calculation aimed at determining the cost of a long metal-cutting machine tool with the proposed geometry has been carried out. The analysis of the unit cost of the product (long bed of the metal-cutting machine tool made of polymer concrete with optimized geometry) has been carried out, the calculation of the annual economic effect from the use of the proposed method of manufacturing has been carried out.*

*Keywords: MCM, FEM, statistical analysis, product cost, economic calculation.*

**Introduction**

Nowadays, a serious problem that occurs in machine tools is vibration and deflection, which arise due to insufficient rigidity of the machine structure. The most stressed elements of the machine tool are the bed and the base. These elements are mainly made of cast iron and steel. However, the elements made of steel and cast iron do not meet the requirements, as they have low vibration resistance and cannot maintain dimensional stability for a long time. Also, machines of insufficient length and insufficient strength are currently used. The machining process is carried out by reinstalling the parts, which leads to a high percentage of rejects, which is unacceptable in the manufacture of long parts, as they are subject to quite stringent requirements. In this regard, there is a need to develop vibration-resistant designs of metal-cutting machine tools, methods and means of controlling vibration and machine tool vibrations, increasing rigidity and

reducing deflection. There was also a need to replace the used materials with new ones that could meet all the necessary requirements, namely composite materials (polymer concretes) [1,p.6;2,p.1].

Supporting systems of machine tools should provide and maintain during the required service life the correct location and the possibility of accurate and smooth mutual movements of tools and workpieces in idle and during cutting.

To meet these requirements, the design of beds and housing parts is now subject to the criteria of rigidity and wear resistance of guides, as well as to the conditions of manufacturability. As a rule, the strength conditions for these parts are automatically satisfied when their dimensions and material are selected according to these criteria. Calculations and design of bearing systems for vibration resistance have not been developed so far [3].

Another important factor in the manufacture of long beds of MCM is their cost price. Any design should be reliable in operation, economical, technological in manufacturing, convenient in transportation and installation and safe in operation. This is especially true for structures operating at elevated temperature and pressure. One of the most important criteria for assessing the reliability of structures and their elements are strength and stiffness.

To identify the maximum permissible deflection of the long (length 10 000 mm) bed of the MRS, the calculation by formula (1) of the deviation from straightness of the structure (5 qualification of accuracy) of the MRS according to GOST 18097-93 and GOST 24643-81 was made [1,p.32]:

$$\Delta_2 = \Delta_1 \frac{0,45^2 \sqrt{l_2} + 0,001 l_2}{0,45^2 \sqrt{l_1} + 0,001 l_1} = 0,22 \text{ mm} \Rightarrow 220 \text{ mcm} \quad (1)$$

where  $\Delta_1$  – standard tolerance;  $l_2$  – length of the long bed of the MCM, mm;  $l_1$  – standard length, mm.

Based on the formula (1) we can conclude that the maximum permissible deviation from parallelism (including deflection) of a long MRS bed should not exceed 0.22 mm.

To optimize the design of the machine bed it is advisable to use the penalty function model, which is built on the basis of constraints  $g$  on the quality of the bed design (deflection), and the target function is the mass of the bed. This model is based on the method of Davidon - Fletcher - Powell. Evaluation of the quality of design solutions availability of such criteria as efficiency criterion -  $F$  (bed weight) and quality  $g$  (deflection). At achievement of the necessary result the criterion of efficiency should be minimized, and the criterion of quality should aspire to some given values of  $g$ . The standard calculation of the model optimization criterion by the Davidon-Fletcher-Powell method is performed [4,p.43]. The design problem is formulated as a problem in the form:

$$F(\bar{x}) \rightarrow \min; g(\bar{x}) = g_0, \quad (2)$$

Under the condition  $g(\bar{x}) \leq 0.22$ , where  $F(\bar{x})$ ,  $g(\bar{x})$  are the given functions of design variables.

The constraints of the problem are formed on the basis of the conditions of strength and rigidity of the machine tool design. The machining performance is taken into account through cutting forces, the design variable is the geometry of the machine bed. The calculation is carried out taking into account the contact and eigenstrains in the system of a long metal cutting machine [5, p. 9].

After selecting the optimization criterion for the design of the bed of a metal-cutting machine tool, it is necessary to select the optimal geometry of the bed. The design features of serial bearing structures of metal-cutting machine tools are considered and the system of initial data for calculating the structures is assigned on the basis of the data sheet and the factory methodology of machine tool testing [6, p. 3].

#### Materials and methods

Long parts mostly operate at high speeds under high alternating loads and any deviations in their manufacturing can cause additional vibrations and increase dynamic loads, which significantly reduces the life cycle of products as a whole [7], so the manufacture of parts of this type in most cases have high requirements to the parameters of dimensional accuracy, geometric shapes and mutual location of surfaces, as well as to the quality of surfaces.

The choice of the material of the beds and body parts is determined by the main criterion of their operability - rigidity, as well as by the technological requirements; the parts carrying the guides are additionally determined by the criterion of wear resistance [3, p. 22].

In the course of the research we considered the static analysis of the mathematical model of the bed housings by the finite element method using the BETA CAE System tool, ABAQUS.

The purpose of this analysis is to determine the maximum deformation as well as to identify the local stresses of the models, and to compare the results with each other for different geometries of the machine tool beds. The search for the best geometry that satisfies the technical requirements for long metal cutting machine tools.

The first model is made of polymer concrete as a geometry with standard trusses. As a result of the static analysis of this model, the following results were obtained when the cutting force equal to 12.4 kN calculated by the standard method [8] and gravity forces were superimposed: deformation along the Z-axis (model deflection) equal to 1.42 mm (Figure 1), as well as internal stresses according to Von Mises, in the place of maximum deflection equal to 2.52 MPa, in addition, stresses are locally concentrated at the place of support of the beam on the bollards of the long bed of the metal-cutting machine because of the connections of the support of the bed of the metal-cutting machine with the bollards at an angle equal to 90° [1, p.71].

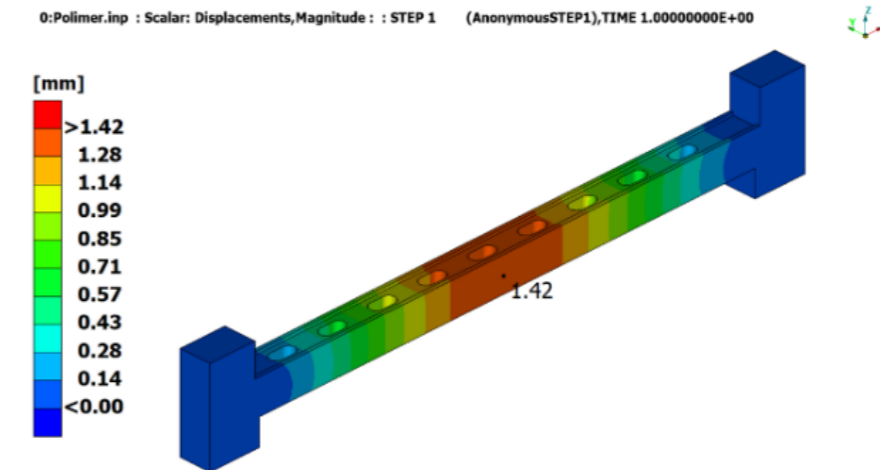
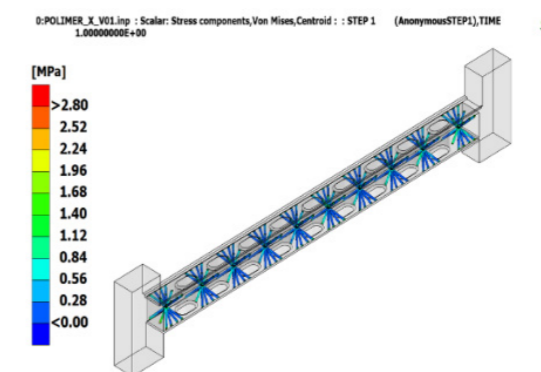


Figure 1 – Obtained longitudinal deflection in polymer concrete bed with optimized geometry in the form of trusses under imposed static loading

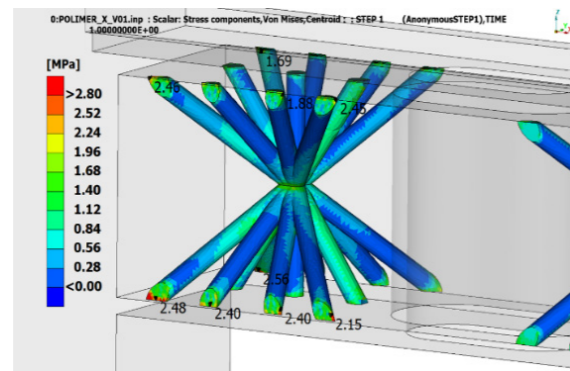
Due to the cutting force applied in the center of the model, the maximum internal stresses in the bed made of polymer concrete with optimized geometry in the form of trusses occur there when the static load is applied.

The second model is made of polymer concrete with X (hedgehogs) geometry spaced at 1119 mm. As a result of static analysis of this model under the application of cutting force equal to 12.4 kN and gravity forces, the following results were obtained: maximum deformation along the Z axis (model deflection) equal to 2.62 mm, internal stresses according to Von Mises, in the place of maximum deflection equal to 2.56 MPa (maximum stress at the X (hedgehogs) support points) (Figure 2).

Due to the localization of these stresses (Figure 2) and the peculiarities of their distribution, they can be neglected. The stress equal to 1.68 MPa is taken into account, since this stress prevails in the structure [1, p.73].



a)



б)

Figure 2 – Local view of the resulting internal stress in a polymer concrete bed with optimized geometry X (hedgehogs) under imposed static load

The third model is made of polymer concrete in the form of a bed with hollow spheres located along the x,y,z axes of the entire bed of the metal-cutting machine with a step of 100 mm. As a result of static analysis of this model under the influence of cutting force equal to 12.4 kN and gravity forces the following results were obtained: deformation along the Z axis (model deflection) equal to 2.85 mm (Figure 3), internal stresses according to Von Mises, occur in the place of maximum deflection equal to 5.27 MPa.

Additionally, stresses are locally concentrated at the place of support of the beam on the bollards of the long bed of the metal-cutting machine from - because of the connections of the support of the bed of the metal-cutting machine with the bollards at an angle of 90° equal to 6.51 MPa and 7.51.

Figure 3 shows the local place of deformation of the long bed of the metal-cutting machine. Due to the chosen geometry in the form of hollow spheres in the structure there are homogeneous stresses on the surface of the long bed of the metal-cutting machine with an average value of 4.3 MPa [1, p.73].

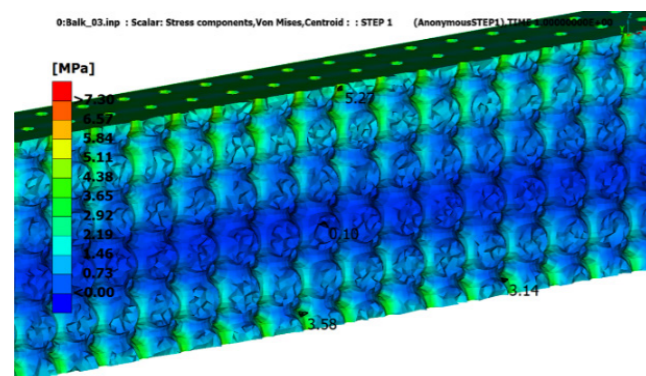


Figure 3 – Local view of the resulting internal stress in a polymer concrete bed with optimized geometry in the form of hollow spheres under applied static load

The fourth model is made of polymer concrete in the form of a bed with the use of stiffeners in the form of two spirals and three hollow tubes. As a result of static analysis of this model at the application of cutting force equal to 12.4 kN and gravity forces the following results were obtained: deformation (deflection of the model) equal to 1.2 mm, internal stresses of the model equal, in the place of maximum deflection there are stresses equal to 4.74 MPa, and also there are stresses at the place of support of the beam on the bollards of the bed of the machine tool bed equal to 5.53 MPa and 5.87 MPa.

In addition, stresses are locally concentrated at the place of support of the beam on the bollards of the long bed of the metal-cutting machine from - due to connections of the support of the bed of the metal-cutting machine with the bollards at an angle equal to 90° equal to 5.87 MPa (Figure 5) [1, p.75].

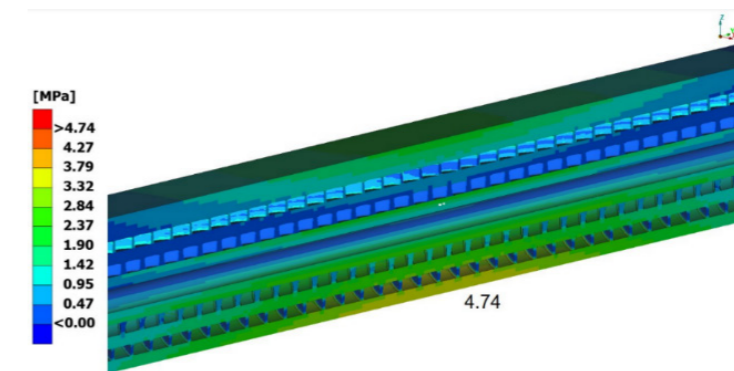


Figure 5 – Local view of the resulting internal stress in a polymer concrete bed with optimized geometry using stiffeners under static load application

The fifth model is made of polymer concrete in the form of a bed using stiffeners in the form of two variable pitch spirals and three hollow tubes. The use of variable pitch spiral will solve the problem of stress concentration and material consumption. Also with the help of design modification in the place of connection of the beam support to the bollards of the long bed of the metal-cutting machine, the stresses that occurred in these places at an angle of 90° were reduced [1, p.76].

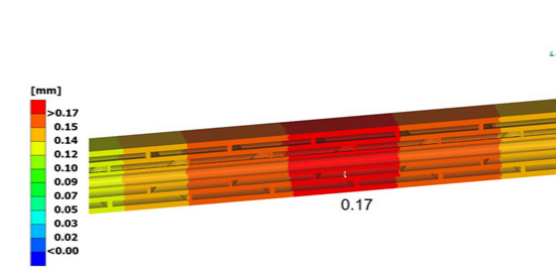


Figure 6 – Obtained longitudinal deflection in polymer concrete bed with optimized geometry using stiffeners with variable spacing under applied static load



As a result of static analysis of the given model at imposition of cutting force equal to 12,4 kN and gravity forces the following results were obtained: deformation (deflection of the model) equal to 0,17 mm (figure 6), internal stresses of the model equal, in the place of maximum deflection there are stresses equal to 4,74 MPa, and also there are stresses at the place of support of the beam on the bollards of the bed of the machine tool bed equal to 2,65-3,72 MPa (figure 6) [1, p.77 – 78].

Table 1 – Results of static analysis of loading of long steel-cutting machine beds with different geometries [1, p.77 – 78]

Name of geometry	Resulting maximum stress, MPa	Resulting deflection, mm
Optimization of geometry in the form of trusses	2,52	1,42
Optimization of X geometry (hedgehogs)	2,56	2,62
Optimization of hollow spheres	5,27	2,85
Spiral Optimization	4,74	1,2
Variable pitch spiral optimization	3,62	0,17

After static analysis of five variants of geometry, it can be concluded that with the use of stiffeners in the form of two spirals with variable pitch and three hollow tubes, as well as changing the design at the connection point of the beam support to the bollards of the long bed of the metal cutting machine, the stresses that occurred in these places at an angle of 90° were reduced [1, p.77 – 79].

**Results and discussion**

To identify the economic efficiency of the application of this design in the manufacture of long MRS it is necessary to determine its cost price.

The cost of the total volume of manufactured products is the sum of costs of the enterprise for its production and realization. All costs are brought to a single time period, usually one year. At the same time, the total cost of a unit of a particular product name is determined [1, p.108 – 109;9].

The values of realized waste in natural terms are taken as 1 %. V= 4.01 m3, density of polymer concrete 200-2500 kg/m3 => mass of the bed depending on the density of the selected composition of polymer concrete can vary within 4-8 tons. The mass of the bed is assumed to be 6 tons.

The cost of annual production of polymer concrete bed of metal-cutting machine is presented in Table 2.

Table 2 – Cost of annual production output [1, p.109]

Cost items	Values by options, mln. tg.	
	project	basic (cast iron)*
1 Raw materials and supplies, net of returnable waste	3 605 000	17 571 650 tenge
1.2 Fuel and energy for technological needs	105 000	
Total: shop cost	3 710 000	
2 Remuneration of employees	3 939 681	
3 Depreciation and amortization of property, plant and equipment	4 000 000	
4 Total: full production cost (line 3+4+5)	11 649 681	
5 Total production cost including VAT	13 047 642	
* – Составлено по источнику [122]		

Product payback period is a time period of use of an economic object, during which the investment in production is returned by a stream of net profit, and is calculated according to the formula [9, p. 45]:

$$T = \frac{I}{P_{net} + A_{year}} = 2 \text{ year} \tag{5}$$

где I – amount of full investment investments including VAT, mln. tg;

A<sub>year</sub> – value of annual depreciation charges by elements of depreciable fixed assets, mln. tg;

P<sub>net</sub> – net profit, mln. tg.

Based on the basic rules of product and production payback [10;11] we can conclude that the payback of production of metal cutting machine bed made of polymer concrete with the use of stiffeners with variable pitch meets the economic requirements.

Analysis of the currently available equipment for processing of long cylindrical products has shown that there is a problem in the absence of this equipment in the Republic of Kazakhstan or the high cost of its purchase, as well as there is no possibility for the company to manufacture such equipment directly on its territory. The high cost of the material used today for the production of long machines (steel and cast iron), a long lead time and a large percentage of defects after receiving the equipment, all this negatively affects the future operation of such long equipment. The conducted calculation showed that the application of this technology will allow to solve these problems, will also allow to increase the quality of the received products, as the obtained deflection (0,17 mm) is much less than the permissible (0,22 mm) for this type of equipment.

**Funding information (if available)**

The article was prepared within the framework of realization of the grant of NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» for young scientists, agreement № 3 from 07.06.2024.

**Conclusions**

The feasibility of using the proposed design of a long metal-cutting machine tool with optimized geometry has been confirmed in the course of research. While selecting the optimal geometry of the long bed of the MRS, the design features of serial bearing

structures of metal-cutting machine tools were considered and the geometries meeting the requirements of the task were designed.

The use of stiffeners in the form of two spirals with variable pitch and three hollow tubes, as well as changing the design in the place of connection of the beam support to the bollards of the long bed of the metal-cutting machine were reduced stresses that occurred in these places at an angle of 90 °.

Using this type of optimization will reduce the cost of a unit of product (long bed of metal-cutting machine from polymer concrete) annual economic effect from the use of the proposed method of manufacture and will amount to 4 524 008 tenge. The bed made of polymer concrete material with geometry in the form of stiffening ribs with variable pitch will pay off in 2 years.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Берг, А. С.** Исследование и разработка технологического оснащения для обработки длинномерных цилиндрических поверхностей: диссертация на соискание степени PhD: 8D07101 – «Машиностроение». – М. – 2024. – 152 с.
- 2 **Барт, В. Е., Санина, Г. С., Шевчук, С. А.** Применение полимербетон в станкостроении. – М. : ВНИИТЭМР. – 1985. – 40 с.
- 3 **Каминская, В. В., Левина, З. М., Решетов, Д. Н.** Станины и корпусные детали металлорежущих станков. – М. : МАШГИЗ. – 1960. – 364 с.
- 4 Полимерный композит. [Электронный ресурс]. – <http://www.petrology.ru/files/cpiirkompozitydlja-stankostroeniya.pdf>.
- 5 **Востриков, С. О., Безин, И. В.** Применение композиционных материалов в станинах металлорежущих станков. [Электронный ресурс]. – [https://studvesna.ru/db\\_files/articles](https://studvesna.ru/db_files/articles).
- 6 Понятия о прочности и жесткости конструкции. [Электронный ресурс]. – <https://isopromat.ru/sopromat/obzornyj-kurs-teorii/prochnost-zhestkost>.
- 7 **Чигиринский, Ю. Л., Нестеренко, П. С.** Повышение эффективности токарной обработки нежестких деталей за счёт применения системы адаптивного управления // Известия ВолгГТУ. – 2015. – № 11(173). – С. 36–39.
- 8 Properties of Commonly Used Polymers. [Электронный ресурс]. – [https://www.notesandsketches.co.uk/Polymer\\_properties.html](https://www.notesandsketches.co.uk/Polymer_properties.html).
- 9 **Бабук, И. М., Королько, А. А., Адаменкова, С. И. и др.** Расчет экономической эффективности новых технологических процессов: учеб.-метод. пос. – Минск: БНТУ, 2010. – 56 с
- 10 Расчет НДС. [Электронный ресурс]. – <https://uchet.kz/week/porog-dlya-postanovki-na-uchet-ponds-v-kazakhstan-v-2023-godu-uvelichitsya/>.
- 11 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Об утверждении Правил формирования перечня инвестиционных проектов по производству нефтегазохимической продукции: утв. 29 апреля 2020 года, №165. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000020520.10.10.2023>.

#### REFERENCES

- 1 **Berg A. S.** Issledovanie i razrabotka texnologicheskogo osnashheniya dlya obrabotki dlinnomerny`x cilindricheskix poverxnostej: dissertaciya na soiskanie stepeni PhD: 8D07101 [Research and development of technological equipment for processing long cylindrical surfaces: dissertation for the degree of PhD: 8D07101] - «Mechanical engineering». – M., 2024. – 152 p.
- 2 **Bart V. E., Sanina G. S., Shevchuk S. A.** Primenenie polimerbetonov v stankostroenii [Application of polymer concrete in machine tool building]. – M. : VNIITEMR, 1985. – 40 p.
- 3 **Kaminskaya V. V., Levina Z. M., Reshetov D. N.** Staniny` i korpusny`e detali metallorzhushhix stankov [Beds and body parts of metal-cutting machines]. – M. : MASHGIZ, 1960. – 364 p.
- 4 Polimerny`j kompozit [Polymer composite]. – [Electronic resource]. – <http://www.petrology.ru/files/cpiirkompozitydlja-stankostroeniya.pdf>.
- 5 **Vostrikov S. O., Bezin I. V.** Primenenie kompozicionny`x materialov v staninax metallorzhushhix stankov [Application of composite materials in metal-cutting machine beds]. [Electronic resource]. – [https://studvesna.ru/db\\_files/articles](https://studvesna.ru/db_files/articles).
- 6 Ponyatiya o prochnosti i zhestkosti konstrukcii [Concepts of strength and rigidity of a structure]. – [Electronic resource]. – <https://isopromat.ru/sopromat/obzornyj-kurs-teorii/prochnost-zhestkost>.
- 7 **Chigirinskij Yu. L., Nesterenko P. S.** Povy`shenie e`ffektivnosti tokarnoj obrabotki nezhyostkix detalej za schyot primeneniya sistemy` adaptivnogo upravleniya [Increasing the efficiency of turning non-rigid parts through the use of an adaptive control system] // Bulletin of VolGTU. – 2015. – № 11 (173). – P. 36–39.
- 8 Properties of Commonly Used Polymers. – [Electronic resource]. – [https://www.notesandsketches.co.uk/Polymer\\_properties.html](https://www.notesandsketches.co.uk/Polymer_properties.html).
- 9 **Babuk I. M., Korol`ko A. A., Adamenkova S. I. i dr.** Raschet e`konomicheskoy e`ffektivnosti novy`x texnologicheskix processov [Calculation of the economic efficiency of new technological processes] : training and method. pos. – Minsk: BNTU, 2010. – 56 p
- 10 Raschet NDS [VAT calculation]. – [Electronic resource]. – <https://uchet.kz/week/porog-dlya-postanovki-na-uchet-ponds-v-kazakhstan-v-2023-godu-uvelichitsya/>.
- 11 Prikaz Ministra e`nergetiki Respubliki Kazaxstan. Ob utverzhenii Pravil formirovaniya perechnya investicionny`x proektov po proizvodstvu neftegazoximicheskoy produkcii: utv. 29 aprelya 2020 goda, №165 [Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan. On approval of the Rules for the formation of the list of investment projects for the production of petrochemical products: approved. April 29, 2020, No. 165]. [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000020520.10.10.2023>.

Received 30.07.24.

Received in revised form 30.07.24.

Accepted for publication 12.09.24.



*А. С. Берз<sup>1</sup>, \*О. А. Нуржанова<sup>2</sup>, О. М. Жаркевич<sup>3</sup>, А. А. Берз<sup>4</sup>*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.

30.07.24 ж. баспаға түсті.

30.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### МКС ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН СТАНИНАСЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Бұл мақалада ұзын өлшемді металл кескіш станоктың (МРС) станина геометриясын оңтайландыру параметрлерін таңдау ұсынылған, жобалау міндеті мен шекаралық шарттар берілген. Қойылған міндеттің талаптарына жауап беретін математикалық талдауды одан әрі жүргізу үшін бес түрлі геометрия жобаланған. Beta CAE system, ABAQUS құралымен соңғы элементтер (СЭЭ) әдісімен станиналар корпустарының математикалық моделіне статикалық талдау жасалды, ол екі айнымалы спираль және үш қуыс құбыр түріндегі қаттылық шеттерін қолдану арқылы, сондай-ақ арқалық тірегінің металл кесетін станоктың ұзын өлшемді станинаның тұғырларына қосылу орнындағы конструкцияны өзгерту бұл кернеулердің төмендегенін көрсетті. жерлерде 90° - қа тең бұрышта пайда болған. Геометриялар кесу орнында пайда болатын кернеулерді азайтуға, иілуді азайтуға, құрылымның қаттылығын арттыруға мүмкіндік беретін етіп таңдалды. Ұсынылған геометриямен ұзын өлшемді металл кескіш машинаның құнын анықтауға бағытталған экономикалық есептеу жүргізілді. Өнім бірлігінің өзіндік құнына талдау жүргізілді (оңтайландырылған геометриясы бар полимербетоннан жасалған металл кесетін станоктың ұзын өлшемді станинасы), ұсынылған өндіріс әдісін қолданудың жылдық экономикалық әсерін есептеу жүргізілді..

*Кілтті сөздер:* МКС, СЭЭ, статистикалық талдау, өнімнің өзіндік құны, экономикалық есептеу.

*\*А. С. Берз<sup>1</sup>, \*О. А. Нуржанова<sup>2</sup>, О. М. Жаркевич<sup>3</sup>, А. А. Берз<sup>4</sup>*

Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда

Поступило в редакцию 30.07.24.

Поступило с исправлениями 30.07.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СТАНИНЫ МРС

В данной статье представлен выбор параметров оптимизации геометрии станины длинномерного металлорежущего станка (МРС), была задана задача проектирования и граничные условия. Спроектированы пять различных геометрий для дальнейшего проведения математического анализа, отвечающие требованиям поставленной задачи. Выполнен статический

*анализ математической модели корпусов станин методом конечных элементов (МКЭ) инструментом BETA CAE System, ABAQUS, который показал, что с применением ребер жесткости в виде двух спиралей с переменным шагом и трех полых труб, а также изменение конструкции в месте соединения опоры балки на тумбы длинномерной станины металлорежущего станка были снижены напряжения, которые возникали в этих местах при угле равном 90°. Геометрии были выбраны таким образом чтобы была возможность снизить напряжения возникающие в месте резания, уменьшить прогиб, увеличить жесткость конструкции. Проведен экономический расчет, направленный на определение себестоимости длинномерного металлорежущего станка с предлагаемой геометрией. Проведен анализ себестоимости единицы продукта (длинномерной станины металлорежущего станка из полимербетона с оптимизированной геометрией), выполнен расчет годового экономического эффекта от использования предлагаемого метода изготовления.*

*Ключевые слова:* МРС, МКЭ, статистический анализ, себестоимость изделия, экономический расчет.

<https://doi.org/10.48081/CLSC9327>

\***A. S. Ibraim<sup>1</sup>, B. N. Absadykov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

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

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

## **PRINTING A «BRACKET» TYPE PART FOR AN ENERGY-EFFICIENT CAR**

*Additive technologies play an important role in modern automotive design and manufacturing, with their applications expanding every year. Originally used primarily for prototyping and mock-up production, 3D printing is now increasingly being used to manufacture key automotive components, with some companies offering fully 3D printed vehicles.*

*This article analyzes the possibilities of printing load-bearing structures and the design of a key element - the electric motor mounting bracket for the TOQ car prototype. TOQ Prototype EV is an energy-efficient electric vehicle prototype being developed by the SU Racing Team from Satbayev University. The goal of the project is to create an ultra-light, durable, energy-efficient prototype vehicle with a long range of 1 kWh of energy. The use of new materials and additive technologies opens up the possibility of creating a variety of combinations, both for the production of parts with increased strength and for the use of advanced materials in the interior of the cabin.*

*The process of prototyping an energy-efficient electric vehicle using additive manufacturing illustrates an innovative approach to improving energy efficiency and reducing energy consumption. This article details the process of designing an electric motor bracket using generative design and additive manufacturing. The study aims to evaluate the feasibility of 3D printing the load-bearing and critical elements of an electric vehicle prototype, as well as to simulate the loads when operating an electric motor with a peak power of 2 kW.*

*Keywords: Mechanical engineering, automotive industry, additive manufacturing, 3D printing, industry 4.0, racing car, energy efficiency.*

### **Introduction**

Additive technologies, also known as 3D printing, are increasingly used in the automotive industry. These innovative methods enable the creation of complex parts and components that traditional manufacturing processes cannot provide. With their help, manufacturers can develop prototypes and test them in real conditions much faster and cheaper. This reduces the development time for new models and improves the quality of the final product. In addition, additive technologies contribute to the creation of

lighter and stronger parts, which is especially important for increasing fuel efficiency and reducing emissions [1-3].

An important advantage is the ability to produce customized components adapted to specific customer requirements or specific operating conditions. This opens up new prospects for car customization and personalization. Additive technologies also reduce waste and material consumption, making production more environmentally sustainable [4]. In motorsport, materials such as titanium and composites are already being actively used to create highly efficient and reliable products. Ultimately, additive technologies can significantly improve the competitiveness of manufacturers by offering new levels of productivity and innovation [5, 6].

Printing structural elements

One of the machines with printed power elements is the Czinger 21C from Czinger. Vehicles Inc. Divergent's innovative adaptive manufacturing system significantly automates the design and development of most components for the 21C. Engineers enter into the computer the required attributes and constraints for each component, such as weight, method of connection to other parts, load capacity, and manufacturing cost. Artificial intelligence (AI) software then generates the optimal design, running thousands of simulations to improve the shape and design of the part, making it as strong and efficient as possible [7]. Figure 1 shows the load-bearing elements: carbon monocoque, printed subframes and pillars.

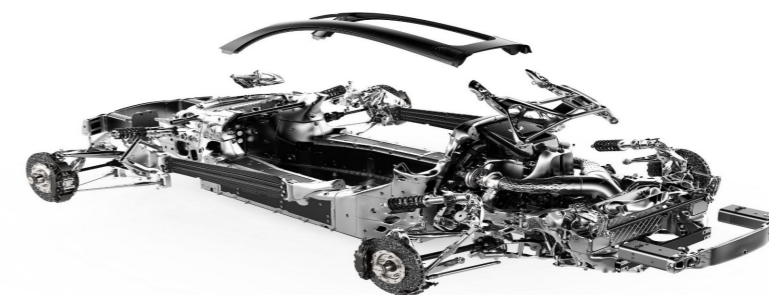


Figure 1 – Czinger 21 C chassis

Topology optimization is a design method that uses mathematical algorithms to optimize the distribution of material in an object, making it as efficient as possible in terms of weight and strength. In this process, engineers specify design goals, such as minimizing weight or maximizing stiffness, and impose constraints, including loads and fastening conditions. The software analyzes the model and determines how to redistribute the material to achieve optimal performance.

In the automotive industry, topology optimization allows the creation of components with unique, organic shapes that cannot be achieved using traditional methods. This leads to the development of lightweight and strong parts such as control arms or chassis

frames. The process typically involves problem definition, model creation, analysis and optimization, and then post-processing to ensure manufacturability.

Topology optimization is especially effective when combined with additive technologies such as 3D printing, allowing the production of complex structures that are difficult or impossible to create using traditional methods. Czinger uses this approach to develop components for the 21C, reducing development time, reducing weight and increasing component strength, demonstrating enormous potential for innovation in the automotive industry.

After developing an optimized part design, it is produced on one of the world's largest 3D printers, equipped with 12 lasers, which significantly speeds up the printing process [8]. Artificial intelligence also optimizes the production process, minimizing metal waste. Divergent has developed a unique aluminum alloy for use in its printers. Currently, the only elements that are not 3D printed are the carbon fiber body panels, wheels, leather and fabric interior components, suspension and drivetrain. However, the company is working on adapting many of these parts for 3D printing [9].

Divergent technology has also accelerated the improvement process for the 21C. It takes minimal time to develop, improve and print a new part, whereas previously this process took several days. If engineers come up with an idea for improvement, they simply instruct the AI to create the optimal solution, print it and install it on the car. This is the tenth iteration of the 21C since it was first unveiled in 2020, and the Company will undoubtedly continue to improve it until mass production begins.

One of the most important features is the assembly method. Because even the largest 3D printers are limited in the size of the printed objects, parts are manufactured individually and then assembled into finished components. Czinger uses heavy-duty adhesives and DAPS (The Divergent) bolting. The Adaptive Production System also offers innovative ways to attach parts that do not require special brackets or mounting points because each part is designed to integrate seamlessly with others. [10]

Instead of a traditional assembly line, Czinger uses a group of robots arranged in a circular pattern. One robot holds the component while the others apply glue and join the parts together. Assembling, for example, a car subframe takes only a few minutes. With AI optimizing the process and eliminating the need for molds, dies or special fixtures, robots can flexibly move on to the next task with minimal downtime. Figure 2 shows a motor mount assembled from several parts. [11]

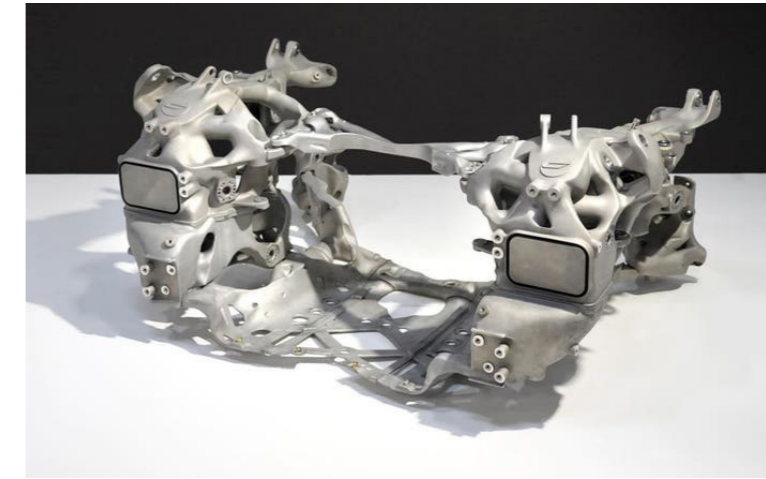


Figure 2 – Printed parts of the Czinger motor mount C 21

#### Production of prototype car components

TOQ electric vehicle prototype is a prototype of an energy efficient vehicle with low energy consumption. The project to create a car with high economical and energy efficient characteristics was created at Satbayev University. The main goal of this project is to build a lightweight and durable car - a prototype car. The machine uses electricity as the main power source - 36 V. This machine uses a 36 V BLDC electric motor with 5000 rpm at peak and a maximum power of 2000 W (BLDC - brushless brushless motor). The car is a 3-wheeled vehicle - two wheels in front, one driving in the back. It consists of 6 modular panels, fastened together with rivets to the monocoque, the supporting structure of the entire machine. The monocoque is an elliptical shape made of composite materials, carbon fiber reinforced with Soric mesh S.F. Two frames are attached to the monocoque: in front there is a structure holding the wheels and a turning mechanism, made of aluminum; At the back is an aluminum frame - a structure that secures the rear wheel and motor along with the gearbox. The gearbox is used double: the first is a chain, the second is a gear. The gear ratio is 1 to 3, the chain part is 1 to 4, with a total gear ratio of 1 to 16. One of the main objectives of this prototype is a high range per kilowatt of electric current. At the moment, with a mass of 45 kg, the range is 261 km.

This study explores the feasibility of printing a four-bearing electric motor main bracket for primary attachment to a vehicle frame. A special feature of the bracket is its use as a gearbox housing for fixing the gears of a reduction gearbox.

When using a bracket made using conventional laser cutting technology, you need at least 4 different sheets with laser cutting and separate production of supports on a lathe and then welding them. However, when printing this model on a 3D printer, the number of operations to create the part is reduced. Optimized bracket model shown in figure 3.



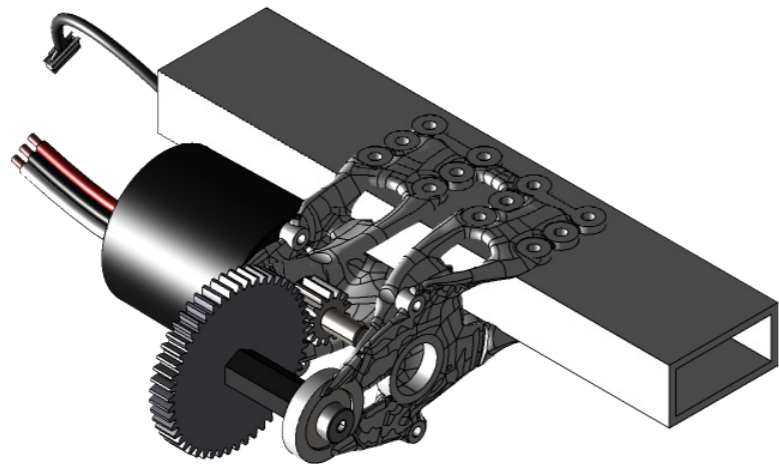


Figure 3 – Bracket model

To optimize the mass of the printed part, one of the types of topological optimization from Autodesk was used – Generative design [12]. Generative design can customize a lightweight part to fit fasteners and loads using artificial intelligence to quickly compile load results. Generative design is applied on top of the finished model, changing its density and creating special holes, which gives the product a specific design. Depending on the load on the part, its weight can be reduced to 10–20 % of the initial one, making it possible to obtain ultra-light and precise parts. This technology is used by various automobile companies to lighten the weight of the car; for example, General was one of the first to use this technology Motors [13]. In this case, the mass of the machine is 45 kg, and every gram plays a big role. Generative design is suitable for laser printing technologies such as SLS , SLM , DMLS , which can print metal parts and 3D Binder printing Jet - injection of a binder into powder, which can create a sand matrix for casting metal of complex shapes without loss of quality ( SLS - Selective Laser Sintering , SLM - Selective Laser Melting , DMLS - Direct metal laser sintering [14,15]

Figure 4 shows a bracket that was laser cut from sheet metal and arc welded. The weight of this bracket is 365 g without welds and about 450 g with seams.

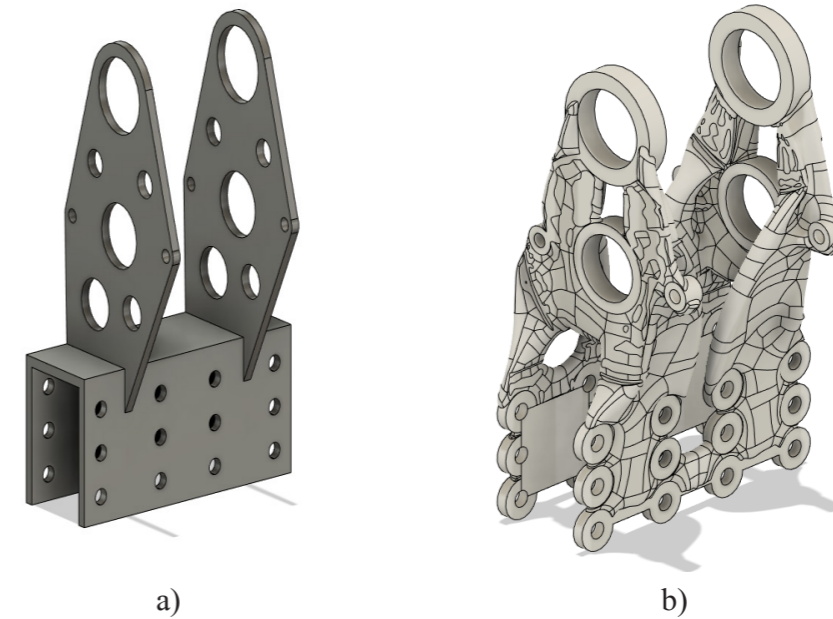


Figure 4 – Motor mounting brackets: a) Sheet metal – laser machine with numerical control; b) Generative design – 3D printing

Figure 5 shows that the bracket is attached to a profile aluminum pipe and whole monocoque with aluminum wheel frame. Figure 6 shows generatively designed bracket mounting to aluminum pipe that connects to main frame. This solution allows you not to take upside space, freeing it up for electrical wiring. Thanks to the generative design, the mount weighs only 165 g. Weight of the detail was calculated by Fusion 360.

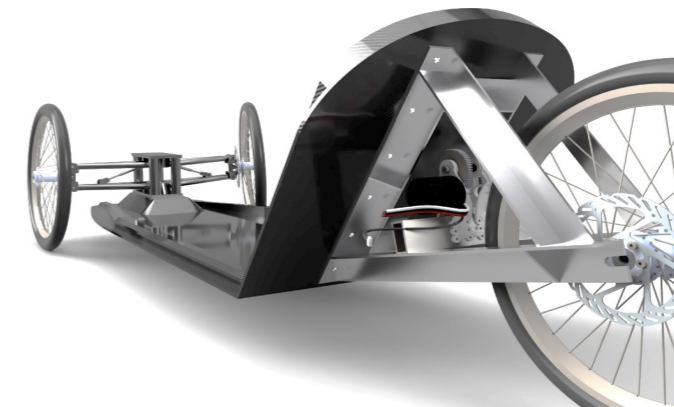


Figure 5 – General plan of the frame and monocoque of the car

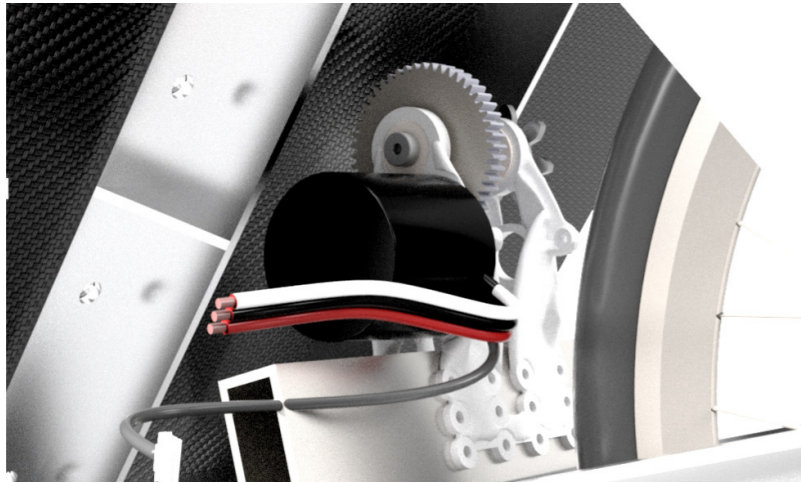


Figure 6 – Fragment of the rear frame assembly

Figure 7 shows a load simulation of 24 Nm of torque at the primary location of rotation of the electric motor gear bearings. The electric motor produces 2 Nm of torque, after the first gearbox the torque increases to 6 Nm , and after the second – to 24 Nm . The maximum load on the bearing mounting points is 24 Nm . For the simulation, the material selected is available for 3D printing - titanium alloy Titanium 6 Al -5 V. Load simulation was carried out in Fusion 360. This figure shows the displacement of the fastening under load, the peak of which is  $4.12 \cdot 10^{-5}$  mm. Nearby are the minimum and maximum load locations and torque pressure readings on them: 0.507 MPa - maximum pressure,  $1.752 \cdot 10^{-7}$  MPa – minimum pressure. These results show that shifts during operation of the electric motor at maximum loads are minimal. This bracket is not inferior in strength to a bracket made using conventional technology using mechanical processing.

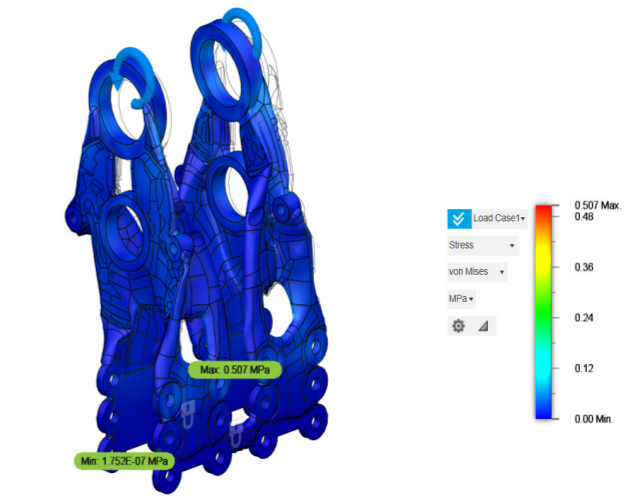
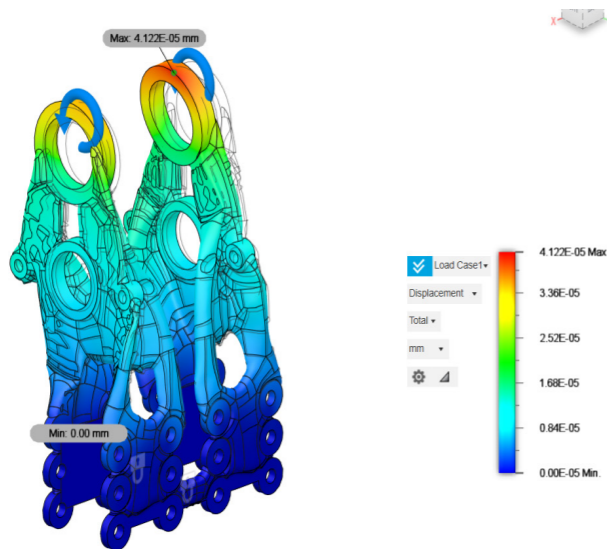
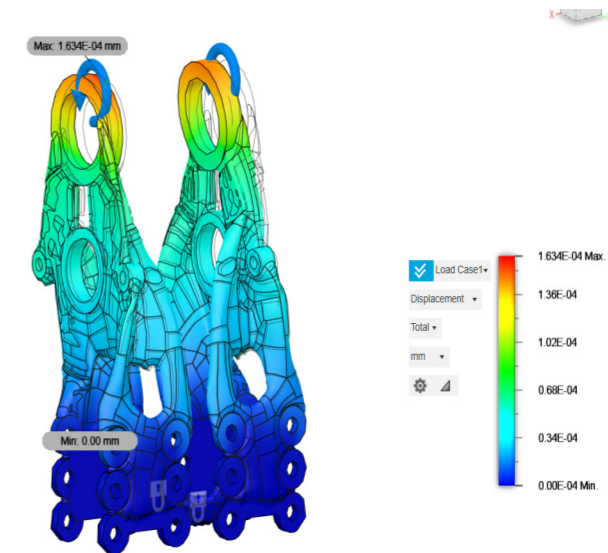


Figure 7 – Simulation of load torque 24 Nm

Figure 8 shows an analysis of the same titanium Titanium 6 Al -5 V , but under a heavy load: 100 Nm of torque. The maximum shift increased to  $1.634 \cdot 10^{-4}$  mm. Next to it is an analysis of the minimum and maximum load points and the torque pressure readings on them: maximum pressure - 0.907 MPa , minimum pressure -  $7.404 \cdot 10^{-7}$  MPa . An increase in indicators is observed: with an increase in torque load by 4.26 times, the shear increased by 3.96 times, and the maximum pressure by 1.789 times. This shows that this printed titanium bracket has a large margin of safety.





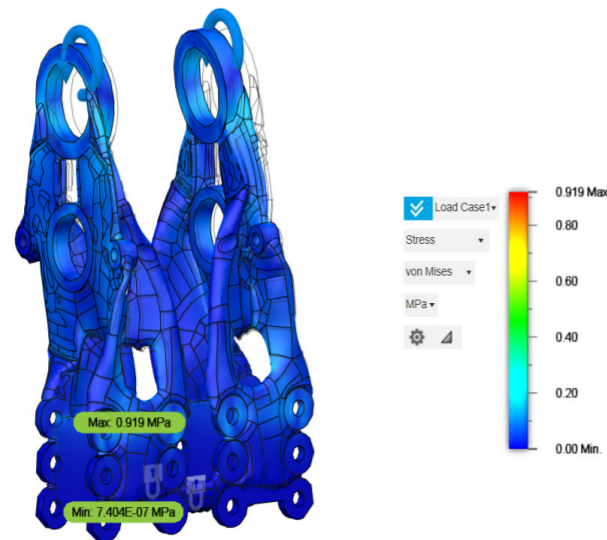


Figure 8 – Simulation of a load torque of 100 Nm

### Results and discussion

Additive manufacturing can significantly facilitate the production of complex parts produced on traditional metal-cutting equipment. At the same time, the technology makes it possible to produce complex matrices for pouring metal – Binder jet . SLS , SLM , DMLS technologies are best suited for the production of metal power products . In this case, the “bracket” part without a commutator electric motor will be printed using the SLM method from titanium. Titanium is widely used in additive manufacturing in a variety of high-performance sectors, including aerospace, medical implants and surgical instruments, sports cars, bicycle frames, etc. Titanium and its alloys are highly valued for their exceptional mechanical strength, high strength-to-weight ratio, and excellent corrosion resistance to compared to stainless steels. Generative design reduces the weight of the product while maintaining its strength, thereby realizing savings in every component of the vehicle. The car bracket shows that, given the correct correct 3D model, generative design allows you to obtain a product with low mass, without loss of strength. Topology optimization is widely used in aviation, rocketry and automotive manufacturing, opening up new possibilities for design and engineering. The result of this analysis shows that a model designed for a load of 24 Nm can, without much risk, withstand a load 4 times greater - 100 Nm . At the same time, the weight of the product is also reduced by almost 3 times compared to the mount obtained using CNC laser equipment from sheet steel 3 mm thick and weighing 450 g versus 165 g. This mount will be used to create a highly energy-efficient electric car TOQ Prototype .

### Conclusion

The forecast for the development of additive technologies in the automotive industry promises profound changes. These technologies represent a promising direction that can revolutionize the design, production and operation of automobiles. They provide the ability to create individually customized parts and components, which improves

the adaptability of vehicles to different needs and operating conditions. Additive technologies can also significantly reduce the weight and increase the strength of parts, leading to more efficient and environmentally friendly vehicles. In addition, these innovations reduce the time and cost of producing new models, allowing for greater flexibility and faster response to market demands and design changes. Overall, additive manufacturing in the automotive industry represents a key enabler for achieving new levels of innovation, quality and competitiveness in the industry. The use of generative design and topology optimization allows saving in the weight and dimensions of the manufactured part. Using the TOQ car as an example prototype shows that this technology helps to significantly reduce weight and optimize loads. The mass of the printed product is 165 g, which allows, when replacing all metal structural power elements with printed elements, to achieve significant savings in product weight, about 2.7 times. As shown by the force analysis, the printed model is able to absorb a large load and withstand 4 times the load in torque. The printing material is also one of the important components - titanium is very widely used in additive manufacturing. As a result, it is possible to achieve weight savings in the final product, which leads to a reduction in the load on the wheels, increasing the efficiency of the vehicle.

### REFERENCES

- 1 Automotive 3D Printing Trends and Applications. – [Electronic resource]. – <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-3d-printing-market-250218997.html>
- 2 L. Lu, J. Fuh, Y. Wong. Laser Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping, Kluwer Publishers, Dordrecht, 2001.
- 3 I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker. Additive Manufacturing Technologies, Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2010.
- 4 K. V. Wong, A. Hernandez. A Review of Additive Manufacturing, ISRN Mechanical Engineering. – 2012. – <https://doi.org/10.5402/2012/208760>.
- 5 W. Cao, Y. Miyamoto. Direct Slicing from AutoCAD Solid Models for Rapid Prototyping, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 21/10. – 2003. – P. 739–742.
- 6 LA Dobrzański, A. Ahtelik -Franczak, M. Król. Computer aided design in Selective Laser Sintering (SLS) – application in medicine, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 60/2. – 2013. – P. 66–75.
- 7 How 3D Printing is Transforming the Automotive Industry. – [Electronic resource]. – <https://geomiq.com/blog/top-5-automotive-industry-innovations-and-3d-printing-applications-in-2021/>
- 8 Dirk Schuhmann, Christopher Rockinger, Markus Merkel and David K. Harrison. A Study on Additive Manufacturing for Electromobility, World Electric Vehicle Journal, 13 August 2022.

9 **Jeff Kerns**. Metal AM in automotive: How the Czinger 21C is redefining next-generation car manufacturing. – [Electronic resource]. – [Electronic resource]. – <https://www.metal-am.com/articles/metal-3d-printing-in-automotive-how-the-czinger-21c-is-redefining-next-generation-car-manufacturing/>

10 **Lawrence Butcher**. Tech Insider: Czinger 21C additive manufactured transmission. – [Electronic resource]. – <https://www.pmw-magazine.com/features/tech-insider-czinger-21c-additive-manufactured-transmission.html>

11 **Daniel Golson**. Czinger 21C First Ride Review: 3D-Printed Absurdity. – [Electronic resource]. – <https://www.cnet.com/roadshow/news/czinger-21c-hypercar-first-ride-review-3d-printed-divergent-manufacturing/>

12 Generative Design. – [Electronic resource]. – <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>

13 General Motors - Driving a lighter, more efficient future of automotive part design. – [Electronic resource]. – <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design>

14 What is Binder Jetting. – [Electronic resource]. – <https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>

15 **D. Srinivasan, M. Meignanamoorthy, M. Ravichandran, V. Mohanavel, S. V. Alagarsamy, C. Chanakyan, S. Sakthivelu, Alagar Karthick, T. Ram Prabhu, S. Rajkumar**. 3D Printing Manufacturing Techniques, Materials, and Applications: An Overview, *Advances in Materials Science and Engineering*, 10 December 2021.

Received 13.08.24.

Received in revised form 13.08.24.

Accepted for publication 11.09.24.

**\*Ә. С. Ибраим, Б. Н. Абсадыков**

Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

13.08.24 ж. баспаға түсті.

13.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

11.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДІ БОЛИДКЕ АРНАЛҒАН «КРОНШТЕЙН» ТҮРІНДЕГІ БӨЛІКТІ БАСЫП ШЫҒАРУ

*Аддитивті технологиялар автомобильдердің заманауи дизайны мен өндірісінде маңызды рөл атқарады, олардың қолданылуының жыл сайынғы кеңейінін көрсетеді. Бастапқыда негізінен прототиптер мен макеттер жасау үшін пайдаланылған 3D басып шығару қазір автомобильдердің негізгі компоненттерін жасау үшін көбірек қолданылуда, кейбір компаниялар 3D басып шығарылған көліктерді ұсынады.*

*Бұл мақалада тірек конструкцияларын басып шығару мүмкіндіктері және негізгі элемент - тоқ болидінің прототипі үшін электр қозғалтқышын бекіту кронштейнінің дизайны талданады. TOQ Prototype EV-Satbayev University компаниясының SU Racing Team әзірлеген энергияны үнемдейтін*

*электромобиль прототипі. Жобаның мақсаты-1 кВсағ энергияға ұзақ қашықтықтағы ультра жеңіл, берік, энергияны үнемдейтін автомобиль прототипін жасау. Жаңа материалдар мен аддитивті технологияларды қолдану беріктігі жоғары бөлшектерді өндіру үшін де, салон интерьеріндегі прогрессивті материалдарды пайдалану үшін де әртүрлі комбинацияларды жасауға мүмкіндік береді.*

*Аддитивті технологияларды қолдана отырып, энергияны үнемдейтін электромобильдің прототипін жасау процесі энергия тиімділігін арттыруға және энергияны тұтынуды азайтуға инновациялық тәсілді көрсетеді. Мақалада генеративті дизайн мен қосымша өндірісті қолдана отырып, электр қозғалтқышының кронштейнін жобалау процесі егжей-тегжейлі сипатталған. Зерттеу электромобиль прототипінің тасымалдаушы және маңызды элементтерін 3D басып шығару мүмкіндігін бағалауға, сондай-ақ ең жоғары қуаты 2 кВт электр қозғалтқышының жұмысындағы жүктемелерді модельдеуге бағытталған.*

*Кілтті сөздер: машинажасау, автомобильжасау, аддитивті өндіріс, 3D басып шығару, индустрия 4.0, жарыс болиді, энергия тиімділігі.*

**\*А. С. Ибраим, Б. Н. Абсадыков**

Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 13.08.24.

Поступило с исправлениями 13.08.24.

Принято в печать 11.09.2024.

#### ПЕЧАТЬ ДЕТАЛИ ТИПА «КРОНШТЕЙН» ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО БОЛИДА

*Аддитивные технологии играют важную роль в современном проектировании и производстве автомобилей, демонстрируя ежегодное расширение своего применения. Первоначально используемая преимущественно для создания прототипов и макетов, 3D-печать теперь все чаще применяется для изготовления ключевых компонентов автомобилей, причем некоторые компании предлагают полностью напечатанные на 3D-принтере автомобили.*

*В данной статье анализируются возможности печати несущих конструкций и проектирование ключевого элемента - кронштейна крепления электромотора для прототипа болида TOQ. TOQ Prototype EV представляет собой энергоэффективный прототип электромобиля, разрабатываемый командой SU Racing Team из Satbayev University. Целью проекта является создание сверхлегкого, прочного, энергоэффективного прототипа автомобиля с большой дальностью хода на 1 кВтч энергии. Применение новых материалов и аддитивных технологий открывают возможности для создания разнообразных комбинаций, как для производства деталей с повышенной прочностью, так и для использования прогрессивных материалов в интерьере салона.*

*Процесс создания прототипа энергоэффективного электромобиля с применением аддитивных технологий иллюстрирует инновационный подход к повышению энергоэффективности и снижению энергопотребления. В статье детально описан процесс проектирования кронштейна электромотора*

с использованием генеративного дизайна и аддитивного производства. Исследование направлено на оценку возможности 3D-печати несущих и критически важных элементов прототипа электромобиля, а также на моделирование нагрузок при работе электромотора с пиковой мощностью 2 кВт.

Ключевые слова: машиностроение, автомобилестроение, аддитивное производство, 3D-печать, индустрия 4.0, гоночный болид, энергоэффективность.

SRSTI 55.19.03

<https://doi.org/10.48081/GDYK4546>

**A. Zh. Kassenov<sup>1</sup>, \* A. Zh. Taskarina<sup>2</sup>, A. V. Mazdubay<sup>3</sup>,  
K. K. Abishev<sup>4</sup>, A. D. Suleimenov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

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

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-1716>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

### **PROSPECTS FOR THE USE OF COMBINED METAL-CUTTING TOOLS FOR THREADING**

*This article examines the use of combined metal-cutting tools for performing threading operations. The main purpose of the work is to analyze the effectiveness of using these tools in terms of improving accuracy, productivity and cost-effectiveness of processing.*

*Combined tools show significant advantages over traditional methods, including reduced processing time, improved accuracy characteristics and reduced equipment maintenance costs. The design features and principles of operation of boring threaded cutters and threaded combs, as well as their impact on production processes and the quality of final products, are considered.*

*Threading with the use of combined metal cutting tools allows you to integrate several technological operations in one cycle, which helps to increase efficiency and reduce basing errors.*

*Experimental data confirm that the use of comb cutters contributes to a significant increase in processing accuracy and productivity, as well as reducing the time required to perform operations. Comparative analysis has shown that combined tools provide a higher quality of the thread being cut and an extended service life compared to traditional processing methods.*

*Keywords: combined metalcutting tools, threading tools, boring threaded cutters, threaded combs, threading, productivity, processing quality.*

#### **Introduction**

Threading is an operation to process a rod or hole in a part using a threading tool. There are triangular, rectangular and other carvings. Threading can be right or left, depending on the direction of the thread turn. The main elements of the thread include the pitch and angle of the thread profile. The thread profile depends on the shape of the cutting part of the tool with which the thread is cut. As a rule, three thread systems are used – metric, inch and pipe [1–3].

The threading process is an important operation in mechanical engineering, providing the creation of joints used in various structures and products. In recent years,



combined metal cutting tools have been actively used to increase production efficiency, which allow combining several operations, such as drilling, shaped cutting and threading, into one tool. This solution significantly reduces the total processing time, reduces the number of tools used and reduces equipment wear.

Combined metal cutting tools are designed to perform several technological operations in one processing cycle. Their use is especially important in mass and mass production, where saving time on changeover and tool change plays an important role. The use of such tools makes it possible to minimize errors during the transition from one operation to another and increase the accuracy of the final product [4–8].

Combined threading tools often include the following elements:

- A drilling element that performs pre-drilling of a hole.
- Chamfering element that allows you to remove the chamfer to prepare for threading.
- A threading element that performs a thread on a pre-prepared part section.

The design of such tools may vary depending on the complexity of the operations performed and the requirements for processing the material.

The main advantages of using combined threading tools include:

- Reduction of the number of operations: several operations are combined in one tool, which reduces the total processing time;
- Improved accuracy: by reducing the number of tool changes, the number of possible errors and errors is reduced;
- Reduced tool wear: optimal load distribution between the tool elements allows you to extend its service life;
- Savings on auxiliary operations: reducing the time to change tools and reconfigure equipment contributes to an increase in overall production productivity;
- Reduction of the cost of processing: fewer tools and shorter processing time directly affect the reduction of production costs.

Combined threading tools can have different designs, depending on the type of thread, the material of the workpiece and the requirements for surface quality. In general, a combined tool may consist of several cutting elements arranged sequentially on one housing.

The main types of structures:

- Tools for threading with pre-drilling and countersinking: this type of tools is used for threading through and blind holes. The combination of a drill and a threading tool allows you to significantly speed up the processing process;
- Threading taps with drilling function allow you to drill a hole first in one processing cycle, and then cut the thread.
- Drilling and threading cutters are used on multifunctional CNC machines, allowing simultaneous milling and threading.

Threading is a metalworking process that creates a spiral profile on the surface of a part. The process includes cutting or forming threads, as well as removing chips and other related materials. The key factors affecting the quality of threading are:

– Tool materials. High-quality materials such as carbide carbide and ceramics ensure a long tool life and high machining accuracy.

– The geometry of the cutter. The shapes and angles of the cutters affect the cutting process and the quality of the thread.

– Cutting speed and feed. Optimal process parameters contribute to better thread quality and minimize defects.

The methods of threading, the threading tools used in this case, and the threading machines are very diverse.

The formation of threads by cutting and milling methods is carried out: for external threads – with threaded cutters, screw cutters, comb and disc threaded cutters, round dies; for internal threads – with cutters, taps and comb cutters. Vortex heads are used for cutting single- and multi-entry screws and worms in large-scale production conditions. The method of rolling external threads with flat dies is used on thread rolling machines and thread rolling machines. The method of rolling a thread with knurled rollers is used to form metric threads with a diameter of 3 ... 68 mm in increments of  $p = 0.5 \dots 6.0$  mm. Each of the methods has its own specific advantages and is used for threading of various types [9–11].

Comb cutters are combined tools designed for threading using multiple teeth, which ensure uniform load distribution and improved processing quality. These tools allow you to cut threads on large diameters and in difficult conditions, improving the accuracy and productivity of the process.

#### **Materials and methods**

The application of well-known and proven research methods in the field of cutting theory, principles of mechanical engineering, theoretical mechanics, design of metal-cutting tools, as well as methods of mathematical modeling and optimization of parameters, is aimed at achieving the required level of processing quality. Special attention is paid to the consideration of experimental data concerning the influence of design parameters of resource- and energy-saving metal-cutting tools. These studies are based on indicators of processing accuracy, quality level, surface roughness, as well as the type of production.

#### **Results and discussions**

The experimental results showed that the combined tools provide a significant reduction in processing time compared to traditional methods. The time to complete a full cycle of threading and additional operations decreased by an average of 20–30 %. This is due to the lack of need for additional replacement of tools and reconfiguration of equipment.

The quality of the carving obtained using combined tools turned out to be comparable to the quality achieved using traditional methods. However, combined tools have shown more stable results when processing complex materials such as stainless steel. The precision of the cut thread was in accordance with ISO standards.

In terms of cost-effectiveness, combined tools have shown the best results. The cost and operation of combined tools turned out to be 15-20 % lower compared to traditional

cutters. This is due to a reduction in the cost of purchasing and replacing tools, as well as a reduction in time for setting up and reconfiguring equipment.

To improve the accuracy of the thread being cut, a combined metal-cutting tool - cutter-comb has been developed, which combines two or three hole preparation operations into one operation and reduces processing time.

Figure 1 shows the scheme of threading with a combined two-stage tool: a boring cutter-comb [12]. The boring cutter is the first stage of the tool, and the threading comb is the second stage of a complex combined tool. In order to obtain a high-quality cylindrical hole when working with an axial feed boring cutter, it is necessary that after the tip of the cutter there is a stripping section with a width  $b$  equal to half the pitch of the thread being cut or slightly larger. In section  $b$ , the main angle in the plan is zero. In this case, the cutter will bore a cylindrical hole, and with the size of this section, significantly less than half the pitch of the thread being cut, a combination of screw surfaces of the threaded type with the profile of the boring cutter will be cut. In the practice of work, it is often necessary to have higher accuracy than standard traditional metal cutting tools can provide.

Design parameters of a metal-cutting tool, a workpiece: 1 – a workpiece; 2 – a metal-cutting tool;  $\omega_0$  – rotational movement of the workpiece or tool;  $\epsilon_{gr}$  – the angle of the profile of the thread being cut, equal to  $60^\circ$ ;  $S_0$  – axial feed per revolution, equal to the pitch of the thread being cut;  $D_p$  – the outer diameter of the thread being cut, mm;  $L_z$  – the length of the workpiece,  $b$  is the length of the stripping section of the cutting edge of the boring cutter with the main angle in the plan equal to zero;  $\phi_p$  is the main angle in the plan of the boring cutter;  $\phi_{1p}$  is the auxiliary angle in the plan of the cutter;  $H_p$  is the height of the profile of the thread being cut.

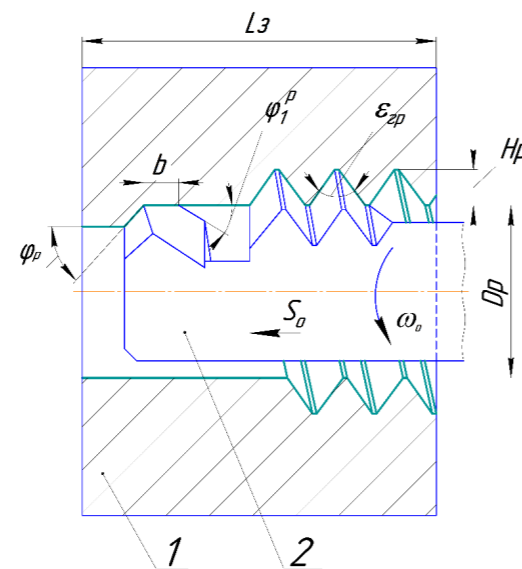


Figure 1 – Diagram of internal threading with a combined tool with a comb cutter

Figure 2 shows a diagram characterizing the method of cutting an internal thread with a boring tool-comb with a preceding boring hole with a boring tool [12] with a section of the cutting edge width  $b$  with a main angle in terms of  $\phi = 0$  and with a guide between the cutter and the comb. The addition of a guide rail turned a two-stage tool into a three-stage one. The guide allows you to increase the accuracy of the thread being cut, because it reduces or prevents the tool from beating relative to the hole of the workpiece. Thus, with the help of a guide, the multifunctional first and third stages of the combined tool are better centered relative to the axis, which increases the accuracy of the thread being cut.

The design and geometric parameters of the tool and the workpiece in Figure 2:  $D_p$  – the outer diameter of the guide, mm;  $H_p$  – the length of the guide.

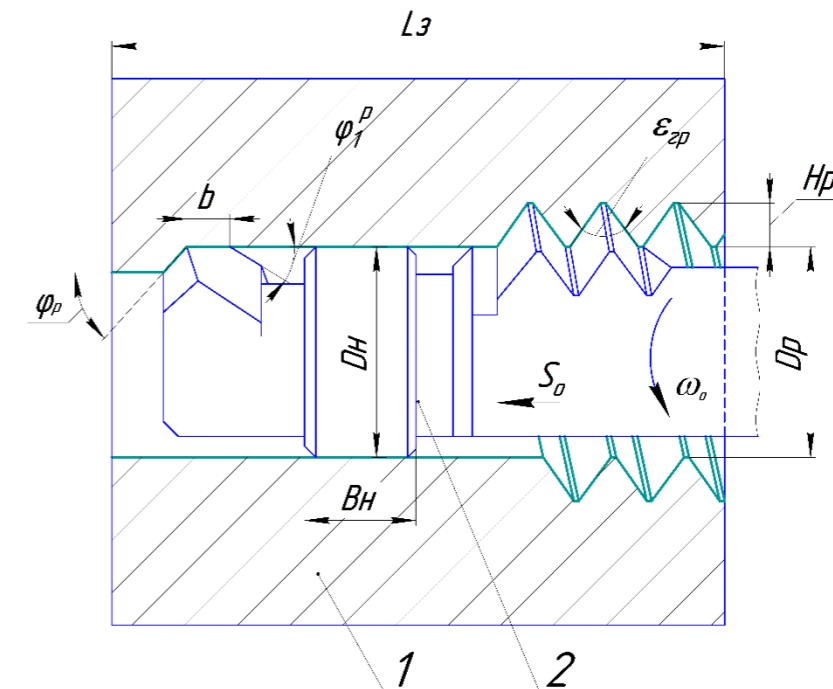


Figure 2 – Chart of internal threading with a combined tool with a comb cutter with a guide

High-precision threading schemes with more productive combined metal-cutting tools in Figures 1 and 2 can be implemented provided that the boring cutter used in them is changed so that at higher axial feeds equal to the pitch of the thread being cut, not an ordinary cutter of the type of an ordinary turning pass-through will be used, but a cutter with a stripping section, on in which the auxiliary angle in the plan is zero in the area from the top to the size of 4...5 axial feeds. When this condition is met, the boring cutter with a stripping section on the auxiliary cutting edge in the diagrams shown in Figures 1 and 2 increases the accuracy of the drilled hole before threading.



**Information about financing**

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (IRN BR24993003).

**Conclusions**

Combined metal cutting tools are an effective solution for threading, allowing you to significantly increase productivity and processing quality. They provide a reduction in processing time, improved accuracy and lower costs for tools and their maintenance. Modern achievements in the field of metalworking contribute to the further development and improvement of combined tools. The introduction of these tools into production processes opens up new opportunities to increase the competitiveness of enterprises.

## REFERENCES

- 1 **Петров, А. В.** Обзор на существующие конструкции комбинированного инструмента для обработки ступенчатых отверстий // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 4-3(91). – С. 34–39. – <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-3-34-39>.
- 2 **Дудак, Н. С., Итыбаева, Г. Т., Мусина, Ж. К., Касенов, А. Ж.** Обработка отверстий комбинированным инструментом // Наука и техника Казахстана. – 2008. – № 2. – С. 11–19.
- 3 **Шапагатов, С. Р., Иванова, Т. И., Цыплов, Е. А., Новиков, В. А.** Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации) // Форум молодых ученых. – 2018. – № 10(26). – С. 1330–1334.
- 4 **Lee, H.** Modern Techniques in Thread Cutting: A Review // Advances in Manufacturing Technology, 2023– Vol. 31. – № 2. – P. 88–101.
- 5 **Попов, А. П., Свириденко, Д. С., Комаров, Ю. Ю.** Прогресс в применении осевых комбинированных инструментов // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 6(73). – С. 88–101.
- 6 **Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Mardonov, B. T. [et al].** Study of relationship between the processed material hardness and the pretreatment speed // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 3. – P. 122–132. – <https://doi.org/10.48081/ABUL1117>.
- 7 **Kasenov, A.** Precision of hole processing by reamer-broaching // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 1. – P. 28–36. – <https://doi.org/10.48081/MSMF5347>.
- 8 **Brown, J.** Advancements in Combined Cutting Tools for Threading // Journal of Manufacturing Science, 2022. – Vol. 30. – № 1. – P. 55–67.
- 9 **Johnson, K.** The Impact of Combined Tools on Production Efficiency // Journal of Industrial Engineering, 2023. – Vol. 27. – № 4. – P. 102–115.
- 10 **Miller, R.** Recent Advances in Combined Cutting Tools // Journal of Engineering and Technology, 2022. – Vol. 34. – № 3. – P. 45–56.
- 11 **Hernandez, M.** Innovative Solutions in Thread Cutting Technology // International Journal of Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 21. – № 4. – P. 78–89.

12 **Дудак, Н. С., Касенов, А. Ж., Таскарина, А. Ж.** Комбинированные резбонарезные инструменты // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, 19–21 мая 2016 / Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. – Юрга, 2016. – С. 126–128.

## REFERENCES

- 1 **Petrov, A. V.** Obzor na sushchestvuyushchiye konstruksii kombinirovannogo instrumenta dlya obrabotki stupenchatykh otverstiy [Review of existing designs of combined tool for processing stepped holes] // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2024. – № 4–3(91). – С. 34–39. – <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-3-34-39>.
- 2 **Dudak, N. S., Itybayeva, G. T., Musina, Zh. K., Kasenov, A. Zh.** Obrabotka otverstiy kombinirovannym instrumentom [Machining of holes with a combined tool] // Science and technology of Kazakhstan. – 2008. – № 2. – С. 11–19.
- 3 **Shapagatov, S. R., Ivanova, T. I., Tsyplov, Ye. A., Novikov, V. A.** Osevyeye kombinirovannyye instrumenty (rekomentatsii po proyektirovaniyu i ekspluatatsii) [Axial combined tools (recommendations for design and operation)] // Forum of young scientists. – 2018. – № 10(26). – P. 1330–1334.
- 4 **Lee, H.** Modern Techniques in Thread Cutting: A Review // Advances in Manufacturing Technology, 2023. – Vol. 31, № 2. – P. 88–101.
- 5 **Popov, A. P., Sviridenko, D. S., Komarov, Yu. Yu.** Progress v primeneni oseyvkh kombinirovannykh instrumentov [Progress in the application of axial combined tools] // World of Transport]. – 2017. – Т. 15, № 6(73). – С. 88–101.
- 6 **Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Mardonov, B. T. [et al].** Study of relationship between the processed material hardness and the pretreatment speed // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 3. – P. 122–132. – <https://doi.org/10.48081/ABUL1117>.
- 7 **Kasenov, A.** Precision of hole processing by reamer-broaching // Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – № 1. – P. 28–36. – <https://doi.org/10.48081/MSMF5347>.
- 8 **Brown, J.** Advancements in Combined Cutting Tools for Threading // Journal of Manufacturing Science, 2022. – Vol. 30. – № 1. – P. 55–67.
- 9 **Johnson, K.** The Impact of Combined Tools on Production Efficiency // Journal of Industrial Engineering, 2023. – Vol. 27. – № 4. – P. 102–115.
- 10 **Miller, R.** Recent Advances in Combined Cutting Tools // Journal of Engineering and Technology. – 2022. – Vol. 34. – № 3. – P. 45–56.
- 11 **Hernandez, M.** Innovative Solutions in Thread Cutting Technology // International Journal of Mechanical Engineering, 2023. – Vol. 21. – № 4. – P. 78–89.
- 12 **Dudak, N. S., Kasenov, A. Zh., Taskarina, A. Zh.** Kombinirovannyye rez'bonareznyye instrumenty [Combined thread-cutting tools] // Innovatsionnyye tekhnologii v mashinostroyenii : Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-

prakticheskoy konferentsii, 19–21 maya 2016 / Innovative technologies in mechanical engineering: collection of works of the VII International scientific and practical conference, May 19–21, 2016 / Yurga Technological Institute of Tomsk Polytechnic University. – Yurga, 2016. – С. 126–128.

Received 09.09.24.

Received in revised form 09.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, \*А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>, А. В. Маздубай<sup>3</sup>,  
К. К. Абишев<sup>4</sup>, А. Д. Сулейменов<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

09.09.24 ж. баспаға түсті.

09.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **БҰРАНДАНЫ ОЮҒА АРНАЛҒАН ҚҰРАСТЫРЫЛҒАН МЕТАЛКЕСКІШ ҚҰРАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ**

*Бұл мақалада бұрау операцияларын орындау үшін құрастырылған металлкескіш құралдарды пайдалану қарастырылады. Жұмыстың негізгі мақсаты – өңдеудің дәлдігін, өнімділігін және үнемділігін арттыру тұрғысынан осы құралдарды қолданудың тиімділігін талдау.*

*Құрастырылған құралдар дәстүрлі әдістерге қарағанда айтарлықтай артықшылықтарды көрсетеді, соның ішінде өңдеу уақытын қысқарту, дәлдік өнімділігін жақсарту және жабдықтау техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту. Бұрандалы кескіштер мен бұрандалы тарақтардың конструктивті ерекшеліктері мен жұмыс принциптері, сондай-ақ олардың өндірістік процестерге және соңғы өнімнің сапасына әсері қарастырылады.*

*Құрастырылған металлкескіш құралдарды пайдаланып жіппен кесу бірнеше технологиялық операцияларды бір циклде біріктіруге мүмкіндік береді, бұл тиімділікті арттыруға және негіздегі қателіктерді азайтуға көмектеседі.*

*Эксперименттік деректер тарақ кескіштерін қолдану өңдеудің дәлдігі мен өнімділігін едәуір арттыруға, сондай-ақ операцияларды орындау уақытын қысқартуға ықпал ететіндігін растайды. Салыстырмалы талдау көрсеткендей, аралас құралдар дәстүрлі өңдеу әдістерімен салыстырғанда кесілген жіптердің жоғары сапасын және қызмет ету мерзімін ұзартады.*

*Кілтті сөздер: құрастырылған металлкескіш құралдар, бұрандалы кескіш құралдар, бұрандалы кескіштер, бұрандалы тарақтар, бұранданы ою, өнімділік, өңдеу сапасы.*

*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, \*А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>, А. В. Маздубай<sup>3</sup>,  
К. К. Абишев<sup>4</sup>, А. Д. Сулейменов<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 09.09.24.

Поступило с исправлениями 09.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ**

*В данной статье исследуется применение комбинированных металлорежущих инструментов для выполнения операций нарезания резьбы. Основная цель работы заключается в анализе эффективности использования этих инструментов с точки зрения повышения точности, производительности и экономичности обработки.*

*Комбинированные инструменты показывают значительные преимущества по сравнению с традиционными методами, включая сокращение времени обработки, улучшение точностных характеристик и снижение затрат на обслуживание оборудования. Рассмотрены конструктивные особенности и принципы работы расточных резьбовых резцов и резьбовых гребёнок, а также их влияние на производственные процессы и качество конечной продукции.*

*Нарезание резьбы с применением комбинированных металлорежущих инструментов позволяет интегрировать несколько технологических операций в одном цикле, что способствует увеличению эффективности и снижению ошибок при базировании.*

*Экспериментальные данные подтверждают, что применение резцов-гребёнок способствует существенному повышению точности и производительности обработки, а также сокращению времени на выполнение операций. Сравнительный анализ показал, что комбинированные инструменты обеспечивают более высокое качество нарезаемой резьбы и увеличенный срок службы по сравнению с традиционными методами обработки.*

*Ключевые слова: комбинированные металлорежущие инструменты, резьбонарезные инструменты, расточные резьбовые резцы, резьбовые гребёнки, нарезание резьбы, производительность, качество обработки*

\*М. М. Мусаев<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Д. С. Касымбабина<sup>3</sup>,  
Г. Б. Абдугалиева<sup>4</sup>, А. Б. Бобеев<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>Карагандинский технический университет имени

А. Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>2,5</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет  
имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

\*e-mail: [kstu\\_mmm@mail.ru](mailto:kstu_mmm@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9875-8159>

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

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5776-5333>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3469-3901>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1635-767X>

### МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ МАТЕРИАЛА ШИНОПРОБИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НАПЛАВЛЕННЫХ ПРОВОЛОКОЙ ESAB ОК TUBRODUR 35GM

*Проведенные исследования в условиях машиностроительных заводов, где широко используются шинопробивные станки, показали, что существует проблема, связанная с интенсивным износом шинопробивного инструмента. Для решения данной проблемы была предложена наплавка рабочей части шинопробивного инструмента и обеспечить повышения износостойкости. В качестве наплавочного материала выбрана проволока - ESAB ОК Tubrodur 35GM, диаметром 1,6 мм, которая наплавлялась методом механизированной наплавки с применением среды защитных газов.*

*В данной статье приводятся результаты микроструктурного исследования поверхности наплавленного металла газозащитной порошковой проволокой Tubrodur 35 GM. Исследование проведено в рамках выполнения грантовой темы, финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан АР19578884 «Повышение износостойкости и совершенствование конструкции инструмента шинопробивного станка».*

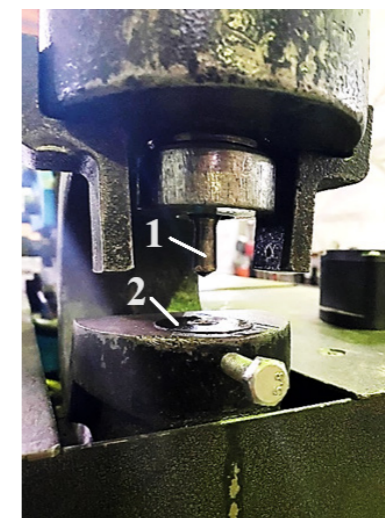
*Результаты микроструктурного исследования показали, что твердость в зоне сплавления (от поверхности зоны сплавления внутрь) колеблется в пределах HV 380 – 342. Структура по всему сечению образца – однородная, состоящая главным образом из квазиэвтектоида перлита – сорбита и окаймляющей зерно – небольшого количества феррита (П=90 %, Ф=10 %), а также состоящая из сорбита закалки и феррита. Выявлено, что на границе основного металла и сварочного шва дисперсность квазиэвтектоида выше, что может говорить о высокой степени переохлаждения, и как следствие, увеличения его дисперсности.*

*Для повышения долговечности и надежности шинопробивного инструмента рекомендуется проведение термической обработки и дальнейшего исследования его микроструктуры и свойств.*

*Ключевые слова: шинопробивной станок, шинопробивной инструмент, наплавка, микроструктура, зона сплавления.*

### Введение

Последние годы на многих машиностроительных предприятиях Республики Казахстан (РК) активно происходит техническое перевооружение производства. Обновляется устаревший станочный парк для механообработки, а также других видов обработки металлов (литье, термообработка, обработка металлов давлением и др.). Импортные станки идут вслед за развитием технологий, они позволяют поддерживать качество при производстве на должном, высоком уровне. Одним, из которых является шинопробивные станки-прессы [1,2]. Эти станки в настоящее время широко используются на таких заводах, как АО «Электромонтаж», ТОО «Астанинский электромеханический завод», ТОО «Завод электротехнического оборудования «KazElectroSystems» (г. Астана, Казахстан), Уральский трансформаторный завод, ТОО «Алматинский электромеханический завод», ТОО «Asia Trafo» - Alageum Electric (г. Шымкент, Казахстан), АО «Кентауский трансформаторный завод – Alageum Electric» (г. Кентау, Казахстан) и др. для пробивки отверстий на трансформаторных шинах. На рисунке 1 показан шинопробивной станок-пресс из серии DMZT-303K.



1 – шина пробивной инструмент; 2 – пуансон

Рисунок 1 – Шинопробивной станок-пресс из серии DMZT-303K

Проведенные исследования в условиях вышеуказанных заводов показали, что шинопробивной инструмент подвергается интенсивному износу, выкрашиванию и сколу. По условиям эксплуатации инструмент-пуансон и матрицы относятся



к тяжело нагруженному инструменту, так как контактируют с прессуемым металлом. Процесс прессования происходит при высоких температурах, давлениях и интенсивном трении. Основной причиной интенсивного износа пробивного инструмента является перегрев, вследствие которого снижается прочность, что, в свою очередь, ведет к деформации. В частности, износ матрицы наступает тогда, когда ее температура при прессовании превышает температуру отпуска, что может привести к ее пластической деформации. Условия эксплуатации инструмента оказывает большое влияние на его стойкость. В большинстве случаев процесс прессования не является плавным, ударные нагрузки на инструмент требуют от материала инструмента высоких пределов ударной вязкости, что бывает трудно совмещать с большой его твердостью. Ударные нагрузки снижают стойкость прессового инструмента [3,4,5]. Резкое снятие давления, которого можно избежать, приводит к поломке инструмента. Длительное пребывание инструмента в зоне высоких температур (850°C для меди и стали 1100°C для стали) резко снижает его стойкость. В связи с этим данный инструмент является сменным и предусматривает собой совершенствования данных конструкций, чтобы увеличить производительность и уменьшить затраты прессового инструмента.

На рисунке 2 показано шина пробивные инструменты.



1 – шина пробивные инструменты различных диаметров; 2 – пуансоны

Рисунок 2 – Шина пробивные инструменты

Для уточнения причины возникновения разрушений в теле пробивного инструмента было выполнено исследование методом конечных элементов, в пакете Deform 3D [6,7].

Результаты моделирования в Deform 3D показали, что на начальных стадиях процесса преобладают сжимающие напряжения и доходят до значения 200 Мпа. В процессе деформирования в результате движения материала к стенкам матрицы напряжения становятся сжимающими. Было установлено, что рост растягивающих

напряжений и увеличение деформаций происходят именно в том месте, где в реальном производстве обнаруживается износ или поломка.

Такое состояние проблемы диктует необходимость разработки технологии повышения износостойкости рабочей части конструкции шинопровивного инструмента и научные исследования, направленные для решения данной проблемы, является актуальной.

При проектировании технологических процессов изготовления ударостойких инструментов особое внимание уделяется обеспечению износостойкости рабочей части инструмента, который подвергается ударным нагрузкам и высокому давлению в зоне контакта с заготовкой. Проведенные исследования показали, что для повышения износостойкости и ударостойкости инструментов и технологической оснастки применяются различные методы и способы [8].

В результате анализа существующих способов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей и инструментов, работающих в тяжелонагруженных термодинамических условиях, а также при высоких контактных и ударных нагрузках было выбрано метод механизированной наплавки с применением среды защитных газов [8].

#### Материалы и методы

Для наплавки заготовленных образцов был выбран метод механизированной наплавки с применением среды защитных газов.

В качестве сварочного материала для осуществления наплавки в среде защитных газов использовался наплавочная порошковая газозащитная сварочная проволока - ESAB OK Tubrodur 35GM, диаметром 1,6 мм.

Процесс наплавки проводился на сварочном полуавтомате ПДГ-252, предназначенный для дуговой сварки плавящимся электродом на постоянном токе в среде защитных газов.

На рисунке 3 показаны используемые материалы и оборудование.



а) б) в) г) д) е)

а – ESAB OK Tubrodur 35GM; б – полуавтомат сварочный ПДГ-252; в – металлографический микроскоп БИОМЕД; г – автоматический станок для шлифования и полирования LABOPOL-5; д – твердомер WILSON VH1150; е – образцы из шинопровивных инструментов

Рисунок 3 – Используемые материалы и оборудование

Измерение твердости наплавленных поверхностей проводилось с использованием оборудования испытательной лаборатории инженерного профиля «Комплексное освоение ресурсов минерального сырья» (ИЛИП «КОРМС») и Международного центра материаловедения КарГУ (см. рис. 3, в,г,д).

Наплавка образцов проводилась в лабораторий института сварки Карагандинского технического университета имени А. Сагинова (КарТУ) (рис.3,в).

На рисунке 4 показаны наплавленные образцы.

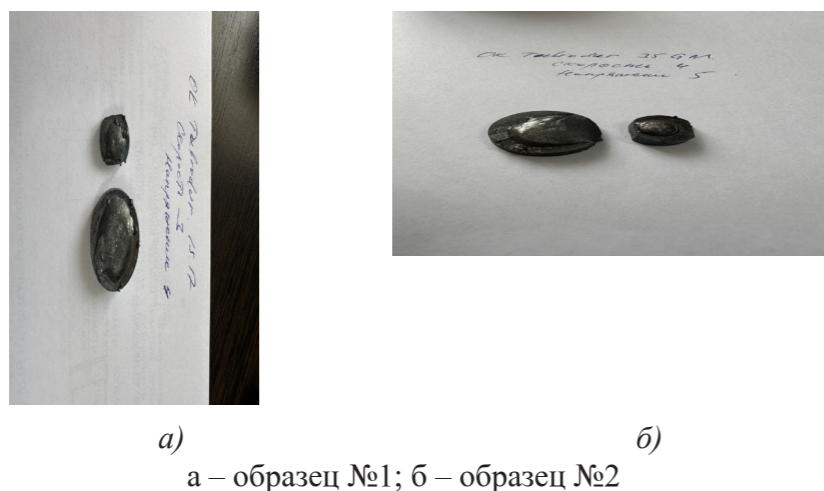


Рисунок 4 – Наплавленные образцы

Для шлифования и полирования образцов был использован автоматический станок LABOPOL-5 (рис.3,г). Процесс шлифовки проводили в четыре этапа: выравнивание, тонкое шлифование, алмазная полировка и оксидная полировка.

Микроструктурный анализ проводили согласно методике [9,10,11] на металлографическом микроскопе БИОМЕД (рис.3,в), замеры твердости на твердомере WILSON VH1150 (рис.3,д).

#### Результаты и обсуждение

Ниже приводится анализ микроструктуры образцов.

Образец 1. Описание микроструктуры:

На рисунке 5 представлена микроструктура с отпечатками твердости поверхности наплавленного металла газозащитной порошковой проволокой Tubrodur 35 GM (100х).

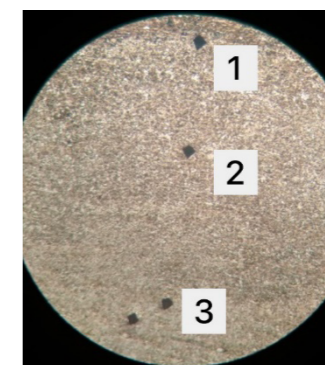


Рисунок 5 – Микроструктура с отпечатками твердости поверхности

Твердость в зоне сплавления (от поверхности зоны сплавления внутрь) (см. рис. 5): точка 1 – HV 380,4; точка 2 – HV 351; точка 3 – HV 342.

Структура по всему сечению образца – однородная, состоящая главным образом из квазиэвтектоида перлита – сорбита и окаймляющей зерно – небольшого количества феррита (П=90 %, Ф=10 %). Квазиэвтектоид имеет нехарактерное игольчатое строение, напоминающий нижний бейнит, так как просматривается игольчатая форма пластины квазиэвтектоида. На границе основного металла и сварочного шва дисперсность квазиэвтектоида выше, что может говорить о высокой степени переохлаждения, и как следствие, увеличения его дисперсности.

На рисунке 6 показано микроструктура зоны сплавления с основным металлом (300х), зерна характерного столбчатого строения и вытянуты в направлении теплоотвода.

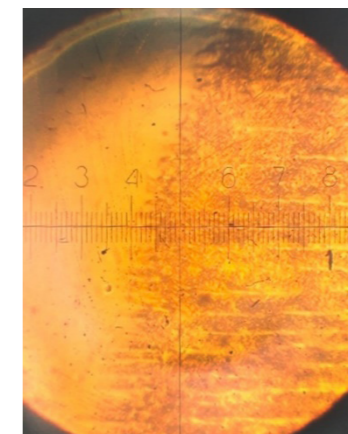


Рисунок 6 – Микроструктура зоны сплавления с основным металлом (300х), зерна характерного столбчатого строения и вытянуты в направлении теплоотвода

Структура состоит из перлита, сорбитообразной дисперсности и ферритной фазы (см. рис. 6). Протяженность зоны сплавления составила 200 мкм. По всей границе, зона сплавления имеет достаточно однородную структуру с некоторой



отдельными включениями неметаллической фазы и с равномерной по ширине границей (белая зона). На образце 1 просматривается яркая зона раздела между зернами основного и наплавленного металла. Структура по всему сечению образца – однородная. Начиная с зоны наплавленного металла – зона без видимой пористости и трещин (см. рис. 6).

На рисунке 7 показано зона столбчатого строения в зоне сплавления увеличено 850х.

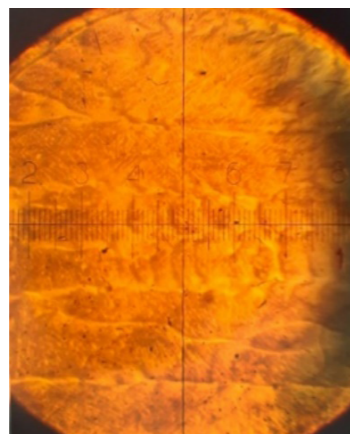


Рисунок 7 – Зона столбчатого строения в зоне сплавления увеличено 850х

При отдалении от зоны сплавления дисперсность перлита падает. Столбчатые кристаллы имеют сравнительно крупные размеры (0,3 – 8 мм) и легко различимы с помощью металлографии.

На рисунке 8 показано микроструктура основного металла, состоящая из сорбитообразного перлита и ферритной фазы (300х), твердость 38HRC.

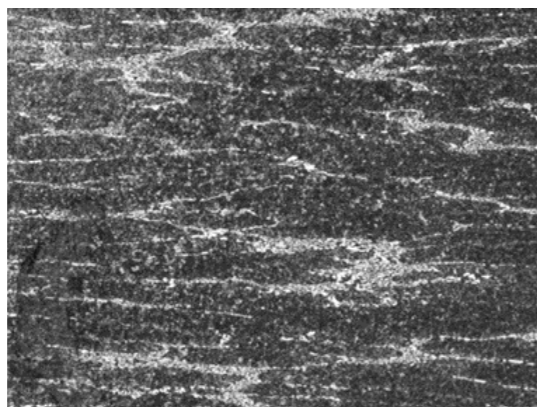
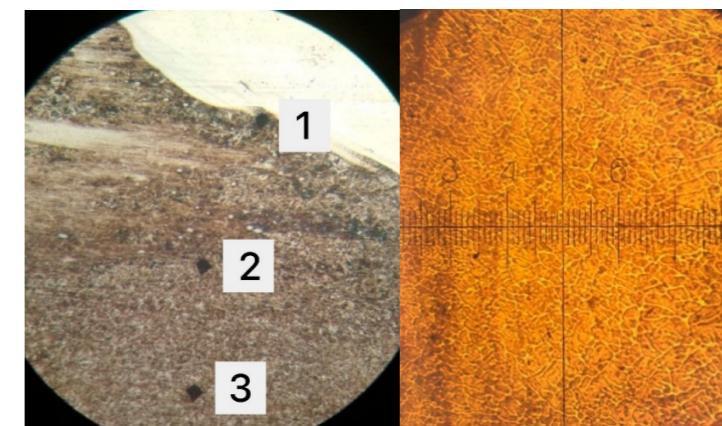


Рисунок 8 – Микроструктура основного металла, состоящая из сорбитообразного перлита и ферритной фазы (300х), твердость 38HRC

Образец 2. Описание микроструктуры:

На рисунке 9 показано микроструктура образца №2.



а) – микроструктура поверхности наплавленного слоя; б) – микроструктура наплавленного слоя с отпечатками твердости поверхности

Рисунок 9 – Микроструктура образца №2

На рисунке 9 показаны микроструктура поверхности наплавленного слоя, структура сорбит закалки и феррит (рисунок 9, а) и микроструктура наплавленного слоя с отпечатками твердости поверхности наплавленного металла газозащитной порошковой проволокой Tubrodur 35 GM (100х) (рисунок 9, б). Твердость в зоне сплавления: точка 1 – HV 442; точка 2 – HV 443; точка 3 – HV 457.

Структура по всему сечению образца – однородная, состоящая из сорбита закалки и феррита. Сорбит закалки имеет глобулярную форму частиц, что способствует повышению вязкости. Визуально наблюдается изменение формы и геометрии наплавочного валика. Протяженность зоны сплавления равномерная и составила 140 мкм.

На рисунке 10 показано микроструктура зоны сплавления.

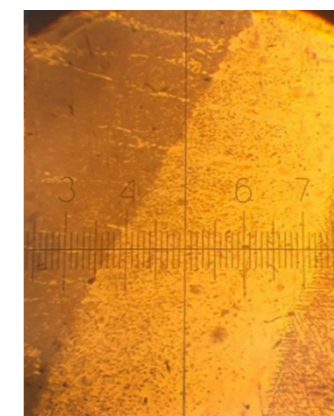


Рисунок 10 – Микроструктура зоны сплавления



На рисунке 10 можно заметить околошовниковой зоны с основным металлом (500x), зерна характерного столбчатого строения и вытянуты в направлении теплоотвода, при этом цементит имеет глобулярное строение.

На рисунке 11 показано микроструктура основного металла, состоящая из сорбитообразного перлита и избыточная ферритная фаза (300x), твердость 38 HRC.

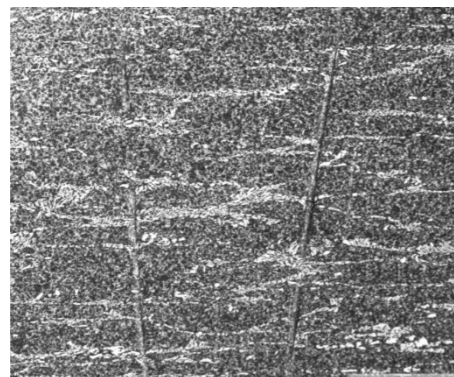


Рисунок 11 – Микроструктура основного металла, состоящая из сорбитообразного перлита и избыточная ферритная фаза (300x), твердость 38 HRC.

На рисунке 12 показано неметаллические включения в зоне сплавления (300x).

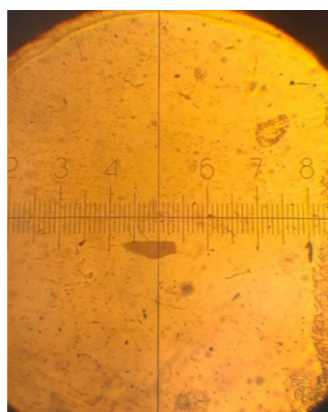


Рисунок 12 – Неметаллические включения в зоне сплавления (300x)

В зоне сплавления присутствуют неметаллические включения, которые предположительно перешли из флюса. Для достижения удовлетворительной работы инструмента, повышения долговечности и надежности требуется проведение термической обработки и дальнейшего исследования микроструктуры и свойств.

#### Информация о финансировании

Исследование проведено в рамках выполнения грантовой темы, финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего

образования Республики Казахстан АР19578884 «Повышение износостойкости и совершенствование конструкции инструмента шинопровивного станка».

#### Выводы

Результаты микроструктурного исследования поверхности наплавленного металла газозащитной порошковой проволокой Tubrodur 35 GM показали, что твердость в зоне сплавления (от поверхности зоны сплавления внутрь) колеблется в пределах HV 380 – 342.

Структура по всему сечению образца – однородная, состоящая главным образом из квазиэвтектоида перлита – сорбита и окаймляющей зерно –небольшого количества феррита (П=90 %, Ф=10 %), а также состоящая из сорбита закалки и феррита.

Выявлено, что на границе основного металла и сварочного шва дисперсность квазиэвтектоида выше, что может говорить о высокой степени переохлаждения, и как следствие, увеличения его дисперсности.

Для повышения долговечности и надежности шинопровивного инструмента рекомендуется проведение термической обработки и дальнейшего исследования его микроструктуры и свойств.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Каргин, В. Р., Каргин, Б. В., Арышенский, Е. В.** Технология прессования профилей из легких сплавов: метод. указания. – Самара: Изд-во СГАУ. – 2012. – 54 с.

2 **Щерба, В. Н.** Прессование алюминиевых сплавов – М.: «Интермет Инжиниринг». – 2001. – 768 с.

3 **Шеин, А. А.** Технологическое обеспечение качества деталей в процессах разделительной штамповки путем нанесения на инструмент вакуумно-плазменных покрытий: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.02.08 / Шеин Александр Анатольевич. Моск. гос. технол. ун-т «Станкин». – Москва, 2005. – 20 с.

4 **Zvonimir Dadić** Tribological principles and measures to reduce cutting tools wear / MTSM-2013. International conference «Mechanical Technologies and Structural Materials». – Split, 26-27.09.2013. – P. 1–6.

5 **Михаленко, Ф. П.** Износ штампового инструмента и качество деталей при вырубке-пробивке на быстроходном прессе-автомате. / Ф. П. Михаленко, М. М. Дурандин // – В сб.: Совершенствование кузнечно-прессовых машин и технологических процессовковки и штамповки. Труды ГПИ. Том 40, вып. 13. Горький. – 1990. – с. 211.

6 **Navas, C., Conde, A., Fernández, B. J., Zubiri, F., de Damborenea, J.** Laser coatings to improve wear resistance of mould steel // Surface and Coatings Technology. – Vol. 194. – Issue 1. – 2005. – P. 136–142. – <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.05.002>

7 **Мусаев, М. М., Доненбаев, Б. С., Шеров, К. Т., Касымбабина, Д. С., Аман, И. М.** Анализ и исследование характера износа инструментов

шинопробивных станков / Наука и техника Казахстана. – Павлодар: Изд-во «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2023. – № 2. – Р. 48–56.

8 **Mussayev, M., Sherov, K., Kassymbabina, D., Abdugaliyeva, G., Donenbayev, B., Kardassinov, S., Karsakova, N., Tussupova, S.** Research of wear and increasing wear resistance of the working part of busbar punching tools by surfacing method. Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 22. – № 3. – 2024. – Р. 600–611. – <https://doi.org/10.5937/jaes0-51175>

9 **Заплатин, В. Н., Сапожников, Ю. И., Дубов, А. В.** Основы материаловедения (металлообработка): учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / под ред. В. Н. Заплатина. – 8-ое изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия». – 2017. – 272 с.

10 **Потехин, Б. А.** Металловедение: учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2019. – 99 с.

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

## REFERENCES

1 **Kargin, V. R., Kargin, B. V., Aryshenskiy, Ye. V.** Tekhnologiya pressovaniya profily iz legkikh splavov: metod. ukazaniya [Technology of pressing profiles from light alloys: method. instructions. – Samara : Publishing house of SSAU, 2012. – 54 p.

2 **Shcherba, V. N.** Pressovaniye alyuminiyevykh splavov [Pressing of aluminum alloys]. – Moscow : «Internet Engineering», 2001. – 768 p.

3 **Shein, A. A.** Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva detaley v protsessakh razdelitel'noy shtampovki putem naneseniya na instrument vakuumno-plazmennykh pokrytiy: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.02.08 [Technological support of quality of parts in processes of separation stamping by application of vacuum-plasma coatings to the tool: abstract of dis. ... candidate of technical sciences: 05.02.08] / Shein Aleksandr Anatolyevich. Moscow state technological university «Stankin». – Moscow, 2005. – 20 p.

4 **Zvonimir Dadić** Tribological principles and measures to reduce cutting tools wear / MTSM-2013. International conference «Mechanical Technologies and Structural Materials» Split, 26–27.09.2013. P. 1–6.

5 **Mikhailenko, F. P.** Iznos shtampovogo instrumenta i kachestvo detaley pri vyrubke-probivke na bystrokhodnom presse-avtomate. [Technological support of quality of parts in processes of separation stamping by application of vacuum-plasma coatings to the tool: abstract of dis. ... candidate of technical sciences: 05.02.08] / Shein Aleksandr Anatolyevich. Moscow state technological university «Stankin». – Moscow, 2005. – 20 p.

6 **Navas, C., Conde, A., Fernández, B. J., Zubiri, F., de Damborenea, J.** Laser coatings to improve wear resistance of mould steel // Surface and Coatings Technology. – Vol. 194. – Issue 1. – 2005. – P. 136–142. – <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.05.002>

7 **Musayev, M. M., Donenbayev, B. S., Sherov, K. T., Kassymbabina, D. S., Aman, I. M.** Analiz i issledovaniye kharaktera iznosa instrumentov shinoprobivnykh stankov [Analysis and research of the nature of wear of tools of tire puncturing machines] / Science and technology of Kazakhstan. – Pavlodar: Publishing house «KEREKU» PSU them. S. Toraygyrova. – 2023. – № – P. 48–56.

8 **Mussayev, M., Sherov, K., Kassymbabina, D., Abdugaliyeva, G., Donenbayev, B., Kardassinov, S., Karsakova, N., Tussupova, S.** Research of wear and increasing wear resistance of the working part of busbar punching tools by surfacing method. Journal of Applied Engineering Science Vol. 22. – № 3, 2024. – P. 600–611. <https://doi.org/10.5937/jaes0-51175>

9 **Zaplatin, V. N., Sapozhnikov, Yu. I., Dubov, A. V.** Osnovy materialovedeniya (metalloobrabotka): uchebnik dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya [Fundamentals of Materials Science (Metalworking): textbook for students of secondary vocational education institutions] / ed. by V.N. Zaplatin. – 8th ed., reprinted – Moscow : Publishing Center «Academy», 2017. – 272 p.

10 **Potekhin, B. A.** Metallovedeniye: uchebnoye posobiye. [Metal Science: a tutorial]. – Yekaterinburg: Ural. state forestry university, 2019. – 99 p.

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

Поступило в редакцию 29.08.24.

Поступило с исправлениями 31.08.24.

Принято в печать 11.09.2024.

\***М. М. Мусаев<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Д. С. Касымбабина<sup>3</sup>,**

**Г. Б. Абдугалиева<sup>4</sup>, А. Б. Бобеев<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

29.08.24 ж. баспаға түсті.

31.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

11.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**ESAB OK TUBRODUR 35GM СЫМЫМЕН БАЛҚЫТЫЛҒАН  
ШИНАТЕСКІШ ҚҰРАЛ МАТЕРИАЛЫНЫҢ  
ҮЛГІЛЕРІН МЕТАЛЛОГРАФИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ**

*Шинатескіш станоктар кеңінен қолданылатын машина жасау зауыттарында жүргізілген зерттеулер шинатескіш құралдың қарқынды тозуына байланысты проблема бар екенін көрсетті. Бұл мәселені шешу үшін шинаны тесетін құралдың жұмыс бөлігін балқыту арқылы оның тозуға төзімділігін қамтамасыз ету ұсынылды. Жұмыс бетінің материалы ретінде диаметрі 1,6 мм болатын ESAB OK Tubrodur 35GM материалынан жасалған сым таңдалды, ол қорғаныс газдарының ортасын қолдана отырып механикаландырылған балқыту әдісімен балқытылды.*

*Бұл мақалада Tubrodur 35 GM газдан қорғайтын ұнтақ сымымен балқытылған металдың бетін микроқұрылымдық зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған AP19578884 «Шинатескіш станок құралының тозуға төзімділігін арттыру және конструкциясын жетілдіру» гранттық тақырыбы шеңберінде жүргізілді.*

*Микроқұрылымдық зерттеу нәтижелері балқыту аймағындағы қаттылық (балқу аймағының бетінен ішке қарай) HV 380 – 342 шегінде өзгеретінін көрсетті. Үлгінің бүкіл қимасы бойынша құрылым біртекті, негізінен перлит – сорбитол квазиэвтектоидынан және дәнімен шектесетін аз мөлшерде ферриттен тұрады (B=90 %, F=10 %), сондай-ақ қатайтылған сорбитол мен ферриттен тұрады. Негізгі металл мен дәнекерлеудің шекарасында квазиэвтектоидтың дисперсиясы жоғары екендігі және бұл гипотермияның жоғары дәрежесін көрсетуі мүмкін, нәтижесінде оның дисперсиясының жоғарылауы анықталды.*

*Шинатескіш құралдың беріктігі мен сенімділігін арттыру үшін термиялық өңдеуді жүргізу және оның микроқұрылымы мен қасиеттерін одан әрі зерттеу ұсынылады.*

*Кілт сөздер: шинатескіш станок, шинатескіш құрал, балқыту, микроқұрылым, балқыту аймағы.*

**\*M. Mussayev<sup>1</sup>, K. Sherov<sup>2</sup>, D. Kassymbabina<sup>3</sup>, G. Abdugaliyeva<sup>4</sup>, A. Bobeev<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Kazakhstan, Karaganda

<sup>2,5</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, Astana

Received 29.08.24.

Received in revised form 31.08.24.

Accepted for publication 11.09.24.

#### **METALLOGRAPHIC STUDY OF SAMPLES FROM BUSBAR PUNCHING TOOL MATERIAL SURFACED WITH ESAB OK TUBRODUR 35GM WIRE**

*The conducted research in the conditions of machine-building plants, where busbar punching machines are widely used, showed a problem associated with intensive wear of the busbar punching tool. To solve this problem, surfacing the working part of the busbar punching tool was proposed to ensure increased wear resistance. The surfacing material chosen was ESAB OK Tubrodur 35GM wire, 1.6*

*mm in diameter, which was surfacing by mechanized surfacing using a protective gas environment.*

*This article presents the results of a microstructural study of the surface of the deposited metal with gas-shielded flux-cored wire Tubrodur 35 GM. This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19578884 “Increasing wear resistance and improving the design of the tool of the busbar punching machine”).*

*The results of the microstructural study showed that the hardness in the fusion zone (from the surface of the fusion zone inward) fluctuates within HV 380 - 342. The structure over the entire cross-section of the sample is homogeneous, consisting mainly of the pearlite quasi-eutectoid - sorbite and framing grain - a small amount of ferrite (P = 90 %, F = 10 %), and also consisting of quenched sorbite and ferrite. It was revealed that at the boundary of the base metal and the weld seam, the dispersion of the quasi-eutectoid is higher, which may indicate a high degree of supercooling, and, consequently, an increase in its dispersion.*

*To improve the durability and reliability of the busbar punching tool, it is recommended to carry out heat treatment and further study of its microstructure and properties.*

*Keywords: busbar punching machine, busbar punching tool, surfacing, microstructure, fusion zone.*



**N. T. Manabayev<sup>2</sup>, A.M.Azimov<sup>1</sup>, \*Z. A. Ibragimova<sup>1</sup>, R. N. Manabayev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>M.Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Shymkent<sup>2</sup>«Inniovtechproduct» LLP\*e-mail: [Zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:Zaure_1983_as@mail.ru)**DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFECTIVE MILLING CHISEL  
PLOUGHWITH SIMULTANEOUS LOCAL APPLICATION OF HYDROGEL**

*The given article is related to agricultural engineering and the design of milling chisel ploughwith special working bodies for cutting water-absorbing slots with simultaneous introduction of hydrogel mixture into them was developed to increase moisture accumulation in soil in the article.*

*Improved technologies and techniques are needed to improve the quality and quantity of crops, in particular cereals, in order to improve their production. Most of the territory of Kazakhstan belongs to the zone of risky agriculture. Every year there are droughts that significantly reduce cereal yields. Many farmers are making large amounts of fertilizer in order to increase yields.*

*However, there is the problem of unsustainable use of fertilizers. Thus, most of fertilizers introduced into soil is washed into its lower layers and becomes inaccessible to plant roots. Therefore, we propose to use local application of hydrogel retention mixture to accumulate nutrients and soil moisture. Its granules are able to absorb liquid, in volume many times larger than their own, and hold it for a long time. For better nutrition of plants, we offer to enrich hydrogel with fertilizers.*

*Possible machines for application of hydrogel mixture are considered in «Analysis of possible methods of application of hydrogel with fertilizers in soil». It is noted that there are no units capable of carrying out local application of granules with fertilizers together with milling chisel ploughinto seeding area in the modern system of machines.*

*Existing machines allow the application of hydrogel in dispersed or subsoil way, and local application of granules together with fertilizers is used for the first time and allows place hydrogel with saturated fertilizers.*

*The choice of optimal method of application of hydrogel mixture pellet was produced and the machine design for its implementation was developed on the basis of common and private methods.*

*Keywords: milling chisel plough, working body, design, hydrogel, moisture, soil, technology.*

**Introduction**

The main requirement when using moisture-saving technologies is the constant covering of the soil with a thick layer of plant residues (mulch), which protect the soil from erosion and retain moisture from evaporation, which helps to increase the efficiency of its use.

On the way to reduce water scarcity, it is necessary to consider ways to properly effectively use natural stormwater and meltwater. To this end, it is necessary to introduce technologies for the accumulation of more moisture in the soil. Our scientists offer several technologies and methods for preserving moisture reserves in the soil. In our country, due attention has not been paid to the technology of preserving moisture reserves in the soil. The surface layer of the soil, saturated with moisture from natural precipitation and meltwater, does not take on excess moisture. Therefore, excess sedimentary and meltwater flows according to the valley [1,2].

To compensate for these problems, a technology was introduced in Kazakhstan for the first time to save moisture resources. It is designed to increase the productivity of grain crops and meadows and pastures in the arid steppe regions of Kazakhstan. In the arid steppe regions of Kazakhstan, an important role in increasing crop productivity is played by the introduction of an enriched hydrogel mixture with soil cleavage in cereals, meadows and pastures [3,4].

In the steppe regions of Kazakhstan, in dry years in early spring, drying of grain crops and hayfields and pastures is observed, which leads to a sharp decrease in crop yields, and sometimes to complete destruction of the crop [5].

Today, the problem of providing food to the population is becoming a problem in the world, which is not a secret. There is still a shortage of water for irrigation of crops. Therefore, scientists in many countries clearly point to completely new directions for solving these problems in agricultural production. At the same time, much attention is paid to the issues of moisture-saving agriculture [6].

In a number of reports by the largest scientists in many countries, completely new directions in agricultural production are clearly outlined. At the same time, much attention is paid to the issues of moisture-saving agriculture. In recent years, scientists have been actively studying new moisture-saving technologies.

It is known that in arid climates, the soil usually dries out strongly during the growing season. With little snow in winter and dry spring, they are insufficiently provided with moisture, which is one of the main factors in reducing crop yields. Therefore, in regions with insufficient humidity, great attention is always paid to the preservation and retention of moisture in the soil. At the same time, various complexes of agrotechnical techniques are used, which should ensure high-quality absorption of moisture by the upper layer, its redistribution to the lower horizons of the soil and a decrease in the intensity of physical evaporation [7].

Existing machine designs introduce hydrogel into the soil or scatter them over the surface of the field. In this regard, the issue of creating a machine design capable of introducing fertilizer-enriched hydrogel with local application becomes particularly relevant. Solving this problem helps to reduce the cost of production and, therefore, allows you to increase the profit by reducing the dose of fertilizers with hydrogel and increasing the yield of agricultural crops. [8].

**Results and discussions**

The moisture-saving technology proposed by us, by introducing hydrogel mixture with soil slotting of grain crops and pastures in steppe drylands of Kazakhstan,

plays an important role in increasing the productivity of agricultural crops. A huge moisture-compacting role is played by special working body cut with milling chisel ploughforming cone-shaped slots that promote and accumulate moisture in the lower layers of soil. This allows us to store moisture in the lower soil. Thus, the slotting of winter moisture is accumulated three times more than with traditional soil treatment technology. Application of hydrogel mixture locally increases moisture accumulation several more times. In addition, the rate of application of hydrogel mixture on the area will be decreased 2–3 times. The application of hydrogel mixture with loose method shall be carried out respectively 50–70 kg/ha [9,10].

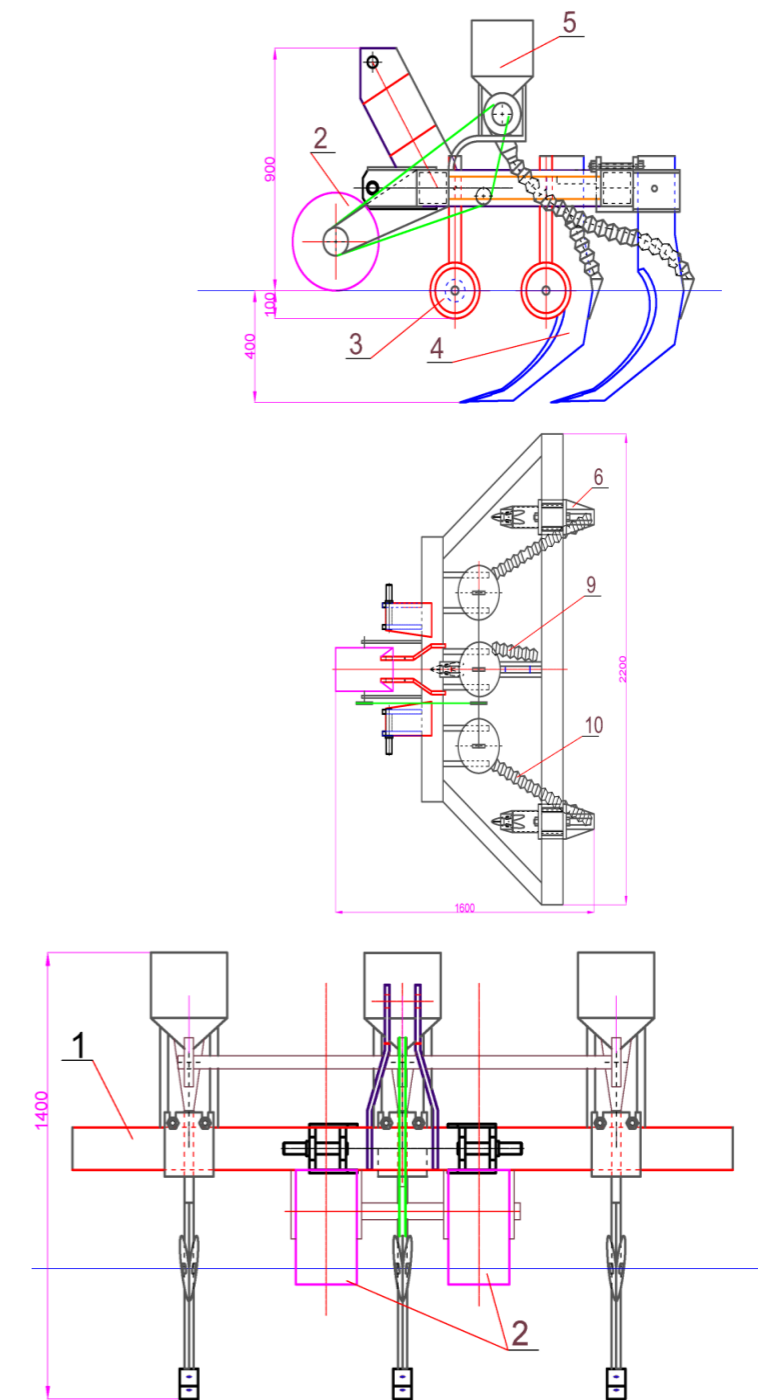
It is proposed for the first time to use moisture-retaining ability of hydrogel in arable crops under conditions of dry-land farming of Kazakhstan. Hydrogel is organic polymer with a unique ability to absorb and retain large volumes of water when swelling. When applied to soil, it helps to moisturize the root system of plants or mixtures on the contrary to remove excess moisture. At the same time, along with hydrogel, mineral fertilizers, microelements, chemicals, in particular, pesticides, herbicides, growth stimulants and others can be added, which together with moisture, get directly to the root system, which increases their efficiency, reduces consumption when feeding or processing plants and reduces soil and wastewater pollution. Hydrogel is environmentally friendly material that not only stimulates plant growth, but also has a positive effect on soil quality [11,12].

It is on this basis, and only on this basis, with using the latest technology, new milling chisel plough, moisture-saving machines, that it is possible to achieve increase in yield, at least twice and it is in dry zones of Kazakhstan, as in other dry-steppe crops, where precipitation falls no more than 250–300 mm. It is these technologies that reduce drought risks, stabilize grain production, allowing 18–20 centners of grain per hectare per year.

At the same time, new technology sharply increases labour productivity and increasing economic efficiency, which is crucial for adapting production to tight market conditions.

Analyzing all this, we conduct a great propaganda among farmers, peasant farms, all producers in Kazakhstan. It is necessary to buy new equipment and possibly further establish its production on the spot to do this. Only in this way we can increase the productivity of vast lands of big Kazakhstan, ensure constant growth of well-being of our people.

The choice of optimal method of application of hydrogel granules was made and machine design was developed on the basis of common and private methods for its implementation are shown in Figure 1.



1 – frame, 2 – drive wheel, 3 – furrow cutting disc, 4 – working element, 5 – seeding device, 6 – fertilizer pipe

Figure 1 – Newly developed milling chisel plough for local application of hydrogel mixture and fertilizers in fields of grain crops and pastures

The proposed device works as follows

At the moment of movement beginning of unit along the field in the direction of vector V, mounted frame 1 is lowered, wherein the working body of milling chisel plough 5 enters the soil at the required depth with the help of the supporting wheels 3. Spherical disc 4 cuts conical slots in the soil and accordingly, reduces the traction resistance of working body 5, and the working body of the slot 5 cuts a cone-shaped slot in soil and adjusts the width of inter-row of crops. The soil cut by spherical discs 3 is additionally ground in the form of C-shaped working bodies 4 with end-fixed chisels. The cut and ground soil are less deformed, minimally damaged and sprinkles on crops.

Thanks to the cone-shaped slots, melt water and sediments through grooves enter and is collected in the slots of greater volume and are held by hydrogel mixture for a long time.

With the aid of rotating mechanism actuated from driving bearing wheels 3, seeding apparatus of 2 mixtures of hydrogel through tube line 6 seeps hydrogel into slots.

The use of hydrogel mixture ensures increase in the amount of accumulated moisture in soil, which will contribute to increasing amount of yield.

Cut slots are formed open with connectors from soil, including slots of 3–5° are created in the direction of slots for better drainage of precipitation moisture into them in the seeding field between the slots from the centers by processing.

Information about financing

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Program BR21882218 “Development and implementation of new highly efficient moisture-saving technologies that increase crop yields and modernize the agro-industrial complex”).

#### Conclusions

1 Moisture-saving technologies and techniques have been developed to increase the productivity of grain crops and pastures in steppe arid zones.

2 The newly developed chisel plough with special working bodies and the local use of granules together with fertilizers is used for the first time.

3 The application of hydrogel with fertilizer in a local way reduces the cost of production and, therefore, will increase the profit obtained by reducing the dose of fertilizers with hydrogels and increases crop yields.

4 In the modern machine system, there are no units capable of local application of granules with fertilizers by slits to the sown area.

5 The application of a local hydrogel mixture increases the accumulation of moisture by 3 times. In addition, the rate of application of the hydrogel mixture on the area will decrease 2–3 times.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Тимошенко, В. В.** Совершенствование технологии посева за счет применения разработанной машины для внесения в почву обогащенного гидрогеля. Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Волгоград – 2016, 20 с.

2 Рекомендации по инновационным технологиям орошения сельскохозяйственных культур в условиях климатических изменений Таджикистана. Душанбе. Изд-во ООО «Ходжи Хасан», 2021, 40 с.

3 Патент РФ «Устройство для нарезки щелей с одновременным внесением в них заполнителя», №2463753, МПК А01В 13/16, 2012.

4 **Хажметова, З. Л., Шекхачев, Ю. А., Хажметов, Л. М., Шекхачева, Л. З.** Усовершенствование технологии послеуборочной переработки кукурузы с разработкой инновационного молотильного устройства // Научный журнал «Наука и техника Казахстана». – 2022. – № 1 – С. 115–130. – <https://doi.org/10.48081/ZBZR1008>

5 **Скрятин, Н. Ф., Соловьев, Е. В., Соловьёв, С. В., Бондарев, А. В.** Методы оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров тракторных транспортно-технологических агрегатов: монография. – Москва; Белгород: ООО «Издательско-книготорговый центр Колосс», 2020. – 129 с.

6 **Сурип, Р. О. и др.** Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы // 65я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Теоретические и практические вопросы современной науки / Сборник научных работ 65й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июль 2020). – № 7(65). – М. : ЕНО, 2020. – С. 117–120.

7 **Мамедов, Ф. А., Баширова, Н. Ф., Агабейли, А. Т., Гурбанов, Г. Я.** Почвоприводный роторный рыхлитель-щелерез [Разуплотнение почвы по следам тракторов]. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве / Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва [и др.]. – Москва, 2010. – Ч. 2. – С. 65–69. – Библиогр.: С. 69.

8 **Manabaev, N. T.** Investigation of the Soil Translocation Process Depending on the Angle of Setting the Leveler Moldboard Russian Agricultural Sciences, 2013. – Vol. 39. – № 3. – P. 287–289. – <https://doi.org/10.3103/S1068367413030142>

9 Союнов, А. С., Демчук, Е. В., Головин, А. Г., Чаплин, В. В. Критерий оценки качества подрезания сорной растительности шестиугольным диском // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 4. – С. 31–33.

10 **Лозюта, М., Кабулова, Б., Гасанов, Х.** Исследование обработки почвы щелевым рыхлителем усовершенствованной конструкции // Agricultural Engineering. – 2013. – № Vol. 45, № 2. – С. 93–102.

11 **Li, B., Liu, F., Mu, J., Chen, J., Han, W.** Distinct element method analysis and field experiment of soil resistance applied on the subsoiler // Int J Agric&Biol Eng. – 2014. – № Vol. 7, № 1. – С. 54–59.

12 **Комаров, А. П.** Варианты конструктивно-технологических схем щелевателя / А. П. Комаров. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 47 (285). – С. 151–153. – [Электронный ресурс]. – <https://moluch.ru/archive/285/64238>



1 **Timoshenko, V. V.** Sovershenstvovanie tekhnologii poseva za schet primeneniya razrabotanoj mashiny` dlya vnesheniya v pochvu obogashhennogo gidrogelya. Special`nost` 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mexanizacii sel`skogo xozyajstva Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Improving the sowing technology through the use of a developed machine for introducing enriched hydrogel into the soil. – Specialty 05.20.01. – Technologies and means of mechanization of agriculture Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences] Volgograd. – 2016, 20 p.

2 Rekomendacii po innovacionny`m tekhnologiyam orosheniya sel`skoxozyajstvenny`x kul`tur v usloviyax klimaticheskix izmenenij Tadzhiqistana. [Recommendations for innovative technologies for irrigation of agricultural crops in the context of climate change in Tajikistan]. Dushanbe. Publishing house of Khoji Hasan LLC. – 2021. – 40 p.

3 Patent RF «Ustrojstvo dlya narezki shhelej s odnovremenny`m vnesheniem v nix zapolnitelya», №2463753, MPK A01B 13/16, 2012. [Patent of the Russian Federation «Device for cutting slots with simultaneous introduction of filler into them», № 2463753, IPC A01B 13/16, 2012].

4 **Xazhmetova, Z. L., Shekixachev, Yu. A., Xazhmetov, L. M., Shekixacheva, L. Z.** Usovershenstvovanie tekhnologii posleuborochnoj pererabotki kukuruzy` s razrabotkoj innovacionnogo molotil`nogo ustrojstva [Improving the technology of post-harvest processing of corn with the development of an innovative threshing device] // Scientific journal «Science and Technology of Kazakhstan». – 2022 - № 1 – P. 115–130. – <https://doi.org/10.48081/ZBZR1008>.

5 **Skuryatin, N. F., Solov`ev, E. V., Solov`yov, S. V., Bondarev, A. V.** Metody` optimizacii konstruktivny`x i e`kspluatacionny`x parametrov traktorny`x transportnotekhnologicheskix agregatov: monografiya. – Moskva; Belgorod: OOO «Izdatel`skoknigotorgovy`j centr Koloss», 2020. – 129 p.

6 **Surin, R.O. i dr.** Perspektivny`e konstruktivny`e sxemy` sel`skoxozyajstvenny`x mashin dlya provedeniya polevoj obrabotki pochvy` // 65ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya Evrazijskogo Nauchnogo Ob`edineniya ISSN 2411-1899 Teoreticheskie i prakticheskie voprosy` sovremennoj nauki / Sbornik nauchny`x rabot 65j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii Evrazijskogo Nauchnogo Ob`edineniya (g. Moskva, iyul` 2020). – № 7(65). – Moscow : ENO, 2020. – P. 117–120.

7 **Mamedov, F. A., Bashirova, N. F., Agabekli, A. T., Gurbanov, G. Ya.** Pochvoprivodny`j rotorny`j ry`xlitel`-shhelerez [Razuplotnenie pochvy` po sledam traktorov]. // E`nergoobespechenie i e`nergoberezhenie v sel`skom xozyajstve / Vseros. nauch.-issled. in-t e`lektrifikacii sel. xoz-va [i dr.]. [Methods for optimizing the design and operational parameters of tractor transport and technological units: monograph]. – Moscow; Belgorod: OOO Izdatelskoknigotorgovy Tsentr Koloss, 2020. – 129 p.

8 **Manabaev, N. T.** Investigation of the Soil Translocation Process Depending on the Angle of Setting the Leveler Moldboard Russian Agricultural Sciences, 2013, Vol. 39, № 3, P. 287–289. <https://doi.org/10.3103/S1068367413030142>

9 **Soyunov, A. S., Demchuk, E. V., Golovin, A. G., Chaplin, V. V.** Kriterij ocenki kachestva podrezaniya sornoj rastitel`nosti shestiugol`ny`m diskom [Criterion for assessing the quality of weed cutting with a hexagonal disk] // Tractors and agricultural machinery. – 2013. – № 4. – P. 31–33.

10 **Lozyuta, M., Kabulova, B., Gasanov, X.** Issledovanie obrabotki pochvy` shhelevy`m ry`xlitelem usovershenstvovannoj konstrukcii [Study of soil cultivation with an improved design slit cultivator] // Agricultural Engineering. – 2013. – № Vol. 45 № 2. – P. 93–102.

11 **Li, B., Liu, F., Mu, J., Chen, J., Han, W.** Distinct element method analysis and field experiment of soil resistance applied on the subsoiler // Int J Agric&Biol Eng. – 2014. – № Vol. 7 No.1. –C. 54–59.

12 **Komarov, A. P.** Varianty` konstruktivno-tekhnologicheskix sxem shhelevatelya [Variants of constructive and technological schemes of the slotter] / A. P. Komarov. - Text: direct // Young scientist. – 2019. – № 47 (285). – P. 151–153. – [Electronic resource]. – <https://moluch.ru/archive/285/64238>.

Received 06.09.24.

Received in revised form 06.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

**Н. Т. Манабаев<sup>2</sup>, А. М. Азимов<sup>1</sup>, \*З. А. Ибрагимова<sup>1</sup>, Р. Н. Манабаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

<sup>2</sup>«Inniotechproduct» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

06.09.24 ж. баспаға түсті.

06.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### ГИДРОГЕЛЬДІ БІР МЕЗГІЛДЕ ЖЕРГІЛІКТІ ҚОЛДАНУМЕН ЖОҒАРЫ ТИІМДІ САҢЫЛАУ ТІЛГІШТІ ӘЗІРЛЕУ

*Бұл мақала ауылшаруашылық инженериясына жатады және мақалада топырақта ылғалдың жиналуын арттыру мақсатында гидрогель қоспасын бір уақытта енгізе отырып, суды сіңіретін саңылауларды кесуге арналған арнайы жұмыс органдары бар саңылаулардың конструкциясы жасалған.*

*Ауыл шаруашылығы дақылдарын, атап айтқанда дәнді дақылдарды өсірудің тиімділігін арттыру үшін технологиялар мен техниканы жетілдіру қажет, бұл алынатын өнімнің сапасын жақсартуға және санын арттыруға мүмкіндік береді. Қазақстан аумағының көпшілігі қауіпті егіншілік аймағына жатады. Мұнда жыл сайын құрғақшылық байқалады, бұл дәнді дақылдардың өнімділігін айтарлықтай төмендетеді. Көптеген фермерлер егіннің өсуін арттыру мақсатында тыңайтқыштардың көп мөлшерін енгізу жолымен жүреді.*

*Дегенмен, тыңайтқыштарды ұтымсыз пайдалану мәселесі бар. Сонымен, топыраққа енгізілген тұқтардың көп бөлігі оның төменгі қабаттарына*

жуылады және өсімдік тамырларына қол жетімсіз болады. Сондықтан қоректік заттар мен топырақ ылғалдылығын сақтау үшін гидрогель қоспасын жергілікті қолдану арқылы қолдануды ұсынамыз. Оның түйіршіктері сұйықтықты өзінен бірнеше есе көп мөлшерде сіңіріп, оны ұзақ уақыт сақтай алады. Өсімдіктерді жақсы тамақтандыру үшін біз гидрогельді тыңайтқыштармен байытуды ұсынамыз.

«Топыраққа тыңайтқыштармен гидрогельді қолданудың мүмкін жолдарын талдау» гидрогель қоспасын қолдануға арналған мүмкін машиналар қарастырылды. Қазіргі заманғы машиналар жүйесінде тыңайтқыштармен түйіршіктерді егіс алаңына саңылаулармен бірге жергілікті енгізуге қабілетті агрегаттар жоқ екендігі атап өтілді.

Қолданыстағы машиналар гидрогельді шашыраңқы немесе топырақ ішіне енгізуге мүмкіндік береді, ал түйіршіктерді тыңайтқыштармен бірге жергілікті қолдану бірінші рет қолданылады және гидрогельді тукамен қаныққан түрінде жабуға мүмкіндік береді.

Жалпы қабылданған және жеке әдістерге сүйене отырып, гидрогель қоспасының түйіршіктерін енгізудің оңтайлы әдісін таңдау жасалды және оны жүзеге асыру үшін машинаның дизайны жасалды.

Кілтті сөздер: саңылау тілгіш, жұмысшы орган орган, конструкция, гидрогель, ылғал, топырақ, технология.

**Н. Т. Манабаев<sup>2</sup>, А. М. Азимов<sup>1</sup>, \*З. А. Ибрагимова<sup>1</sup>, Р. Н. Манабаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский исследовательский университет имени

М. Ауэзова, Республика Казахстан, г. Шымкент

<sup>2</sup>ТОО «Inniotechproduct» Республика Казахстан, г. Шымкент

Поступило в редакцию 06.09.24.

Поступило с исправлениями 06.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

#### **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ЩЕЛЕРЕЗА С ОДНОВРЕМЕННЫМ ЛОКАЛЬНЫМ ВНЕСЕНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ**

Данная статья относится к сельскохозяйственному машиностроению и в статье разработана конструкция щелереза со специальными рабочими органами для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным внесением в них смеси гидрогелей с целью увеличения накопления влаги в почве.

Для повышения эффективности возделывания сельскохозяйственных культур, в частности зерновых, необходимо совершенствование технологий и техники, что позволит улучшить качество и увеличить количество получаемой продукции. Большинство территории Казахстана относится к зоне рискованного земледелия. Ежегодно здесь наблюдаются засухи, которые существенно снижают урожайность зерновых культур. Многие земледельцы идут по пути внесения большого количества удобрений с целью хоть как-то увеличить прирост урожая.

Однако существует проблема нерационального использования удобрений. Так, большая часть туков, внесенных в почву, вымывается в ее нижние

слои и становится недоступной корням растений. Поэтому для накопления питательных элементов и почвенной влаги нами предлагается использовать локальным внесением влагоудерживающей смеси гидрогеля. Его гранулы способны вбирать в себя жидкость, в объеме, многократно превышающем их собственный, и удерживать её продолжительное время. Для лучшего питания растений нами предлагается обогащать гидрогель с удобрениями.

«Анализ возможных способов внесения гидрогеля с удобрениями в почву» рассмотрены возможные машины для внесения смеси гидрогеля. Отмечается, что в современной системе машин отсутствуют агрегаты, способные проводить локальное внесение гранул с удобрениями совместно с щелерезами в посевную площадь.

Существующие машины позволяют вносить гидрогель разбросным или внутрпочвенным способом, а локальное использование гранул совместно с удобрениями применяется впервые и позволяет заделывать гидрогель уже в насыщенном туками виде.

На основе общепринятых и частных методов произведен выбор оптимального способа внесения гранул смеси гидрогеля и разработана конструкция машины для его осуществления.

Ключевые слова: щелерез, рабочий орган, конструкция, гидрогель, влага, почва, технология.

\***А. А. Сағитов<sup>1</sup>, А. К. Шеров<sup>2</sup>, Д. Ш. Косамбекова<sup>3</sup>,  
Г. М. Тусупбекова<sup>4</sup>, А. Б. Есиркепова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы Астана қ.,  
<sup>5</sup>Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

\*e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1433-957X>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8909-2225>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3373-9541>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4524-5135>

### САУСАҚТЫ ФРЕЗАНЫҢ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Бұл мақаланың мақсаты-ысқылап қалыптастыру әдісін қолдану арқылы саусақты фрезаның тозуға төзімділігін арттыру. Саусақтық фрезаны ысқылап қалыптастыру процесін эксперименттік зерттеуді жоспарлау үшін екінші ретті ротатбельді жоспарлау қолданылады. Саусақтық фрезаларды ысқылап қалыптастыру бойынша эксперименттік зерттеулер болат 45 материалынан дайындаманы фрезерлеу кезінде ХН950А тік-фрезерлеу станогында жүргізілді. Өңдеу режимдерін олардың белгілі бір мәндеріне дейін ұлғайту ( $s = 36$  мм/мин;  $n = 80$  айн/мин;  $t = 6$  мин) құралдың тұрақтылық кезеңіне оң әсер ететіні анықталды. Бұл ретте құралдың тұрақтылық кезеңін  $t = 142$  минутқа дейін арттыруға қол жеткізілді. Саусақты фрезаның тұрақтылық кезеңін анықтау зертханалық база жағдайында орындалды. Алдын ала ысқылап қалыптастырудан кейін фрезаларды дайындама кесу арқылы жұмыс істеу ұзақтығы анықталды. Құралды ысқылап қалыптастырудың оңтайлы режимі құралдың кесу бөлігін беріктендіру үшін ең жақсы деформациялық-жылу жағдайларын қамтамасыз ететіні анықталды. ANSYS бағдарламасының көмегімен модельдеу нәтижесінде, шын мәнінде, өңдеуден кейін саусақтық фрезаның кесу бөлігінде қатайтылған қабат пайда болатындығы анықталды. Зерттеу жұмыстары АР14972884 «Ысқылап қалыптастыру әдісімен металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жоба аясында жасалынды.

Кілтті сөздер. құралдың тозуы, ысқылап қалыптастыру әдісі, саусақтық фреза, тұрақтылық кезеңі, өңдеу режимдері, тозуға төзімділік, беріктендіру.

#### Кіріспе

Машина жасау саласының қарқынды дамуы үшін металдарды кесу процестерінің жетілуімен тығыз байланысты.

Ғылыми-техникалық зерттеулерді талдау [1; 2], ғылыми-техникалық прогрестің қазіргі кезеңінде ыстыққа төзімді, коррозияға төзімді материалдардың беріктігі мен қаттылығы артып жатуда, сондықтан өндірісте бар кесуші құралдар кейбір жағдайларда жоғары тиімді өңдеуге мүмкіндік бермейді.

Сонымен қоса, мұндай материалдарды өңдеу кезінде металл кесуші құралдың шығыны өте жоғары болады, өйткені бұл материалдар қиын өңделетін материалдар класына жатады және құралдың кесуші жиегінің тез тозуы немесе сынуы орын алады.

Кесу арқылы өңдеу кезінде пайда болатын үйкеліс нәтижесінде тозу барлық құралдарға тән. Осыған байланысты көптеген отандық және шетелдік ғалымдар кесуші құралдың беріктігін арттыруға бағытталған зерттеулермен айналысады.

Қарастырылған жұмыста [3] құралдың беріктігі мен өнімділігі, сондай-ақ олардың өңделген бетінің сапасымен үйлестіру тұрғысынан шындалған болатын өңдеу кезінде аралас керамикалық құралдың жұмысын жақсартатын кесу параметрлерінің ең жақсы комбинациясын анықтау бойынша эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Кесу жылдамдығы (200 м/мин), беріліс (0,08 мм/айн) және кесу тереңдігі (0,3 мм) бірге қабылданған кезде құралдың беріктігі, өнімділігі және бетінің сапасы тұрғысынан жақсы нәтижелерге қол жеткізілді. Кесуші құралдың тозуына құралдың берілісінен гөрі кесу жылдамдығы көбірек әсер ететіні дәлелденді.

Құралдарды алдын-ала ысқылап қалыптастырудың оңтайлы режимдерінің болуы теориялық және эксперименталды түрде дәлелденді [4–8], бірақ олардың тез және сенімді анықталуы әлі де ашық мәселе болып табылады.

Жұмыста [9] алдын ала ысқылап қалыптастыру әдісімен табақшалы кескіштің беріктігін арттыру бойынша эксперименттік зерттеу жүргізілді. Алдын ала ысқылап қалыптастырудың оңтайлы режимдерін қолданған кезде тұрақтылық кезеңін 25–30 минутқа арттыруға болатындығы эксперименталды түрде анықталды. ANSYS бағдарламасында компьютерлік модельдеу нәтижелері алдын-ала ысқылап қалыптастыру процесінің көмегімен табақшалы кескіштің кесу жиегінде қарқынды пластикалық деформациясы арқылы қайталама байланыс құрылымының пайда болуын растады.

Жұмыста [10] өңделген материалдың қаттылығы мен алдын ала ысқылап қалыптастыру жылдамдығының өзара байланысын зерттеу жүргізілді. Т5К10 пластинкалармен жабдықталған токарлық кескіштерді алдын ала ысқылап қалыптастыру 20х болаттан жасалған материалда жүргізілді.

Зерттеу жұмыстары АР14972884 «Ысқылап қалыптастыру әдісімен металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жоба аясында жасалынды.

Бұл мақаланың мақсаты-ысқылап қалыптастыру әдісін қолдану арқылы саусақты фрезаның тозуға төзімділігін арттыру, яғни тұрақтылық периодын арттыру болып табылады.



**Материалдар мен әдістер**

Экспериментті жоспарлау. Саусақты фрезаның тұрақтылық периодының Т болат 45 материалын өңдеу кезінде кесу режимдеріне тәуелділігін орнату қажет. Әсер етуші факторлар ретінде келесі кесу режимдері қарастырылды: фрезерлік станоктың шпинделінің айналымы n, беріліс s және ысқылап қалыптастыру уақыты t<sub>np</sub>. Тәуелділік T=f(n, s, t<sub>np</sub>) екінші дәрежелі көпмүшемен жуықтау туралы шешім қабылданды. Эксперимент екінші ретті орталық композициялық ротатабельді жоспарлау бағдарламасы бойынша жүргізілді [11]. Зерттеуде қабылданған факторлардың өзгеру деңгейлері мен аралықтары 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Факторлардың өзгеру деңгейлері мен аралықтары

Факторлар	Кодтық белгіле-нуі	Өзгеру деңгейлері	Факторлардың кодталғанға сәйкес табиғи деңгейлері				
			+1.682	+1	0	-1	-1.682
n- шпиндельінің айналымы, айн/мин	x <sub>1</sub>	20	120	100	80	60	40
s-беріліс, мм/мин	x <sub>2</sub>	12	60	48	36	24	12
t <sub>np</sub> - ысқылап қалыптастыру уақыты, мин	x <sub>3</sub>	2	10	8	6	4	2

Жоспарлау матрицасы мен тәжірибе нәтижелері 2 кестеде келтірілген. Үш факторға арналған екінші ретті орталық композициялық айналмалы жоспар 23 типті толық факторлық эксперимент жоспарынан тұрады (2 кестені қараңыз, 1–8 тәжірибелер), «жұлдызды нүктелердегі» алты тәжірибе (9–14 тәжірибелер) және жоспар орталығындағы алты тәжірибе (15–20 тәжірибелер).

Қабылданған эксперимент жоспарына сәйкес жүргізілген тәжірибелердің нәтижелері бойынша түрдің регрессия тендеуінің коэффициенттерін келесідей бағалауға болады

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

Кесте 2 – Жоспарлау матрицасы және тәжірибе нәтижелері

Номер опыта											y
1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	136
2	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	123
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	141
4	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	124
5	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	126
6	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	135
7	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	122
8	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	131
9	0	0	1,682	0	0	0	0	2,829	0	0	132
10	0	0	-1,682	0	0	0	0	2,829	0	0	125
11	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,829	0	125
12	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,829	0	131

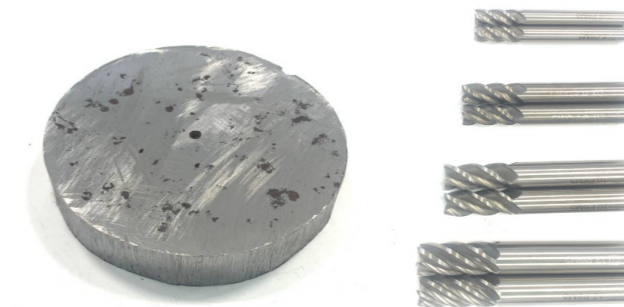
13	1,682	0	0	0	0	0	0	0	0	2,829	126
14	-1,682	0	0	0	0	0	0	0	0	2,829	127
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	154
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	154
sum	0	0	0	0	0	2	-2	13,65	13,65	13,65	2738

Жоспарлау матрицасы және тәжірибе нәтижелері кестесіндегі мәліметтермен есептеулер жүргізу барысында келесі байланыс анықталды:

$$T = 0.15nt_{np} - 0.024n^2 + 2.94n - 0.07st_{np} - 2.55t_{np}^2 + 22.05t_{np} - 0.067s^2 + 5.27s - 130. \quad (2)$$

(2) тендеуін саусақты фрезаның тұрақтылық периодының Т өлшемін есептеу үшін интерполяциялық формула ретінде пайдалануға болады.

Тәжірибелік зерттеулер. Саусақтық фрезаны өңдеу процесіне эксперименттік зерттеулер С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының зертханалық базасы жағдайында ХН950А тік-фрезерлеу станогында жүргізілді. 1-суретте пайдаланылған материалдар мен құралдар көрсетілген.



а – болат 45 дайындама; б – саусақты фрезалар (диаметрлері 6, 8, 10, 12 мм)

Сурет 1 – Пайдаланылған материалдар мен құралдар

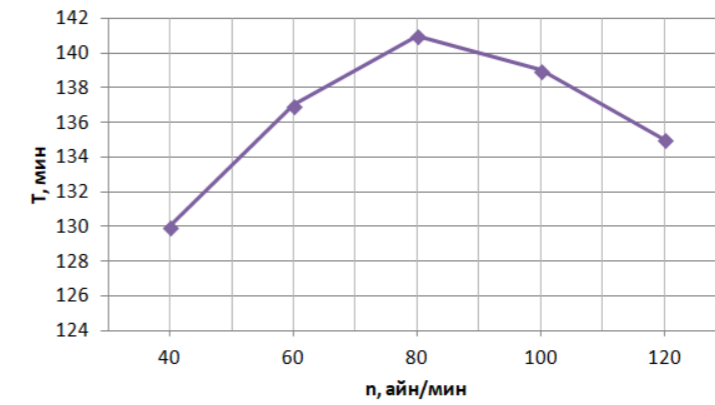
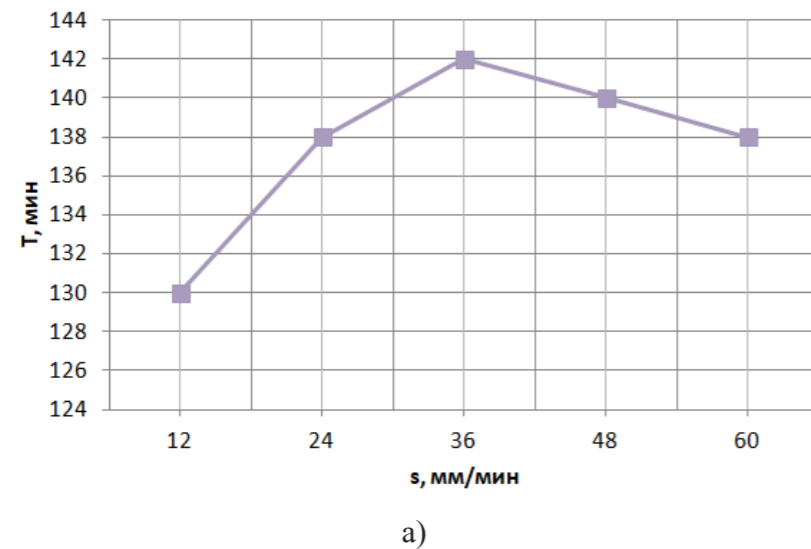
2-суретте саусақты фрезаларды ысқылап қалыптастыру процесі көрсетілген.



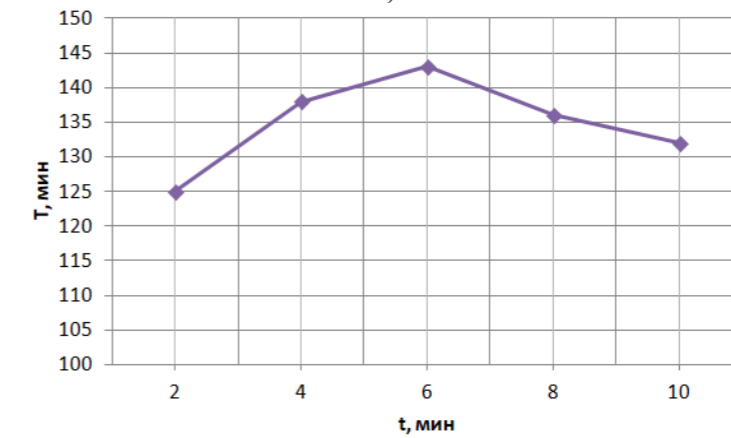
а – ысқылап қалыптастыру процесі; 1 – дайындама; 2 – саусақты фреза  
Сурет 2 – Саусақты фрезаларды ысқылап қалыптастыру процесі

**Нәтижелер мен талқылау**

Саусақтық фрезаларды ысқылап қалыптастыру келесі режимдерде жүргізілді:  $s = 12-60$  мм/мин;  $n = 40-120$  айн/мин;  $t = 2-10$  мин. Тұрақтылық кезеңін анықтау үшін бекітілген саусақтық фрезаларды сынау зертханалық база жағдайында жүргізілді. Әр түрлі режимдерде жұмыс істегеннен кейін, саусақтық фрезалардың әрқайсысы кесу жиегінің тозу белгілері пайда болғанға дейін дайындаманы өндеу үшін пайдаланылды. Бұл ретте төзімділік кезеңін анықтау үшін уақыт белгіленді. Дискілі модульдік кескіштердің төзімділік кезеңін анықтау бойынша сынақ нәтижелері графиктерде көрсетілген (3-суретті қараңыз).



б)



в)

а – тұрақтылық кезеңінің беріліске әсерінің графигі; б – тұрақтылық кезеңінің шпиндельдің айналымына әсерінің графигі; в – тұрақтылық кезеңінің ысқылап қалыптастыру уақытына әсерінің графигі

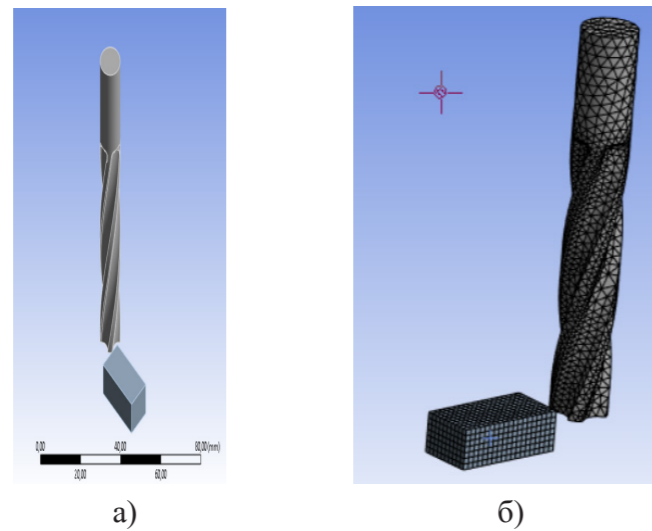
Сурет 3 – Ысқылап қалыптастыру режимдерінің саусақтық фрезаның тұрақтылық кезеңіне әсер ету графикалары

Саусақтық фрезаның тұрақтылық кезеңіне ысқылап қалыптастыру режимдерінің әсер ету графикаларынан ысқылап қалыптастыру режимдерінің белгілі бір мәндеріне дейін ұлғаюы фрезаның тұрақтылық кезеңіне оң әсер ететінін көруге болады. Берілістің  $s=12$  мм/мин-ден  $S=36$  мм/мин-ге ұлғаюы кезінде саусақтық фрезаның тұрақтылық кезеңі артады, ал берілістің одан әрі артуы теріс әсер етеді (3, а-сурет). Тұрақтылық кезеңінің  $T=142$  мин максималды ұлғаюы  $S=36$  мм/мин беріліс мәнімен қол жеткізіледі. Шпиндельдің айналымы  $n=40$  айн/мин-ден  $n=120$  айн/мин-ге ұлғаюы кезінде саусақтық фрезаның тұрақтылық кезеңі артады, ал берілістің одан әрі артуы теріс әсер етеді (3, б- сурет). Тұрақтылық кезеңінің  $T=141$  мин максималды ұлғаюы  $n=80$  айн/мин беріліс мәнімен қол жеткізіледі. Ысқылап

қалыптастыру уақыты  $t=2$ -ден  $t=6$  мин-ге дейін ұлғайған кезде, тұрақтылық кезеңі  $T=125$  мин-ден  $T=142$  мин-ге дейін артады (3, в-сурет).

Ысқылап қалыптастыру процесін модельдеу. Ысқылап қалыптастыру процесін модельдеуді орындау үшін ANSYS бағдарламасының Explicit dynamics пакеті қолданылды. Өңдеу моделі кесуші құрал мен дайындамадан тұрады. Кесуші құрал ретінде P6M5 тез кесуші материалынан жасалынған диаметрі 8 мм саусақты фреза алынды. Дайындама болат 45 материалынан қарастырылды.

4-суретте үш өлшемді дайындаманы өңдеу моделі және торды құру көрсетілген.



а – үш өлшемді дайындаманы өңдеу моделі; б – торды құру

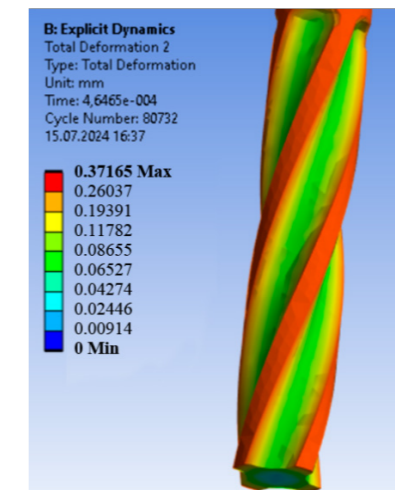
Сурет 4 – Үш өлшемді дайындаманы өңдеу моделі және торды құру

ANSYS бағдарламасында кесуші құрал материалдары мен дайындамалар сызықтық серпімді материалдар ретінде ұсынылады. Дайындама материалының механикалық қасиеттерін анықтау үшін жоңқаларды алу процесін модельдеу кезінде Джонсон – Кук модельдері қолданылады [12]. Кесуші құрал материалы мен дайындаманың сызықтық-серпімді қасиеттері 5 және 6 кестеде келтірілген.

Кесте 5 – Өңделетін және құралдық материалдың физика-механикалық қасиеттері

Материал	Болат 45	Тез кесуші болат P6M5
Тығыздық, кг/м <sup>3</sup>	7850	8550
Юнг модулі, Па	$2 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$
Пуассон коэффициенті	0,29	0,3
Балку температура (°C)	1460	-

5-суретте болат 45 материалын өңдеу кезінде саусақты фрезаның кесу бөлігін қатайту модельдері көрсетілген.



Сурет 5 – Болат 45 материалын өңдеу кезінде саусақты фрезаның кесу бөлігін қатайту моделі

Кесуші құралды алдын ала ысқылап қалыптастырудың оңтайлы режимі құралдың кесу бөлігін қатайтудың ең жақсы деформациялық-жылу жағдайларын қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ысқылап қалыптастырудан кейін саусақты фрезаның кесу бөлігінде қатайтылған қабат пайда болады (5-сурет). Болат 45 материалын өңдеу кезінде саусақты фрезаның кесу бөлігінің қатайтылған қабатының қалыңдығы 0,37 мм құрайды (5-сурет).

#### Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен AP14972884 «Ысқылап қалыптастыру әдісімен металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жоба шеңберінде орындалды.

#### Қорытынды

Эксперименттік зерттеулердің нәтижесінде ысқылап қалыптастыру режимдерінің белгілі бір деңгейге дейін ұлғаюы ( $s = 36$  мм/мин;  $n = 80$  айн/мин;  $t = 6$  мин) құралдың беріктігіне оң әсер ететіндігі анықталды. Бұл жағдайда құралдың тұрақтылық кезеңін  $t=142$  минутқа дейін арттыруға қол жеткізілді. Сондай-ақ, құралды алдын ала ысқылап қалыптастырудың оңтайлы режимдерінде құралдың кесу бөлігін беріктендіру үшін ең жақсы деформациялық-жылу жағдайлары қамтамасыз етілетіні анықталды. Компьютерлік модельдеу нәтижелері көрсеткендей, ысқылап қалыптастырудан кейін саусақты фрезаның кесу бөлігінде қалыңдығы 0,37 мм болатын қатайтылған қабат пайда болады.



1 **Dudak, N., Itybayeva, G., Kasenov, A., Mussina, Zh., Taskarina, A., Abishev, K.** Multi-ute drill-broach for precision machining of holes // *Scientia Iranica, Transactions B: Mechanical Engineering*. – 26. – 2019. – P. 1415–1426. – <https://doi.org/10.24200/sci.2018.5623.1379>

2 **Лебедев, В. Я.** Влияние касательного перемещения режущего лезвия на производительность механической обработки // *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Engineering*. – 2017. – № 2 (80), С. 84–91. – [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-84-91](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-84-91)

3 **Youcef Abidi.** 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. – <https://doi.org/10.1063/1.5112619>

4 **Якубов, Ф. Я., Ким, В. А.** Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента. – Симферополь: Крымское учебно педагогическое государственное издательство. – 2009. – 300 с.

5 **Мардонов, Б. Т., Шеров, К. Т., Равшанов, Ж. Р.** Анализ интенсивности предварительно приработанного инструмента, а также его надёжности, стойкости и стабильности // *Journal of Advances in Engineering Technology Vol.2(4) Республика Узбекистан, г. Навои*. – 2021 г., С. 33.

6 **Равшанов, Ж. Р., Жураев, Н. Н., Исаев, Д. Т.** Роль деформационно-термических процессов в структурной приспособляемости режущего инструмента // *Научный журнал «Вестник магистратуры» № 6-5 (69) 2017 Россия, Республика Марий, г. Йошкар-ола*.

7 **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>

8 **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>.

9 **Sagitov, A., Sherov K., Mardonov, B., Akhmetov, Y., Ramazanova Z., Ainabekova, S., Tattimbek, G., Tussupbekova, G., Esirkeпов, A.** Experimental Study of Improving the Durability of a Cup Cutter by Pre-Processing // *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. – 2023; – 7(4):146. – <https://doi.org/10.3390/jmmp7040146>

10 **Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Ravshanov, J. R., Tussupbekova, G. M.** Study of relationship between the processed material hardness and the pretreatment speed // *Наука и техника Казахстана. – Павлодар: Изд-во «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова*. – 2023. – № .3 – С. 122–132. – <https://doi.org/10.48081/ABUL1117>

11 **Косенко, Е. А.** Планирование эксперимента (в машиностроении): учебно-методическое пособие / Е. А. Косенко. – М.: МАДИ. – 2023. – 56 с.

12 **Бузюркин, А. Е., Гладкий, И. Л., Краус, Е. И.** Определение параметров модели Джонсона-Кука для описания процессов деформирования и разрушения титановых сплавов // *Прикладная механика и техническая физика*. – Т. 56. – № 2. – 2015. – С. 82–93.

## REFERENCES

1 **Dudak, N., Itybayeva, G., Kasenov, A., Mussina, Zh., Taskarina, A., Abishev, K.** Multi-ute drill-broach for precision machining of holes // *Scientia Iranica, Transactions B: Mechanical Engineering*. – 26. – 2019. – P. 1415–1426. – <https://doi.org/10.24200/sci.2018.5623.1379>

2 **Lebedev, V. Ya.** Vliyanie kasatel'nogo peremesheniya rezhushchego lezviya na proizvoditelnost mehanicheskoy obrabotki [The effect of the tangential movement of the cutting blade on the machining performance] // *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Engineering*. – 2017. – № 2 (80), P. 84–91. – [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-84-91](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-84-91)

3 **Youcef Abidi.** 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. – <https://doi.org/10.1063/1.5112619>

4 **Yakubov, F. Ya., Kim, V. A.** Strukturno-energeticheskie aspekty uprochneniya i povysheniya stojkosti rezhushchego instrumenta [Structural and energy aspects of hardening and increasing the durability of cutting tools]. – Simferopol: Krymskoe uchebno pedagogicheskoe gosudarstvennoe izdatelstvo. – 2009. – 300 p.

5 **Mardonov, B. T., Sherov, K. T., Ravshanov, Zh. R.** Analiz intensivnosti predvaritel'no prirabotannogo instrumenta, a takzhe ego nadyozhnosti, stojkosti i stabil'nosti [Analysis of the intensity of a pre-designed tool, as well as its reliability, durability and stability] // *Journal of Advances in Engineering Technology Vol.2(4) Respublika Uzbekistan, g. Navoij 2021*. – 33 p.

6 **Ravshanov, Zh. R., Zhuraev, N. N., Isaev, D. T.** Rol' deformatsionno termicheskikh processov v strukturnoj prispoblivayemosti rezhushchego instrumenta [The role of deformation and thermal processes in the structural adaptability of the cutting tool] // *Nauchnyj zhurnal «Vestnik magistratury» № 6–5 (69) 2017 Rossiya, Respublika Marij, g. Joshkar-ola*.

7 **Sherov, K. T., Sagitov, A. A., Userbaev, M. T., Sherov, A. K., Tusupbekova G. M.** Sposob povysheniya iznosostojkosti metallorazreshushih instrumentov [A way to increase the wear resistance of metal-cutting tools] // *Vestnik ENU imeni L. N. Gumileva. Seriya tehnicheckie nauki i tehnologii – Nur-Sultan: Izd-vo ENU*. 2022. – № 3(140). – P. 141–149. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-141-149>

8 **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 tehnicheckie nauki i tehnologii – Astana: Izd-vo ENU, 2022. – № 4(141) – P. 87–97. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97>.

9 Sagitov, A., Sherov, K., Mardonov, B., Akhmetov, Y., Ramazanov, Z., Ainabekova, S., Tattimbek, G., Tussupbekova, G., Esirkepov, A. Experimental Study of Improving the Durability of a Cup Cutter by Pre-Processing // Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2023; 7(4):146. – <https://doi.org/10.3390/jmmp7040146>

10 Sagitov, A. A., Sherov, K. T., Mardonov, B. T., Ravshanov, J. R., Tussupbekova, G. M. Study of relationship between the processed material hardness and the pretreatment speed // Nauka i tehnika Kazahstana. – Pavlodar: Izd-vo «KEREKU» PGU im. S. Torajgyrova, 2023. – № 3. – P. 122–132. – <https://doi.org/10.48081/ABUL1117>

11 Kosenko, E. A. Planirovanie eksperimenta (v mashinostroenii) [Experiment planning (in mechanical engineering)]: uchebno- metodicheskoe posobie / E. A. Kosenko. – M.: MADI, 2023. – 56 p.

12 Buzyurkin, A. E., Gladkij, I. L., Kraus, E. I. Opredelenie parametrov modeli Dzhonsona-Kuka dlya opisaniya processov deformirovaniya i razrusheniya titanovyh splavov [Determination of the parameters of the Johnson-Cook model for describing the processes of deformation and fracture of titanium alloys] // Prikladnaya mehanika i tehniceskaya fizika. – T. 56. – № 2. – 2015. – P. 82–93.

10.09.24 ж. баспаға түсті.

12.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\*А. А. Сагитов<sup>1</sup>, А. К. Шеров<sup>2</sup>, Д. Ш. Косатбекова<sup>3</sup>,  
Г. М. Тусупбекова<sup>4</sup>, А. Б. Есиркепова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Қазақстанның агротехникалық зерттеуші университетінің атындағы С. Сейфуллин атындағы университеті, Астана, Қазақстан

<sup>5</sup>Қарағандың техникалық университетінің атындағы А. Сағинова атындағы университеті, Қарағанда, Қазақстан

Поступило в редакцию 10.09.24.

Поступило с исправлениями 12.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

Цель этой статьи - повысить износостойкость концевой фрезы с помощью метода приработки. Ротatable second-order планирование второго порядка используется для планирования экспериментального исследования процесса приработки концевой фрезы. Экспериментальные исследования по приработке концевых фрез проводились на вертикально-фрезерном станке ХН950А при фрезеровании заготовки из материала стали 45. Установлено, что увеличение режимов обработки до определенных их значений ( $s = 36$  мм/мин;  $n = 88$  об/мин;  $t = 6$  мин) положительно влияет на период стойкости

инструмента. При этом удалось увеличить период стойкости инструмента до  $t=142$  минут. Определение периода стойкости концевой фрезы выполнялось в условиях лабораторной базы. После предварительной приработки определялся длительность работы фрезы с резанием заготовки. Установлено, что оптимальный режим приработки инструмента обеспечивает наилучшие деформационно-тепловые условия для упрочнения режущей части инструмента. В результате моделирования с помощью программы ANSYS, по сути, было обнаружено, что после обработки на режущей части концевой фрезы образуется упрочненный слой. Исследовательские работы выполнены в рамках грантового проекта АР14972884 «Повышение износостойкости металлорежущих инструментов методом приработки».

Ключевые слова: износ инструмента, метод приработки, концевая фреза, период стойкости, режимы обработки, износостойкость, упрочнение.

\*А. А. Сагитов<sup>1</sup>, А. К. Шеров<sup>2</sup>, Д. Ш. Косатбекова<sup>3</sup>,  
Г. М. Тусупбекова<sup>4</sup>, А. Б. Есиркепова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

<sup>5</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Received 10.09.24.

Received in revised form 12.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

### INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE END MILL

The purpose of this article is to increase the wear resistance of the end mill using the burn-in method. Rotatable second-order planning is used to plan an experimental study of the end mill run-in process. Experimental studies on the running-in of end mills were carried out on a vertical milling machine HN950A when milling a workpiece made of 45 steel material. It was found that increasing the processing modes to certain values ( $s = 36$  mm/min;  $n = 88$  rpm;  $t = 6$  min) has a positive effect on the tool life. At the same time, it was possible to increase the tool life to  $t = 142$  minutes. The determination of the durability period of the end mill was carried out in a laboratory environment. After preliminary running-in, the duration of operation of the milling cutter with cutting of the workpiece was determined. It is established that the optimal running-in mode of the tool provides the best deformation and thermal conditions for hardening the cutting part of the tool. As a result of modeling using the ANSYS program, in fact, it was found that after processing, a hardened layer forms on the cutting part of the end mill. The research work was carried out within the framework of the grant project AR14972884 «Increasing the wear resistance of metal-cutting tools by the burn-in method».

Keywords. Tool wear, working method, end mill, durability period, processing modes, wear resistance, hardening.



\*М. Сағынтай<sup>1</sup>, А. Мустафа<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;<sup>2</sup>«RnD Center» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.\*e-mail: [mukhagali.sagyntay@gmail.com](mailto:mukhagali.sagyntay@gmail.com)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7946-1568><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4751-7141>**АДДИТИВТИ ТЕХНОЛОГИЯДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН АРМАТУРАЛЫҚ СЫРЫҚТАРДЫҢ ДӘНЕКЕРЛЕУ КЕЗІНДЕГІ ҚЫЗУЫН ЗЕРТТЕУ**

*Аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі – оны стандартты бүдірлі болат арматуралық сырықтармен арматуралау болып тұр. Стандартты бүдірлі болат арматуралық сырықтардан автоматты режимде арматуралық тор жасау үшін арнайы автоматты арматуралаушы механизм жасалды. Автоматты арматуралаушы механизм арматуралық сырықтарды көлденең және тік бағытта орналастырып, оларды өзара байланыстыру үшін нүктелі түйіспелі дәнекерлеуді қолданады. Нүктелі түйіспелі дәнекерлеу кезінде жылу мыстан жасалған электродтар арқылы дәнекерленетін тік және көлденең орналасқан арматуралық сырықтарға беріледі. Дәнекерлеу үрдісі өте жылдам жүретіндіктен дәнекерленіп жатқан тік және көлденең орналасқан арматуралық сырықтардың қызуы мен сууын визуалды бақылау мүмкін емес. Тік және көлденең орналасқан арматуралық сырықтардың қанша температураға дейін қызатынын анықтау үшін және олардың қызуы мен суу уақытын нақты білу үшін InfraTec VarioCAM HD head деп аталатын жоғары ажыратымдылықтағы тепловизор қолданылды. Бұл тепловизор дәнекерленген арматуралық сырықтар 0,5 секунда 150 °C-ден астам градусқа қызып, тек 49 секундтан кейін барып 37,9 °C-қа дейін суытынын көрсетті. Бұл дәнекерленген арматуралық сырықтарды суыту үшін автоматты арматуралаушы механизмге қосымша суыту жүйесінің қажеттігін көрсетті.*

*Кілтті сөздер: аддитивті технология, стандартты болат арматура, аддитивті технологиядағы арматуралау, арматуралық тор, арматуралаушы механизм.*

**Кіріспе**

Аддитивті технологияның дүниеге келуін Чарльз Халлдың 1986 жылы 3D баспа технологиясының алғашқы аппаратын патенттеуімен байланыстырады [1, 1–б.]. Ал, құрылыстағы аддитивті технологияның негізі Behroх Хошневистің Contour Crafting технологиясын ойлап табуымен қаланды деп есептеледі [2, 1–б.]. Дегенмен, құрылыс материалдарын қабаттап құйып отырып, ғимарат салу технологиясы АҚШ-та 20-ғасырдың 30–40 жылдары жүзеге асқаны белгілі [3, 1–б.]. Оған дәлел Е. Уршелдің 1944 жылы алған патенті [4, 2–б.], ол патент

алумен тоқталмай өз технологиясын дәлелдеу үшін пішіні жұмыртқа тәріздес үй салған [5, 1–б.], сонымен қатар, оны арматуралауды да ойластырған, әрине, арматура қолмен салынды [6, 1–б.]. Қазіргі уақытқа дейін стандартты болат арматурамен арматуралау үрдісі 3D баспаға дейін [7, 2–б.], 3D баспа барысында [8; 9] және басып шығарудан кейін [10; 11] қолмен жүргізіледі. Сол заманнан бері аутоматты арматуралау мәселесі өзекті болып келеді.

Цюрих техникалық университетінің зерттеу тобы стандартты болат арматурадан автоматты режимде арматуралық торды құру мәселесін шеше алды [12, 7–10-б.]. Ол үшін тік және көлденең бағыттағы арматуралық сырықтарды түйіспелі дәнекерлеу арқылы байланыстыра отырып арматуралық тор жасайтын құрылғы жобалап жасады. Бұл жерде бірінші арматуралық тор толық құрылып болған соң ғана бетон қолмен құйылады, сәйкесінше дәнекерлеу кезінде қызған арматуралық сырықтар суып үлгереді.

Classen және авторлар 3D баспа барысында стандартты болат арматураны автоматты түрде арматуралау тұжырымдамасын ұсынды [13, 6–9-б.]. Бұл жұмыста арматураларды 3D баспа барысында ұзарту үшін доғалы дәнекерлеуді қолданған. Дегенмен, нақты тәжірибе кезінде тұжырымдама қағидаларынан ауытқып, арматуралық тор алдын ала қолмен жасалып, сосын барып бетон 3D баспаланған. Сәйкесінше, 3D баспа барысында дәнекерлеуден кейін қызып тұрған арматура ылғал бетонмен жанасқанда булану болмаған.

Мақала авторлары алдыңғы жұмысында [14, 238-240-б.] 3D баспа барысында стандартты болат арматураны автоматты түрде арматуралауға мүмкіндік беретін аутоматты арматуралаушы механизмнің тұжырымдамасын ұсынған еді. Тұжырымдамаға сәйкес арматуралық тор 3D баспа барысында құрылып, бірден бетонға интеграциялану керек. Осы жерде дәнекерлеу кезінде қызған арматуралық сырықтар ылғал бетонға жанасқанда булану болуы мүмкін. Ол өз кезегінде бетон ішінде қуыс кеуектер тудыру қауіпі бар. Сондықтан, арматуралық сырықтардың дәнекерлеу кезінде қанша температураға дейін қызатынын және олардың қызуы мен суу уақытын зерттеу керек.

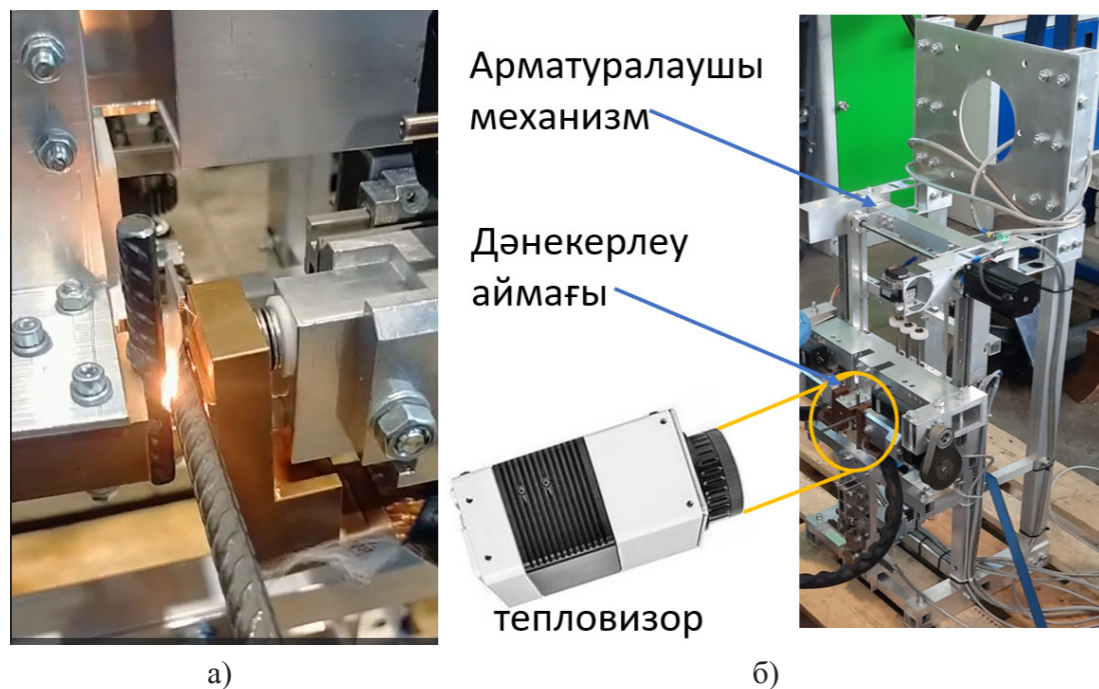
**Материалдар мен әдістері**

Арматуралық сырық ретінде DIN 488-1:2009-08 стандартына сәйкес жасалған диаметрі 8 мм болатын бүдірлі болат арматура қолданылды. Түйіспелі дәнекерлеуші аппарат ретінде Expert D64653 LORSCH аппараты қолданылды. Дәнекерленген арматуралық сырықтардағы жылуды өлшеу үшін InfraTec VarioCAM HD head деп аталатын жоғары ажыратымдылықтағы тепловизор қолданылды.

Автоматты арматуралаушы механизм көлденең және тік арматуралық сырықтарды бір-біріне қатысты крест тәріздес орналастырып, электродтарымен қысып дәнекерлеп отырды (1а-сурет). Тепловизор дәнекерлеу аймағынан 60 см арақашықтықта орналастырылып, оның фокусы дәнекерлеу аймағына бағытталды. 1б-суретте тепловизордың фокусы шартты түрде сары түсті шеңбермен және сызықтармен көрсетілген. Тепловизордың оптикасы көлденең арматуралық сырықтың өстік сызығына қатысты параллель орналастырылды да тек сол



бағыттан өлшенді. Тік арматуралық сырыққа қатысты параллель орналастыруға автоматты арматуралаушы механизмнің басқа бөліктері кедергі жасады.

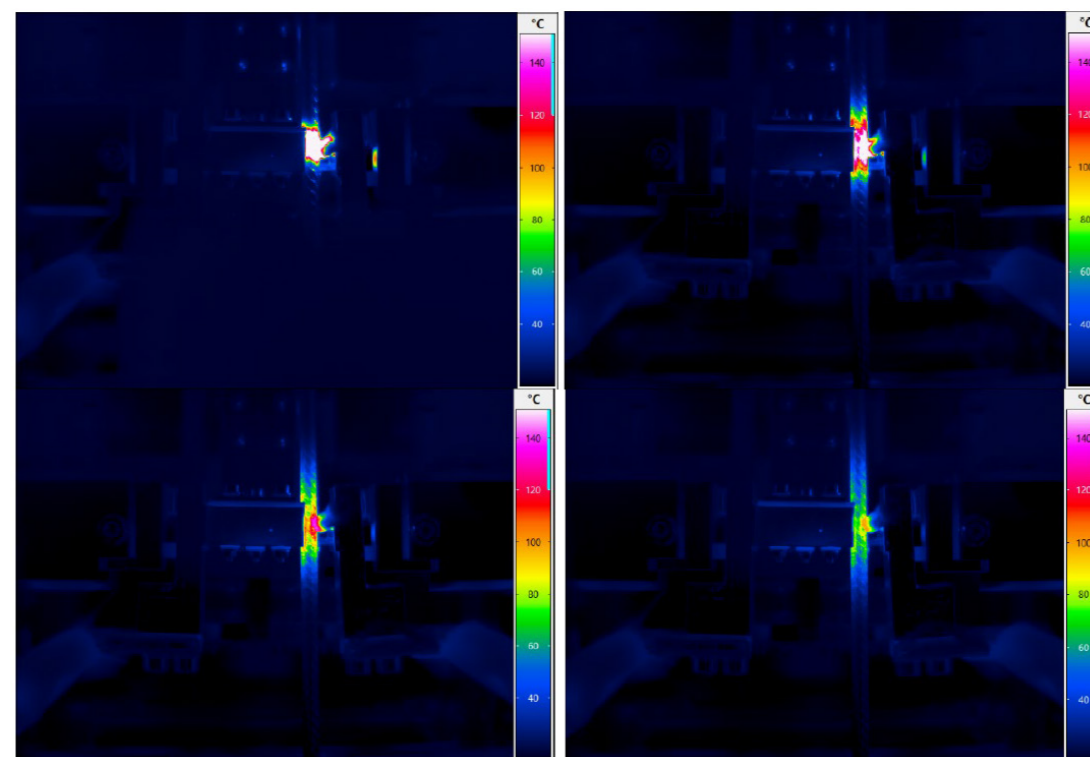


Сурет 1 – Тәжірибе жасау: а – арматуралық сырықтарды дәнекерлеу, б – тепловизормен жылу өлшеудің шартты сұлбасы

InfraTec VarioCAM HD head жоғары ажыратымдылықтағы тепловизор компьютерге жалғанып, өзінің арнайы бағдарламасында өлшенген мәндерді электронды түрде жазып, инфрақызыл суреттерді сақтап отырды. Тәжірибе 150-ден астам рет қайталанып, мәндер MS Excel бағдарламасына өткізіліп, сонда өңделді.

**Нәтижелер мен талқылау**

Тепловизордан алынған нәтижелер жылу көзі тік және көлденең арматуралар түйіскен нүктеде екенін көрсетті. Сосын жылу біртіндеп арматуралық сырық бойымен сол нүктенің асты мен үсті жағына тарап, ақырындап суыйтынын анықталды (2-сурет).



Сурет 2 – Тепловизордан алынған суреттер: дәнекерлеу кезінде арматуралық сырықтардың қызуы мен сууы

Дәнекерлеу үрдісі 0,3 секундта жүреді. Дәнекерлеу басталғаннан бастап 0,5 секундта арматуралық сырықтар 150 °C-ден астам қызады. Сосын ақырындап суып бастайды. 3-суреттегі диаграммада көрсетілгендей суу үрдісі қызуға қарағанда ұзақ жүреді. 49 секундтан кейін 37,9 °C-қа дейін суыйды.

Автоматты арматуралаушы механизм бетонды 3D баспалайтын шүмектің алдына орнатылатынын ескерсек, онда арматуралық тордың қалай тез қызатын болса, солай тез сууын қамтамасыз ету керек. Әйтпесе, бетонның құрамындағы су буланып, бу қысымымен бетон мен арматуралық сырық арасында кеуектер қалыптастыру қаупі бар. Мұндай кеуектер бетон мен арматура байланысын әлсіретіп қоймай, сонымен қатар, ішкі кернеулердің шоғырлану аймағына айналу қаупі



Сурет 3 – Арматуралық сырықтың қызып-суу диаграммасы бар.

Сондықтан, дәнекерленген арматуралық сырықтарды белсенді түрде суыту мүмкіндіктерін қарастырған абзал.

Авторлар ұсынған тұжырымдама бойынша автоматты арматуралаушы механизм шүмектің алдына орнатылады. Шүмек пен автоматты арматуралаушы механизмнің дәнекерлеуші бөлігінің артқы жағындағы шеткі орнының арасындағы арақашықтық 160 мм шамасында және 3D баспаның орташа жылдамдығы 80 мм/с. Сонда дәнекерлеуден кейін қызған арматуралық сырықтар максимум 2 секундта суып үлгеруі керек.

#### Қорытынды

3D баспаланған бетонды арматуралау – құрылыстағы аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі болып тұр. Мақала авторлары ұсынған тұжырымдама бұл мәселені шешуге бағытталған. Дегенмен, 3D баспа барысында түйіспелі дәнекерлеуді қолданып арматуралық тор жасағанда дәнекерленген арматуралық сырықтардың қызып, бетонға интеграцияланға дейін суып үлгермеу мәселесі туындайды. Мақала осы мәселенің анықтап зерттеуге бағытталған.

Зерттеу нәтижесі дәнекерлеуден кейін қызған арматуралық сырықтардың суу үрдісін кем дегенде 50 есе жылдамдату керектігін көрсетті. Келесі жұмыстарда дәнекерленген арматуралық сырықтарды суытудың әртүрлі тәсілдері зерттелетін болады және суыту жүйесін автоматты арматуралаушы механизмнің қай жеріне орналастыру оңтайлы болатындығы анықталатын болады.

#### Қаржыландыру бойынша ақпарат

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу аясында жүзеге асырылды (Грант №AP19178044).

#### REFERENCES

- 1 Savvides, L. A. History of 3D Printing: Three Waves of Development. Emerald Publishing Limited, Leeds – 2021. – P. 29–51. – <https://doi.org/10.1108/978-1-80071-665-020211005>
- 2 Smith, D. Printed buildings: an international race for the ultimate in automation. // Construction Research and Innovation – 2012. – Vol. 3(2). – P. 26–31. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1080/20450249.2012.11873838>
- 3 The Real First 3D Printed Building (1930's). – [Electronic resource]. – <https://www.youtube.com/watch?v=DI9rhG5BPrM&t=257s>
- 4 URSCHEL, W.E. Қабырғаларды салуға арналған машина. Патент АҚШ № 2,339,892. 25 қаңтар 1944. АҚШ, Патенттік ведомство.
- 5 Concrete Without Forms. <https://www.youtube.com/watch?v=nkxe9uK8jSo>
- 6 Urschel Wall Building Machine. – [Electronic resource]. – <https://www.youtube.com/watch?v=QXqwnJTVSsE>
- 7 Liu, M., Wang, L., Ma, G., Li, W., Zhou, Y. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // Materials Letters. – 2023. – Vol. 331. – <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133429>
- 8 [Electronic resource]. – <https://www.youtube.com/shorts/bMlvx9u4kkA>
- 9 [Electronic resource]. – <https://www.youtube.com/shorts/b97-PX8HIU>
- 10 Asprone, D., Auricchio, F., Menna, C., Mercuri V. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 165. – P. 218–231. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>.
- 11 Gebhard, L., Mata-Falcón, J., Anton, A., Dillenburger, B., Kaufmann, W. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 240. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380>.
- 12 Hack, N., Dörfler, K., Walzer, A.N., Wangle, T., Mata-Falcón, J., Kumar, N., Buchli, J., Kaufmann, W., Flatt, R. J., Gramazio, F., Kohler, M. Structural stay-in-place formwork for robotic in situ fabrication of non-standard concrete structures: a real scale architectural demonstrator // Automation in Construction – 2020. – Vol. 115. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103197>.
- 13 Classen, M., Ungermann, J., Sharma, R. Additive Manufacturing of Reinforced Concrete—Development of a 3D Printing Technology for Cementitious Composites with Metallic Reinforcement. // Applied Sciences – 2020. – Vol. 10(11). – <https://doi.org/10.3390/app10113791>
- 14 Сағынтай, М., Мустафа, А., Нұрман, Е. 3D баспаланған бетонды арматуралауға арналған аутоматты арматуралаушы механизм. //Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ хабаршысы. Техникалық ғылымдар және технология сериясы. – 2023. – № 4/2023.

09.09.24 ж. баспаға түсті.  
 11.09.24 ж. түзетулерімен түсті.  
 12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\**М. Сағынтай*<sup>1</sup>, *А. Мустафа*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Сатбаев университет, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>ТОО «RnD Center», Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 09.09.24.

Поступило с исправлениями 11.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ СВАРКЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Одной из актуальных проблем аддитивной технологии является армирование стандартными рифлёными стальными арматурными стержнями. Для автоматического изготовления арматурной сетки из стандартных рифлёных стальных стержней был создан специальный автоматический механизм армирования. Автоматический механизм армирования размещает арматурные стержни в горизонтальном и вертикальном направлениях и использует точечную контактную сварку для их соединения. При точечной контактной сварке тепло передается через электроды, сделанные из меди, на свариваемые вертикально и горизонтально расположенные арматурные стержни. Поскольку процесс сварки происходит очень быстро, визуально контролировать нагрев и охлаждение вертикально и горизонтально расположенных арматурных стержней невозможно. Для определения температуры нагрева вертикально и горизонтально расположенных арматурных стержней, а также точного времени их нагрева и охлаждения был использован тепловизор с высоким разрешением InfraTec VarioCAM HD head. Этот тепловизор показал, что сваренные арматурные стержни нагреваются до более чем 150°C за 0,5 секунды и остывают до 37,9°C только через 49 секунд. Это показало необходимость установки дополнительной системы охлаждения для автоматического армирующего механизма.

Ключевые слова: аддитивная технология, стандартная стальная арматура, армирование в аддитивных технологиях, арматурная сетка, армирующий механизм.

\**М. Sagyntay*<sup>1</sup>, *А. Mustafa*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>«RnD Center» LLP, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 09.09.24.

Received in revised form 11.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

### RESEARCH ON THE HEATING OF REINFORCEMENT BARS DURING WELDING USED IN ADDITIVE TECHNOLOGIES

One of the current challenges in additive technology is the reinforcement with standard ribbed steel bars. A special automated reinforcement mechanism was developed to automatically produce reinforcement mesh from standard ribbed steel bars. The automated reinforcement mechanism arranges the reinforcement bars in both horizontal and vertical directions and uses spot contact welding to join them. During spot contact welding, heat is transferred through copper electrodes to the vertically and horizontally placed reinforcement bars being welded. Since the welding process occurs very quickly, it is impossible to visually monitor the heating and cooling of the vertically and horizontally arranged bars. To determine the temperature reached by the vertically and horizontally arranged bars during heating, as well as to precisely measure their heating and cooling times, a high-resolution InfraTec VarioCAM HD head thermal imager was used. This thermal imager showed that the welded bars heat up to over 150°C in 0.5 seconds and cool down to 37.9°C only after 49 seconds. This indicated the need for an additional cooling system for the automated reinforcement mechanism.

Keywords: additive technology, standard steel reinforcement, reinforcement in additive technologies, reinforcement mesh, reinforcement mechanism.



**B. K. Smailova<sup>1</sup>, \*T. M. Buzauova<sup>2</sup>,  
I. A. Bartenev<sup>3</sup> J. Škamat<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Karaganda Technical University named after Abulkas Saginov,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda

<sup>4</sup>Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, Vilnius

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

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4506-6815>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4516-0699>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4441-6839>

### **ANALYSIS OF THE QUALITY OF THE RESTORED GEAR TOOTH OF LARGE-MODULE GEARS**

*This study examines the quality of a gear tooth surface fragment restored through electric arc welding. Visual inspection revealed a defect-free, dense surface. Macrostructure examination displayed uniformity and absence of cracks in the metal sample. The high hardness (HRC-36.61) of the weld deposit is crucial for wear resistance, while the base metal, with lower hardness (HRC-29.09), ensures ductility and impact toughness. Martensitic and residual austenitic structures in the weld deposit indicate deformation-resistant properties, with austenite providing good ductility and martensite contributing to high hardness and strength, making the material resistant to wear and deformation under dynamic loads. Thin lens-like martensitic plates and a reed-like structure suggest unique formation characteristics during electroslag welding's oxidizing-reducing reactions. Microstructure analysis revealed a finer structure in the weld deposit compared to the base metal. The base metal exhibited a ferrite-pearlite structure typical of many steels, unchanged after welding. The weld deposit showed elevated carbon (0.70 %) and manganese (1.38 %) concentrations, typical for weld deposits, influencing mechanical properties. Elements like manganese and molybdenum enhance wear resistance, while the presence of chromium (0.42 %) and nickel (0.12 %) improves corrosion resistance, crucial in aggressive environments.*

*Keywords: large-module gears, tooth wear, electro slag surfacing, hardness, analysis*

#### **Introduction**

Ball drum mills (BDM) grind materials like anthracite, rock, brown coal, and shale to a powdery state, designed for continuous operation in dust preparation systems of thermal power plants. They're selected based on norms for designing and calculating dust preparation units.

Operating grinding machines in thermal power plant dust preparation systems involves a continuous technological process. Interruptions in any component lead to

system shutdown, emphasizing the need for extended component lifespans and relevance of restoring worn parts.

Intensive abrasive wear during operation disrupts interactions, leading to additional loads, impacts, and vibrations, causing unexpected failures. Traditional methods of restoring worn teeth lack durability, necessitating repeated repairs

Surfacing techniques improve wear, acid, and heat resistance directly on product surfaces. Various methods exist, each with unique benefits. Gears, challenging due to volume and structure, require careful consideration of factors like heat dissipation and dimensional consistency during repair.

Developed technology allows simultaneous restoration of multiple worn gear teeth in thickness and profile. Successfully tested at Karaganda Technical University's International Welding Laboratory, metallographic analysis confirms desired properties, demonstrating effectiveness in preventing failures and enhancing mill reliability and efficiency in thermal power plant conditions.

Tooth wear is more often observed in open gears, such as the drive of a ball drum mill, than in closed ones, it consists of abrasion of the working surfaces (Fig.1, a) due to ingress of metal particles, dust, dirt (abrasive wear) into the engagement zone. Worn teeth have increased gaps in engagement and, as a result, increased noise, vibration, dynamic overload; distorted tooth shape (Fig.1, b); reduced cross-sectional dimensions, and hence the strength of the tooth.

#### **Literature review**

Restoring the operability of gears is a laborious process that can be performed by various methods, depending on the condition and nature of damage to the gear [1]. It is more advisable to restore large steel gears by completely cutting off worn teeth on lathes, automatic surfacing under a layer of flux along the outer surface to the full height of the teeth, processing the deposited layer on lathes, and cutting teeth on a gear milling machine. Metal of the same chemical composition as the deposited gear is used as an additive material [2].

By surfacing, an alloy with a desirable set of properties can be obtained directly on the working surface of the product: wear-resistant, acid-resistant, heat-resistant, etc. For these purposes, many technological techniques have been developed that have led to a variety of types of surfacing [3].



a) changing the size of the tooth



b) changing the shape of the tooth

Figure 1 – Worn drive gears of Ball drum mills

The exquisite difficulty in electro-slag surfacing is represented by two points: the initial process of induction of the slag bath and the stability of the electro-slag process itself [4]. To facilitate the creation of a slag bath, special fluxes are mainly used [5]. Stabilization of the electro-slag process itself is achieved in various ways: by using special current sources, increasing the diameter of the electrode wire, and intermittently supplying electrical power to the welding zone with a continuous supply of electrode wire [6].

The length of the gear teeth of ball mills reaches 450 mm. The increased requirements for the cleanliness of the tooth surfaces exclude the use of sliders moving during welding and dictate the use of a fixed coquille. In this case, a melting mouthpiece becomes inevitable, designed primarily to direct the welding wire into the melting zone [7, 8]. The development of electroslag surfacing has shown a significant advantage of this method compared to arc welding [9, 10].

#### Methods and methodology

In the course of the study the following methods were applied: the existing literature was analyzed to familiarize with the methods of restoration of gear teeth. An experimental approach was applied, including the use of an electro-slag surfacing method for gear teeth restoration. Testing of the developed device for electro-slag surfacing and verification of compliance of the restored gear teeth with the requirements of the working drawings.

The research methodology includes the following main stages: identification of mechanism parts with a high degree of wear; development of equipment for electro-slag surfacing, including the development of working drawings, manufacturing of parts and assemblies, as well as their subsequent assembly and testing; development of the crystallizer design, ensuring compliance of the part dimensions with the drawings; surfacing of teeth on the electro-slag surfacing unit; verification of compliance of the surfaced tooth dimensions with the requirements of the drawings; assembly of the restored drive pinion.

#### Findings/Discussion

As a result of electro-slag surfacing, a sample of a drive gear tooth was obtained, shown in Figure 2. In this figure, numbers 1 indicates the prepared surface of the gear before surfacing (base metal of the gear), 2 – the area exposed to electro-slag surfacing (slag), 3 – the deposited tooth. Welded teeth are the main element in the restoration of worn parts, and their quality and compliance with standards play an important role in ensuring the reliable operation of mechanisms. This sample was subjected to quality assessment and checking for compliance with the drawings.

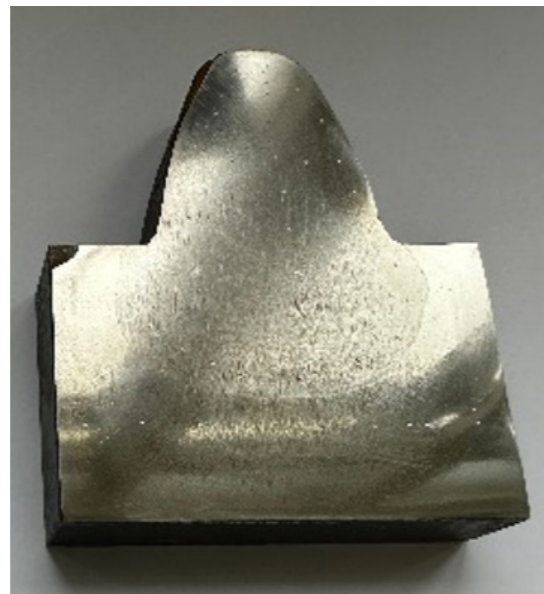


1 - the main metal of the gear, 2 – the area exposed to electro-slag surfacing (slag), 3 – the surfaced tooth

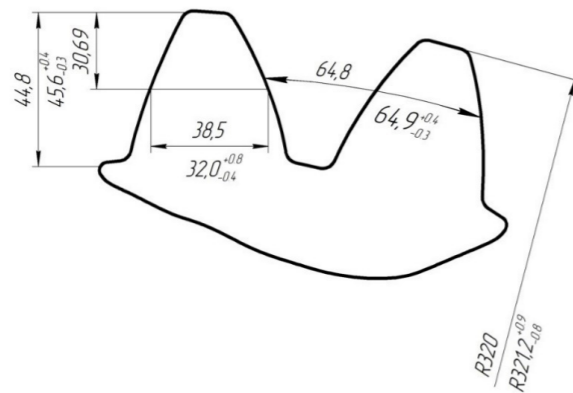
Figure 2 – A sample of a surfaced tooth

After surfacing, the teeth were subjected to inspection (visual inspection) (Fig.3, a) and verification of geometric parameters (Fig.3, b). Visual inspection did not reveal any surface defects: pores, cracks, shrinkage shells, non-melting, etc.





a)



b)

Figure 3 – Control of deposited tooth parameters

Hardness was measured using the Rockwell method (GOST 9013-59) at a temperature of +200C on two metal samples, Figure 4, with a TEMP-4 hardness tester (small portable electronic hardness tester).



Figure 4 – Fragment of a deposited tooth with applied hardness values

The hardness testing results are presented in Table 1.

Table 1 – Rockwell hardness measurement results

Hardness, HRC	
Welded part (average value, HRC)	Main part (average value, HRC)
36,61	29,09

The chemical composition of the sample was controlled according to GOST 22536.5 (clauses 3.4), GOST 22536.10-88 (clause 2), GOST 22536.2 (clause 2), GOST 12354-81 (clause 3). The results of the chemical analysis are presented in Table 2.

Table 2 – Results of chemical analysis of gear fragments (fused tooth)

Sample no.	Name of indicators (mass fraction, %)											
	Al	C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	V
1 (welded part)	0,006	0,70	1,38	0,010	0,028	0,66	0,42	0,12	0,13	0,013	-	-
1 Base metal	0,014	0,69	0,16	0,006	0,005	0,17	0,06	0,11	0,11	-	-	-

The macrostructure of the sample was examined according to GOST 10243-75 «Steel. Test methods and evaluation of the macrostructure» after etching in 50 % hydrochloric acid. The macrostructure of the gear fragment (fused tooth) is dense without cracks. After visual inspection after etching, the sample was prepared for



chemical and metallographic analyses (sawing, grinding, polishing, etching). The place where the template was cut for metallographic examination is shown in Figure 5. The preparation of the template for microstructure research was carried out on an EcoMet 250/300 grinding machine (Fig.6).

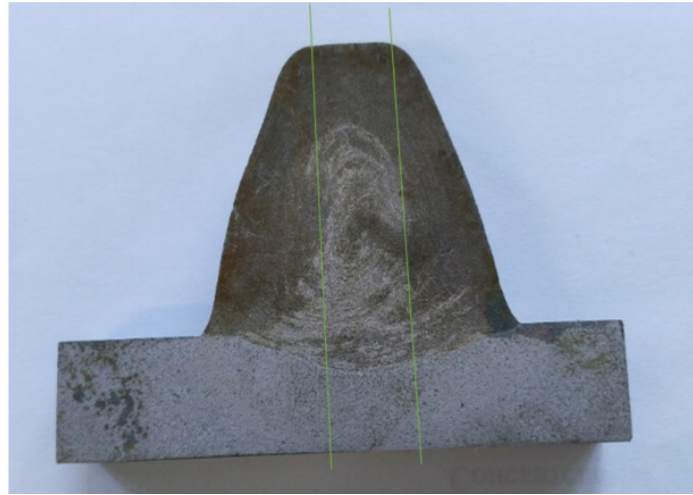


Figure 5 – Macrostructure of a gear fragment (fused tooth)

The microstructure of the template was studied using an optical microscope «Olympus BX51» (TRF) (Fig. 7) in accordance with GOST 8233-56 «Steel. Microstructure standards» after etching in a 4 % solution of nitric acid in ethyl alcohol.



Figure 6 – EcoMet 250/300 grinding machine



Figure 7 – Optical microscope «Olympus BX51» (TRF)

The results of metallographic analysis are presented in Figures 8 and 9.

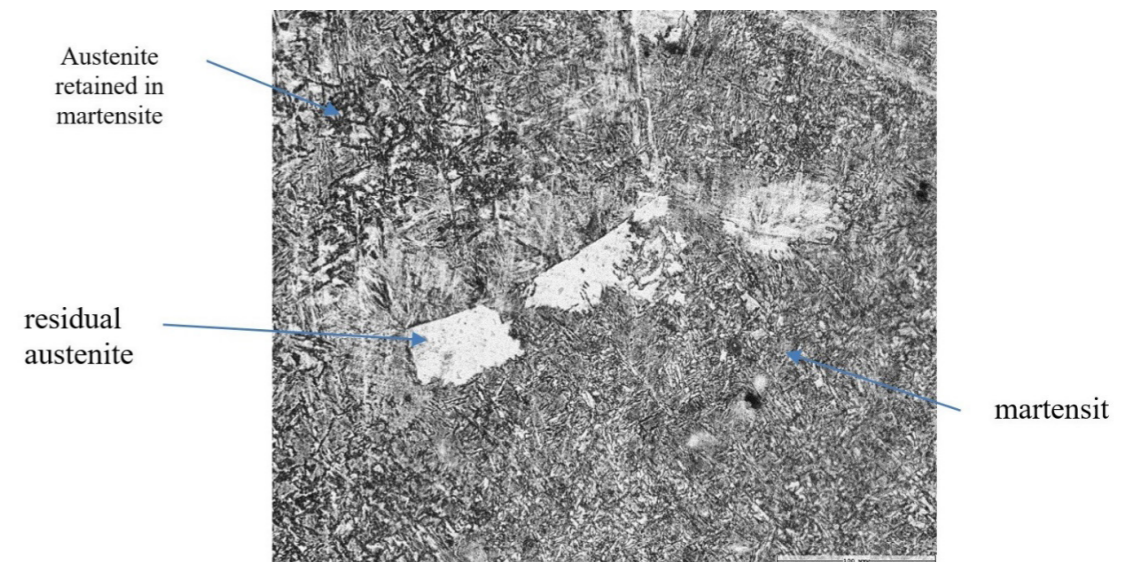


Figure 8 – Microstructure of the deposited part of the templet (No.1), x200





Figure 9 – Microstructure of the base metal of the templet (No. 1), x200

The presented surfacing technology, which allows to restoration of the profile and properties of worn teeth at the same time, represents significant progress in the field of repair and increases the service life of equipment. The results obtained confirm the effectiveness of the new method and its potential in preventing repeated failures, which is important for improving the reliability and efficiency of mills in thermal power plants.

According to the results of metallographic analysis, it was found that the studied metal of the deposited part of the templet (Fig.8) has the structure of martensite and residual austenite. Martensite crystals have the shape of thin lenticular plates, as well as the shape of thin slats (slats) elongated in one direction. In terms of orientation relative to the base metal, it is chaotic. An indispensable condition for martensite formed in alloys is the presence of austenite and the absence of ferrite.

In the course of the study, the problems of gear wear in systems with open gears were analyzed and methods for their restoration were developed. Electroslag surfacing was chosen as an effective way to restore worn teeth. The obtained results of metallographic analysis indicate the high quality of the deposited material with the structure of martensite and residual austenite. This technology opens up prospects for effective restoration of worn parts and improving the reliability of technical systems with open gears.

#### Conclusion

1 Visual inspection of the surface quality of the gear fragment (fused tooth) (1) showed that the surface is dense without defects.

2 The macrostructure in the test metal of sample (1) is homogeneous during etching, no cracks are observed.

3 High hardness in the deposited part (HRC-36.61) is a key criterion in conditions where high wear resistance is required. The main part, with a lower hardness (HRC-29.09), provides high ductility and toughness.

4 The presence of a martensite structure and residual austenite in the deposited part indicates that the material has properties that contribute to resistance to deformation. Austenite, in turn, has good plasticity. Martensite provides high hardness and is characterized by strength, making the material resistant to wear and deformation under dynamic loads.

The formation of thin lens-shaped plates and the rack-and-pinion structure of martensite indicate the peculiarities of the formation of the structure during redox reactions during electro-slag surfacing.

The granularity of the microstructure of the studied fragment (Fig.10) shows that the deposited layer has a fine structure compared to the base metal (Fig.11).

5 The microstructure of the base metal is a ferrite-pearlite structure, which is typical for many steels. This indicates that the microstructure of the metal has not changed after electro-slag surfacing.

6 High concentrations of carbon (0.52 %) and manganese (1.38 %) are present in the deposited part, which may be typical for deposited structures. The level of carbon and manganese affects the mechanical properties of the metal. The balance of these elements provides sufficient strength and elasticity to resist dynamic loads.

Elements such as manganese and molybdenum increase wear resistance. The formation of carbides and nitrides has a beneficial effect on wear resistance.

The presence of chromium (0.42 %) and nickel (0.12 %) improves corrosion resistance, which is especially important when operating in aggressive environments. The presence of elements that contribute to the formation of solid phases, such as carbides, can increase the hardness of the deposited layer.

Given the elevated temperatures during the mill process, elements that improve thermal stability, such as molybdenum, remain important.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 B13 - Gear failures. Lubrication and Reliability Handbook2001. – <https://doi.org/10.1016/B978-075065154-7/50107-8>

2 **Onishchenko, V.** Investigation of tooth wear from scuffing of heavy-duty machine spur gears. Mechanism and Machine Theory. – Volume 83. – 2015. – P. 38–55. – <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.08.016>

3 **George, E.** Cosh «Welding Broken Gear Teeth». – <https://weldingofwelders.com/welding-broken-gear-teeth/>

4 **Khoshnaw, F.** Welding of Metallic Materials. Methods, Metallurgy, and Performance. – 2023. – P. 1–35. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90552-7.00002-X>

5 Vural M. Comprehensive Materials Processing. 6.02 - Welding Processes and Technologies. – Vol.6. – 2014. – P. 3–48. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00603-8>

6 **Brajesh, A., Nikhil, Sh., Kanwer, S.** Development of high-strength welding consumables for arc welding carbon steels. Materials Today: Proceedings. – 2023. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.007>.

7 Бузауова, Т., Бартнев, И., Смаилова, Б. Кристаллизатор для электрошлаковой наплавки крупномодульных зубьев. Патент на полезную модель Республики Казахстан. – 2024. – № 9186.

8 Бартнев, И. А., Боченин, В. И., Смаилова, Б. К. Восстановление зубьев крупномодульных шестерен электродуговой наплавкой «лежащим» пластинчатым электродом. Материалы XIX-й Республиканской научно-технической конференции «Сварка и контроль», Караганда. – 2017. – С. 13–15.

9 Smailova, B., Buzauova, T., Bartenev I., Davletova K. Restoration of large modular teeth of ball mill gears by electro-slag surface. Journal of Applied Engineering Science. – 2024. – Vol. 83. – P. 38–45. – <https://doi.org/10.5937/jaes24-33132>.

10 Бартнев, И. А., Журавлев, Н. И., Боченин, В. И. Патент на изобретение «Устройство для электрошлаковой сварки стыка рельсового профиля». № 17178, 12.07.2012 г.

## REFERENCES

1 B13 - Gear failures. Lubrication and Reliability Handbook 2001. – <https://doi.org/10.1016/B978-075065154-7/50107-8>

2 Onishchenko, V. Investigation of tooth wear from scuffing of heavy-duty machine spur gears. Mechanism and Machine Theory. – Vol. 83. – 2015. – P. 38–55. – <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.08.016>

3 George, E. Cosh «Welding Broken Gear Teeth». – <https://weldingofwelders.com/welding-broken-gear-teeth/>

4 Khoshnaw, F. Welding of Metallic Materials. Methods, Metallurgy, and Performance. – 2023. – P. 1–35. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90552-7.00002-X>

5 Vural, M. Comprehensive Materials Processing. 6.02 - Welding Processes and Technologies. – Vol. 6, 2014 – P. 3–48. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00603-8>

6 Brajesh, A., Nikhil, Sh., Kanwer, S. Development of high-strength welding consumables for arc welding carbon steels. Materials Today: Proceedings. – 2023. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.007>.

7 Buzauova, T. M., Bartenev, I. A., Smailova, B. K. Crystallizer for electro-slag surfacing of large-module teeth. Patent of the Republic of Kazakhstan for a utility model. [Kristallizator dlya e`lektroshlakovoj naplavki krupnomodul`ny`x zub`ev. Patent na poleznuyu model` RK]. № 9186.

8 Bartenev, I. A., Bochenin, V. I., Smailova, B. K. Restoration of teeth of large-module gears by electric arc surfacing with a «lying» plate electrode. Materials of the 19th Republican Scientific and Technical Conference «Welding and Control» [Vosstanovlenie zub`ev krupnomodul`ny`x shesteren e`lektrodugovoj naplavkoj «lezhachim» plastinchaty`m e`lektrodom. Materialy` XIX-j Respublikanskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Svarka i kontrol`»], Karaganda, 2017. P. 13–15.

9 Smailova, B., Buzauova, T., Bartenev, I., Davletova, K. Restoration of large modular teeth of ball mill gears by electro-slag surface. Journal of Applied Engineering Science. – 2024. – Vol. – P. 83–98. – <https://doi.org/10.5937/jaes24-33132>.

10 Bartenev, I. A., Zhuravlev, N. I., Bochenin, V. I. Patent for the invention «Device for electro-slag welding of a rail profile joint». – [Patent na izobretenie «Ustrojstvo dlya e`lektroshlakovoj svarki sty`ka rel`sovogo profilya»]. – № 17178.

Received 22.07.24.

Received in revised form 28.07.24.

Accepted for publication 10.09.24.

**Б. К. Смаилова<sup>1</sup>, \*Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, И. А. Бартнев<sup>1</sup>, Ш. Елена<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды

техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>2</sup>Гедимин атындағы Вильнюс техникалық университеті, Литва, Вильнюс

22.07.24 ж. баспаға түсті.

28.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

11.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҚАЙТА ҚАЛПЫНА КЕЛТІРІЛГЕН ІРІ МОДУЛДЫ ТІСТІ ДӨҢГЕЛЕК ТІСТЕРІНІҢ САПАСЫН САРАПТАУ

*Электрлі қож әдісімен қайта қалпына келтірілген дөңгелек тістерінің сапасы қарастырылады. Сыртқы беттері тығыз, ақаусыз. Микроқұрылымын зерттеу негізінде металл құрылымының біртектілігін және сызатсыз екенін көрсетті. Балқытылған қабаттың жоғары қаттылығы (HRC-26,61) тістердің тозуға беріктігін, ал негізгі металдың төмен қаттылығы (HRC-19,09) дөңгелектің пластикалық және соғылымға тұтқырлығын көрсетеді. Балқытылған аймақта мартенситті және қалдықты аустенитті құрылымның болуы металдың деформацияға қарсыласу қабілеттілігін, сонымен қатар жақсы пластикалық деформациялануын және жоғары қаттылығын білдіреді. Балқытылған қабаттың микроқұрылымын сараптағанда негізгі металмен салыстырғанда оның ұсақ құрылымды екенін көрсетті. Негізгі металдың құрылымы феррит-перлитті, бұл құрылым болаттың көптеген түрлеріне тән және балқытылғаннан кейін қатты өзгеріск ұшырамаған. Балқытылған аймақтағы көміртек (0,70 %) және марганец (1,38 %) металдың механикалық қасиеттіне әсер етеді. Ал марганец және молибден элементтері тозуға төзімділікті жоғарылатады.*

*Кілтті сөздер: ірі модульді дөңгелектер, тістердің тозуы, электрлі қожбен балқыту, қаттылық, химиялық анализ.*



**Б. К. Смаилова<sup>1</sup>, \*Т. М. Бузауова<sup>1</sup>, И. А. Бартецев<sup>1</sup>, Ш. Елена<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет

имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>2</sup>Вильнюсский технический университет Гедимины, Вильнюс, Литва

Поступило в редакцию 22.07.24.

Поступило с исправлениями 28.07.24.

Принято в печать 10.09.2024.

### АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННОГО ЗУБА КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ШЕСТЕРЕН

*Данное исследование рассматривает качество поверхности зубчатой шестерни, восстановленного методом электрошлаковой наплавки. Визуальный осмотр показал плотную, бездефектную поверхность. Исследование макроструктуры выявило однородность и отсутствие трещин в образце металла. Высокая твердость наплавленного слоя (HRC-26,61) является ключевым фактором для устойчивости к износу, а основной металл с более низкой твердостью (HRC-19,09) обеспечивает пластичность и ударную вязкость. Присутствие мартенситной и остаточной аустенитной структур в наплавленной зоне указывает на способность материала сопротивляться деформациям, а также обладает хорошей пластичностью и высокой твердостью. Микроструктурный анализ показал более мелкую структуру наплавленного слоя по сравнению с основным металлом. Основной металл имеет структуру феррита-перлита, что является типичным для многих видов сталей и остается неизменной после наплавки. Содержание углерода (0,70 %) и марганца (1,38 %) в наплавленной зоне оказывает влияние на механические свойства металла. Присутствие элементов, таких как марганец и молибден, повышает стойкость к износу.*

*Ключевые слова:* крупномодульные шестерни, износ зубьев, электрошлаковая наплавка, твердость, химический анализ.

SRSTI 55.01.77

<https://doi.org/10.48081/ALKS6670>

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

<sup>1</sup>K. I. Satbayev Kazakh National Research Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty

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

<sup>3</sup>Czestochowa University of Technology, Poland, Czestochowa

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

### COMPUTER SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF BAR BLANKS MADE OF ALLOY 7075

*The article presents a study of the characteristics and technological parameters of bar blanks made of aluminum alloy 7075, depending on the temperature and the forming process. The main goal is to determine the stress-strain state at various temperatures during the production of blanks, which contributes to understanding the mechanism of formation of the structure and properties of bar blanks. To do this, a computer simulation of the process based on the finite element method is used, using the Forge3D software environment. The results obtained confirm the uneven structure in the volume of workpieces, with a pronounced intensity of deformation in the surface layers. The formation of workpieces at different temperatures (200 and 250 °C) showed differences in stress intensity and strain rate, which is important for understanding the processes of formation of microstructure and material properties. Special attention is paid to the influence of temperature on the formation of stresses in the rods, as well as their distribution in thickness and length. The results obtained can be used to optimize the technological parameters of the aluminum alloy forming process in order to improve the quality of the final product and production efficiency. In general, the scientific conclusions of this study contribute to the further development of aluminum alloy processing technologies and their application in various industries.*

*Keywords:* computer modeling, finite element method, numerical model, processing technology, Forge3D, deformation characteristics, microstructure formation process.

#### Introduction

The purpose of this article is to study the characteristics and technological parameters of bar blanks made of aluminum alloy 7075 depending on temperature, the formation process, the determination of temperature distributions, as well as the stress-strain state arising in bar blanks made of alloy 7075, when they are formed in a three-roll radial shear mill at temperatures of 200 and 250 °C. The Forge3D program based on the finite element method and designed for numerical simulation of processes in the spatial state of deformation was used to simulate the process.

Computer modeling of the process allows you to pre-predict the properties and microstructure of the workpiece after rolling, without resorting to full-scale (expensive)

experiments. In addition, this makes it possible to make the necessary changes to the parameters of the technological process of forming aluminum rod 7075 at the design stage.

An analysis of existing studies (Galkin S.P. using the example of aluminum alloy 1050A) shows that the shaping of aluminum alloys on a three-roll radial shear mill allows the rolling process with high elongation coefficients in one pass, which makes screw rolling more economical and reduces losses during machining. At the same time, an increase in temperature during rolling is closely related to the intensity of deformation, an increase in the temperature of the rolled material can be used to reduce the initial temperature of the material at the beginning of the rolling process. That is why, for aluminum alloy 7075, a study of shaping was carried out on a three-roll radial shear mill [1].

**Materials and methods**

The numerical simulation uses the following mathematical model and the Forge 3D program. Forge 3D is one of many commercial programs used to model plastic processing processes and based on the finite element method. This program is available at the Institute of Plastic Processing and Safety Engineering (Czestochowa, Poland), where the research was conducted by a doctoral student. The Norton-Hoff equation is used to describe the model of the mechanical state of deformation. [2,3]:

$$S_{ij} = 2K_0(\varepsilon + \varepsilon_0)^{n_0} e^{-\beta_0 T} (\sqrt{3}\dot{\varepsilon})^{m_0-1} \dot{\varepsilon}_{ij}$$

where:

- $S_{ij}$  – voltage tensor deviator;
- $\dot{\varepsilon}$  – the intensity of the deformation rate;
- $\dot{\varepsilon}_{ij}$  – strain rate tensor;
- $\varepsilon$  – strain intensity;
- $\varepsilon_0$  – initial deformation;
- $T$  – temperature;
- $K_0, m_0, n_0, \beta_0$  – materials that characterize the properties of this material.

When performing numerical calculations using FORGE® 2011, special attention was paid to the accuracy of data describing the material under study, friction conditions, as well as kinetic and thermal parameters of the workpiece forming process [4].

Before conducting numerical modeling using SolidWorks 2011, a three-dimensional model of the working rollers used was created, during modeling they were positioned in such a way as to reflect the real conditions of the deformation process, namely, the angle of inclination of the surface trajectories was 18°, and the angle of inclination of the forming rolls to the axis of rolling in the crushing part was 9°.

The following data were used for numerical modeling:

- the rotation speed of the rollers – 100 rpm;
- ambient temperature – 20°C;
- tool temperature – 60°C;
- coefficient of friction – 0.8;
- heat transfer coefficient of the strip with rollers – 20000 W / m²K.

Table 1 – Parameters of the shaping process used in numerical modeling

№	Initial temperature, °C	The diameter of the rod, mm		Elongation coefficient	Single deformation	Complete deformation
		initial	final			
1	200/250	30	26	1.33	0.29	0.29
2		26	22	1.4	0.34	0.63
3		22	18.5	1.41	0.34	0.97
4		18.5	15	1.52	0.42	1.39

A multivariate analysis was performed to identify the changes occurring during the shaping of blanks. This is an analysis of the distribution of strain intensity, stress intensity, strain rate, temperature distribution and average stress on the longitudinal cross sections of the workpiece rods along the entire length of the deformation. In addition, for a more accurate analysis of the influence of deformation parameters, an analysis of the distribution of strain intensity and stress, temperature and average stress on the cross sections (beginning, middle and end of the deformation zone) was carried out [5,6].

**Results and discussion**

The analysis of the strain intensity distribution  $\varepsilon_i$  is shown in Figure 1 on longitudinal sections during the formation of a strip at temperatures of 200 and 250 °C for each bar.

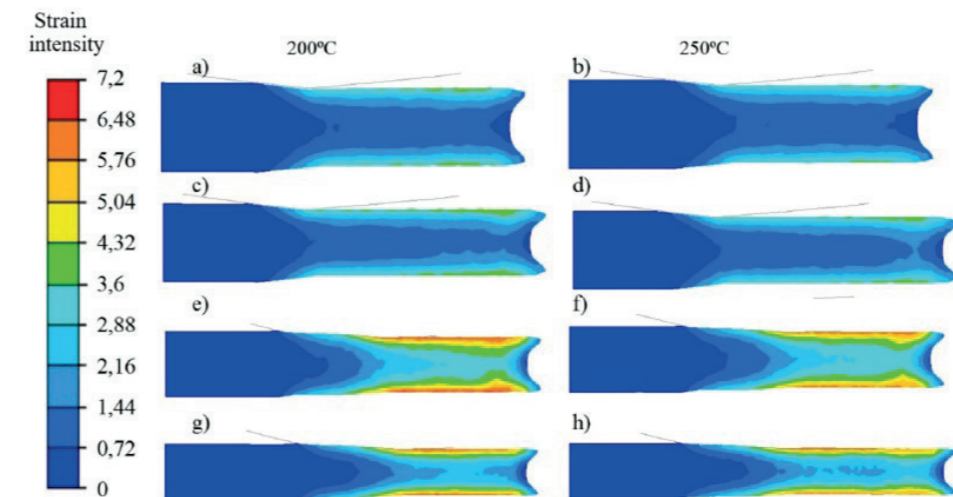


Figure 1 – Distribution of strain intensity  $\varepsilon_i$  along the longitudinal section of the bands from a temperature of 200 °C (a, c, e, g) and 250 °C (b, d, f, h) in: a, b – the first rod; c, d – the second rod; e, f – the third rod; g, h – the fourth rod.

From the data presented in Figure 1, it follows that the greatest intensity of deformation occurs in the layers lying on the surface of the rod. It is also important that the values of the deformation intensity in the strip rolled up from the charge at a temperature of 250 °C are less than from the charge at a temperature of 200 °C.

Analysis of the stress-strain state and intensity of the deformation rate during the shaping of round blanks made of aluminum alloy 7075. Figure 2 shows the stress intensity distributions  $\sigma_i$  on the longitudinal sections in the middle part of the strips of workpieces formed with initial temperatures of 200 and 250 °C [7].

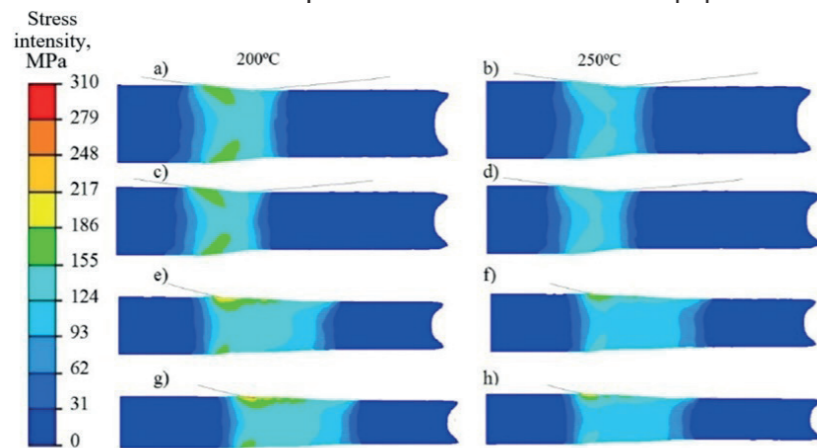


Figure 2 – Stress distributions  $\sigma_i$  in longitudinal sections formed with a load at temperatures of 200 °C (a, c, e, g) and 250 °C (b, d, f, h) in: a, b – the first rod; c, d – the second rod; e, f – the third rod; g, h – the fourth rod

From the stress intensity distribution shown in Figure 2, it follows that in a workpiece obtained at a temperature of 200 °C, the value of this voltage is 30 MPa higher than that of a rod obtained at a temperature of 250 °C.

Figure 3 shows stress intensity distributions  $\sigma_i$  on the cross sections of the bands at the entrance to the deformation zone (I), halfway along the length of the deformation zone (II) and at the exit from the deformation zone (III), at temperatures of 200 and 250 °C.

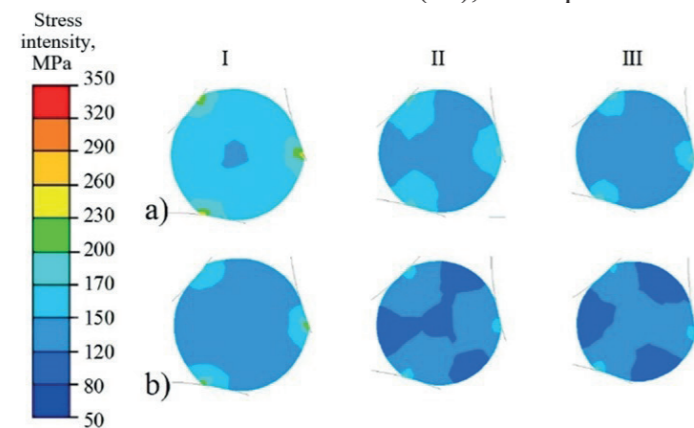


Figure 3 – Stress intensity distributions on the cross sections of the bars, in the final stage of forming at a temperature of 200 °C (a) and 250 °C (b)

Based on the results presented in Figure 3, it can be concluded that the greatest stress intensity is in the cross sections of the bands lying near the entrance to the deformation zone.

Analysis of the temperature regime. The temperature distribution along the longitudinal section in the middle part of the strip, when forming in a three-roll rolling mill in successive passes, from heated to temperatures of 200 and 250 °C is shown in Figure 4.

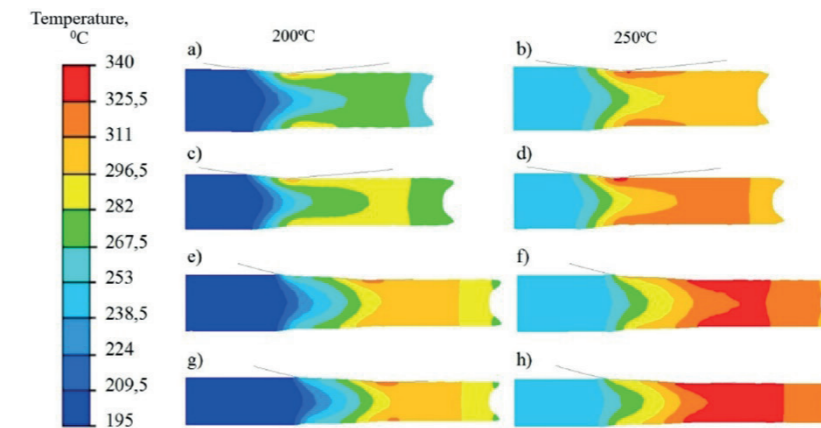


Figure 4 – Temperature distribution along the longitudinal section at a temperature of 200 °C (a, c, e, g) and 250 °C (b, d, f, h): a), b) – the first rod; c), d) – the second rod; e), f) – the third rod; g), h) – the fourth rod

From the temperature distributions indicated on the longitudinal sections of the bars and shown in Figure 4, it follows that during the forming process, the temperature of the deformable metal increases. At a temperature of 200 °C (Figure 4 a, c, e, g), a temperature increase of as much as 100-150 °C was observed, while the temperature increase of the bars at a temperature of 250 °C was less-75-85 °C (Fig. 5.14 b, d, f, h).

Analysis of the distribution of the average stress in the workpieces. Figure 5 shows the stresses on average in the longitudinal section for successive passes and temperatures of 200 and 250 °C.



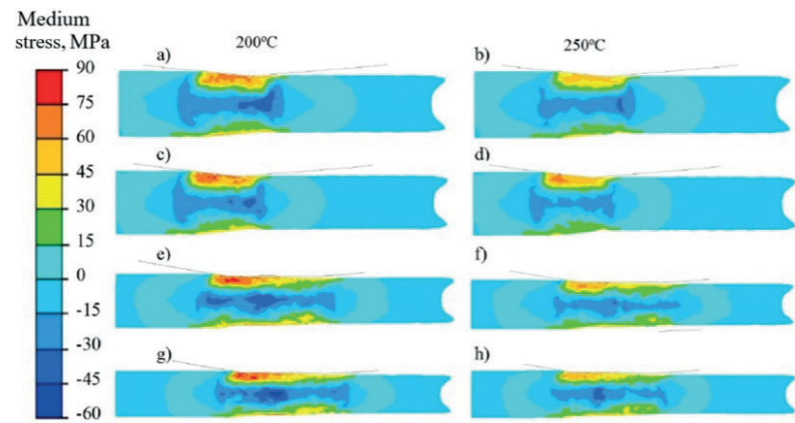


Figure 5 – Distribution of the average stress over the longitudinal section of the rod at temperatures of 200 °C (a, c, e, g) and 250 °C (b, d, f, h):  
 a), b) – the first rod; c), d) – the second rod; e), f) – the third rod; g), h) – the fourth rod

From the average voltage distributions shown in Figure 5, it follows that there are positive compressive stresses on the metal contact surface of the workpieces with the rolls, and negative tensile stresses in the middle part of the charge. For the shaping process under consideration, it is preferable that compressive stresses occur in the volume of the deformable rod, leading to deformation of the metal and fragmentation of its grains. On the contrary, the occurrence of tensile stresses in the metal has a significant effect on the appearance of cracks or ruptures in the metal during the deformation process [8,9].

For a more accurate analysis, Figure 6-7 shows the distribution of the average stress in the cross sections of the deformable strip at the inlet (I), in the middle (II) and in the plane of exit from the deformation zone (III).

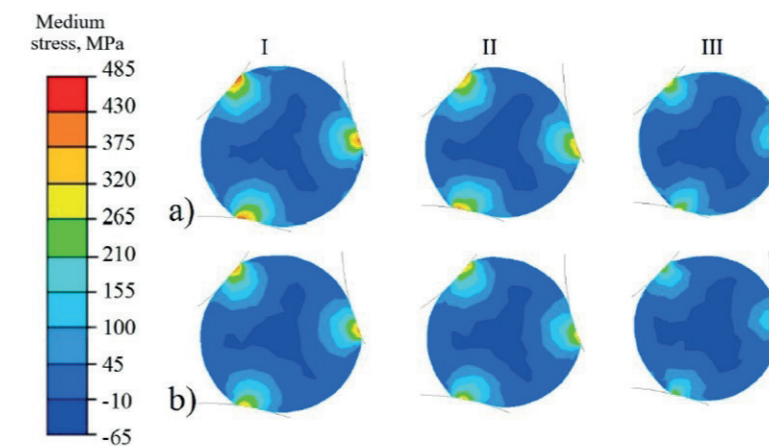


Figure 6 – Distribution of the average stress on the cross section of the strip (first passage) at a temperature of 200 °C (a) and 250 °C (b); I - at the entrance to the deformation zone; II-in the center of the deformation zone; III-in the plane of exit from the deformation zone

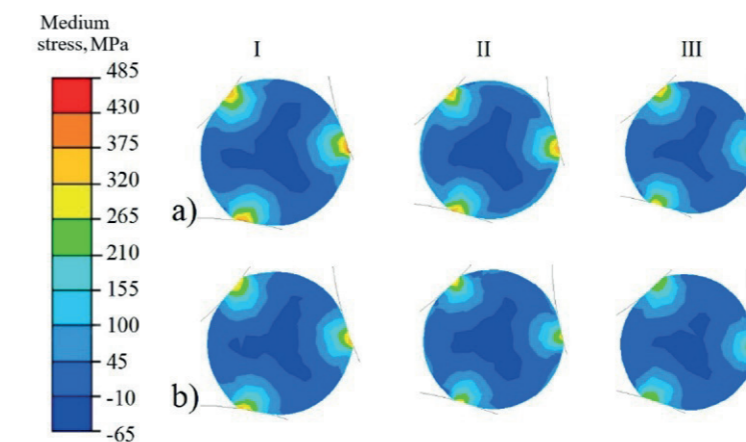


Figure 7 – Distribution of the average stress on the cross section of the strip (the fourth, final passage) at a temperature of 200 °C (a) and 250 °C (b); I - at the entrance to the deformation zone; II -in the center of the deformation zone; III-in the plane of exit from the deformation zone

From the distribution of the average stress shown in Figures 6-7, it follows that the greatest compressive stresses occur on the contact surface of the workpiece with the rolls in the first passage at the entrance to the deformation zone. The magnitude of the compression stresses in the metal rolled up from a charge with a temperature of 250 °C is less than the compression stresses arising in the strip rolled up from a charge with a temperature of 200 °C for each culvert. For example, in the first pass at a load of 200 °C, the compression stress reached 66 MPa, and in the rolling rod at a load of

250 °C-55 MPa. The greatest compression stress occurred during rolling in the fourth pass and amounted to 82 and 65 MPa for loading temperatures of 200 and 250 °C, respectively [10].

#### Conclusion

The conducted studies show that during the shaping of aluminum bar blanks made of alloy 7075, uneven deformation in the volume of the bar is observed. From the above figures, it can be concluded that the intensity of deformation in the axis of the rod is greater in the near-surface layers. For example, in a strip rolled from at a temperature of 200 °C, the intensity of deformation in individual passages, both on the surface and in the middle layers of the rod, was higher than in a strip rolled from at a temperature of 250 °C. The differences between the intensity of deformation in the volume of the rolling rod were smaller for rolling rods with a load at 250 °C. For example, for the first bar, this difference was 3.41 for loading at 200 °C and 3.07 for loading at 250 °C.

The stress intensity in the strip rolled at a temperature of 200 °C was 20-25 MPa higher than in the strip rolled at a temperature of 250 °C, while the stress intensity values in each passage were approximately constant.

An increase in temperature is observed in the deformable strip when it is moved in the deformation zone. The temperature increment of the strip obtained at 200 °C averaged 107 °C, and the strip formed at 250 °C averaged about 80 °C. It was also observed that in the strip formed from the batch at 250 °C, the temperature distribution over the cross-section of the strip was more uniform than in the strip obtained from the batch at 200 °C.

Compressive stresses are observed in the near-surface layers of the rods, while stretching is observed in the charge axis, which can cause cracking of the deformable rod. The values of compression and tensile stresses in rods deformed from a charge at 200 °C were higher than in metal deformed from at 250 °C.

The obtained research results show differences in stress intensity and strain rate, this is especially important for understanding the processes of microstructure formation and, consequently, the properties of the material. This can be used to optimize the technological process of forming aluminum alloys in order to improve the quality of the final product and production efficiency.

#### REFERENCES

1 **Micu, L. M., Bordeasu, I., Popoviciu, M. O.** A New Model for the Equation Describing the Cavitation Mean Depth Erosion Rate Curve // Rev. Chim. // – 2017. – № 4. – P. 894–898.

2 **Bordeasu, I., Ghera, C., Istrate, D., Salcianu, L., Ghiban, B., Bazavan, D., Micu, L. M., Stroita, D. C., Suta, A., Tomoiaga, I., Luca, A. N.** Resistance and Behavior to Cavitation Erosion of Semi-Finished Aluminum Alloy 5083 // Hidraulica // – 2021. – № 4. – P. 17–24.

3 **Chenot, J. L., Fourment, L., Coupez, T., Ducloux, R., Wey, E.** Forging and Related Technology // Birmingham // – 1998.11.

4 **Bordeasu, I.** Monograph of the Cavitation Erosion Research Laboratory of the Polytechnic University of Timisoara // Editura Politehnica// ISBN 978-606-35-0371-9// – 2020.

5 **Imran, M., Khan, A.A., Megeri, S., Sadik, S.** Study of hardness and tensile strength of aluminium-7075 percentage varying reinforced with graphite and bagasse-ash composites// Resource-Efficient Technologies // – 2016. – № 2. P. 81–88.

6 **Galkin, S. P., Dyja, H., Galkin, A. M., Rzasawska, A.** Kinematyczny model płynięcia metalu podczas walcowania skośnego prętów // Hutnik – Wiadomości Hutnicze // – 2004.19

7 **Gupta, P., Kumar, D., Quraishi, M.A., Parkash, O.** Effect of sintering parameters on the corrosion characteristics of iron-alumina metal matrix nanocomposites // J Mater Env Sci // – 2015. – № 6 (1). P. 155–167.

8 **Sekar, K., Vasanthakumar, P.** Microstructural evaluation of similar and dissimilar welding of aluminum metal matrix hybrid composite by friction stir welding // Mater. Sci. Forum // – 2020. – Vol. 979 MSF. – P. 124–128.

9 **Devarajua, A., Kishanb, V.** Influence of Cryogenic cooling (Liquid Nitrogen) on Microstructure and Mechanical properties of Friction stir welded 2014-T6 Aluminium alloy // Materials Today: Proceedings 5 // – 2018. – P. 1585–1590.

10 **Kumar, P. V., Madhusudhan, G. R., Srinivasa, K. R.** Microstructure, mechanical and corrosion behavior of high strength AA7075 aluminum alloy friction stir welds e Effect of post weld heat treatment // Defence Technology 11 // – 2015.

Received 08.06.24.

Received in revised form 11.06.24.

Accepted for publication 23.07.24.

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

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

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

<sup>3</sup>Czestochowa University of Technology, Польша, Ченстохова қ. 08.06.24 ж. баспаға түсті.

11.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

23.07.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### 7075 ҚОРЫТПАСЫНАН ЖАСАЛҒАН ДАЙЫНДАМАЛАРДЫ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

*Мақалада температура мен қалыптасу процесіне байланысты алюминий 7075 қорытпасынан жасалған шыбық дайындамаларының сипаттамалары мен технологиялық параметрлерін зерттеу ұсынылған. Негізгі мақсат - дайындамаларды алу процесінде әртүрлі температурадағы кернеулі-деформацияланған күйін анықтау, бұл шыбықтардың құрылымы мен*

қасиеттерін қалыптастыру механизмін түсінуге көмектеседі. Ол үшін Forge3D бағдарламалық ортасын қолдана отырып, ақырлы элементтер әдісіне негізделген процесті компьютерлік модельдеу қолданылады. Алынған нәтижелер, беткі қабаттардағы деформацияның айқын қарқындылығымен дайындамалар көлеміндегі біркелкі емес құрылымды растайды. Әр түрлі температурада (200 және 250 °C) дайындамалардың қалыптасуы микроқұрылымның қалыптасу процестері мен материалдың қасиеттерін түсінуге маңызды болып табылатын кернеу қарқындылығы мен деформация жылдамдығының айырмашылығын көрсетті. Температураның өзектердегі кернеулердің пайда болуына, сондай-ақ олардың қалыңдығы мен ұзындығына таралуына ерекше назар аударылады. Алынған нәтижелер түпкілікті өнімнің сапасы мен өндіріс тиімділігін арттыру мақсатында алюминий қорытпаларын қалыптастыру процесінің технологиялық параметрлерін оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Жалпы, осы зерттеудің ғылыми тұжырымдары алюминий қорытпаларын өңдеу технологияларын одан әрі дамытуға және оларды әртүрлі салаларда қолдануға ықпал етеді.

*Кілтті сөздер:* компьютерлік модельдеу, ақырлы элементтер әдісі, сандық модель, өңдеу технологиясы, Forge3D, деформациялық сипаттамалары, микроқұрылымды қалыптастыру процесі.

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

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

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

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

Поступило в редакцию 08.06.24.

Поступило с исправлениями 11.06.24.

Принято в печать 23.07.2024.

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРУТКОВЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА 7075

*В статье представлено исследование характеристик и технологических параметров прутковых заготовок из алюминиевого сплава 7075 в зависимости от температуры и процесса формирования. Основная цель заключается в определении напряженно-деформированного состояния при различных температурах в процессе получения заготовок, что способствует пониманию механизма формирования структуры и свойств прутковых заготовок. Для этого используется компьютерное моделирование процесса основанное на методе конечных элементов, с применением программной среды Forge3D. Полученные результаты подтверждают неравномерную структуру в объеме заготовок, с выраженной интенсивностью деформации в поверхностных слоях. Формирование заготовок при различных температурах (200 и 250 °C) показала различия в интенсивности напряжений и скорости деформации, что имеет важное значение для понимания процессов формирования микроструктуры*

*и свойств материала. Особое внимание уделено влиянию температуры на формирование напряжений в стержнях, а также их распределение по толщине и длине. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации технологических параметров процесса формирования алюминиевых сплавов с целью повышения качества конечной продукции и эффективности производства. В целом, научные выводы данного исследования способствуют дальнейшему развитию технологий обработки алюминиевых сплавов и их применению в различных отраслях промышленности.*

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, метод конечных элементов, численная модель, технология обработки, Forge3D, деформационные характеристики, процесс формирования микроструктуры.



\*Г. Б. Тлеужанова<sup>1</sup>, Ж. Н. Кадыров<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск\*e-mail: [kadyrov.1954@mail.ru](mailto:kadyrov.1954@mail.ru)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5247-1752><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0032-8924>**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАЕЗДА,  
ПОЛОМКИ И ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТОВ**

*В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований автоматической системы контроля аварийных ситуаций при работе токарного станка с ЧПУ на основе теоретически разработанных алгоритмов работы этой системы. Своевременное выявление и идентификация аварийной ситуации, возможность охвата наибольшего числа диагностируемых аварийных ситуаций, делает эффективной работу автоматической системы, предохраняет от поломок дорогостоящие узлы технологического оборудования. Объектом исследования являются реализованные на базе токарного станка с ЧПУ функциональные элементы системы. Диагностируемым параметром является сила резания или её составляющие. Дана характеристика основным узлам и блокам системы. Введён алгоритм идентификации аварийных ситуаций временных задержек при пересечении автоматически регистрируемым информативным диагностируемым параметром его предельных значений, а также дополнительно введены временные блокировки принятия решения при функционировании оснащённого автоматической системой токарного станка, а именно, «наезд», «поломка инструмента», «износ инструмента». Раскрыты основные режимы функционирования системы. Даны примеры визуализации на экране блока отображения символьной информации (БОСИ) каждого режима. С помощью предложенной системы достигнута мобильность выявления и надёжная идентификация каждой аварийной ситуации, что улучшает функциональные и технические характеристики автоматической системы контроля работы токарного станка.*

*Ключевые слова: автоматическая система контроля, токарный станок, диагностика, аварийные ситуации, износ инструмента.*

**Введение**

Диагностирование технического состояния технологического оборудования, в том числе металлорежущих станков, основан на сборе информации об их состоянии первичными измерительными преобразователями, дальнейшем её преобразовании в соответствии с принятым алгоритмом диагностирования

и дальнейшем распознавании, и идентификации аварийных ситуаций [1]. Использование априорно выявленных эталонных осциллограмм [2] ограничено из-за высокой трудоёмкости их установления и ограниченного набора.

Контроль технического состояния станков на основе анализа параметров колебаний диагностируемых узлов станка [3] также не перспективен, поскольку само преобразование параметров колебаний в электрический сигнал представляет трудно-выделяемую аддитивную связь между первой гармонической составляющей колебаний и имеющей место помехой. Такое преобразование выделенной составляющей сигнала возможно на основании корреляционно-спектрального анализа, что предполагает наличие функционально сложных аппаратных технических средств. С помощью набора технических средств определяют вначале собственные резонансы испытываемого оборудования, идентифицируют источники вынужденных колебаний и только потом, по результатам анализа высокочастотных составляющих колебаний оценивают текущее состояние узлов оборудования (станка).

При создании автоматических систем контроля аварийных ситуаций необходимо обеспечить возможность технической стыковки с штатными устройствами оборудования, например, с системой ЧПУ класса CNC и DNC.

Ни одна из известных систем не обеспечивает возможность дополнительной визуализации работы систем на имеющемся на оборудовании индикационном блоке, например, на блоке отображения символьной информации. Такая информация необходима для дополнительного контроля хода процесса оператором оборудования.

При этом важно в момент наступления аварийной ситуации осуществлять детальную визуализацию момента её поступления для дальнейшего оперативного прерывания процесса для исключения поломок участвующих в процессе узлов и деталей оборудования.

Перечень предоставляемых системой функций и режимов функционирования должен быть расширенным, обеспечивающим мобильное и достоверное наступление аварийных ситуаций.

Только при таком комплексном подходе решается задача повышения достоверности результатов идентификации любых аварийных ситуаций в работе технологического оборудования.

**Материалы и методы**

Фактический опыт использования и анализ технической информации, в том числе патентно-информационный поиск выявил несколько технических решений в области автоматических систем контроля аварийных ситуаций на токарных станках: [1...10].

Компанией «Krupp Widia GmbH Werkzeugtechnik» (Германия) [4], создана в четырёх вариантах система контроля WIDATRONIC, рисунок 1. В меню функционирования системы входят режимы контроля и визуального информирования наступления аварийной ситуации.

ВИДАТРОНИК Система контроля инструмента	Наезжание	Поломка	Износ
CCS 	+		
BCS 	+	+	
WCS 	+		+
BCS/ WCS 	+	+	+

Рисунок 1 – Устройство «Видатроник» для автоматического диагностирования аварийных ситуации на токарном станке с ЧПУ

Навесной характер монтажа измерительного преобразователя уменьшает рабочее пространство станка, вынуждает при составлении управляющих программ предусматривать маршруты объезда. Всё это снижает надёжность работы станка. Недостаточная чувствительность измерительного преобразователя к вариации контролируемого параметра может быть устранена за счёт увеличения габаритных размеров.

Автоматические системы диагностирования аварийных ситуаций компании «Sandvik Coromant» (Швеция) [5] и Институт технологии машиностроения г.Томск (Россия) [6] предоставляют ограниченное меню режимов функционирования систем, обладают низкой достоверностью результатов технического диагностирования.

Повысить достоверность результатов идентификации аварийных ситуаций «наезд» и «поломка инструментов» за счёт дополнительного реверсивного движения каретки суппорта станка предложено в системе [7]. Такое решение увеличивает длительность общего цикла диагностирования, что неприемлемо для оперативного устранения или локализации последствий аварийной ситуации.

Все известные системы диагностирования аварийных ситуаций по своим функциональным возможностям и техническим характеристикам не соответствуют требованиям, предъявляемым к такого рода системам, в первую очередь, по быстродействию принятия решения, по уровню автоматизации процедур диагностирования и по номенклатуре предоставляемых процедур.

Проведённый анализ позволил сформулировать задачи научных исследований следующим образом:

работа автоматической системы контроля аварийных ситуаций должна обеспечить мобильное и достоверное выявление наступления аварийной ситуации в работе станка;

система должна стыковаться и адаптироваться с штатным устройством ЧПУ станка класса CNC и DNC;

работа системы должна сопровождаться визуализацией на экране штатного блока отображения символьной информации (БОСИ) как в реальном временном, так и в детализированном режимах просмотра;

предоставляемый системой перечень режимов функционирования необходимо расширить, дополнив его тестовым режимом, режимом блокировки видеосигнала системы с освобождением экрана БОСИ для вывода на него цифробуквенной информации управляющей программы устройства ЧПУ станка;

режимы обучения и графического отображения результатов диагностирования необходимо расширить до многовариантного обучения и детализированного просмотра результатов на БОСИ;

необходимо улучшить функциональные и технические характеристики системы, повысив быстродействие принятия решения и достоверность идентификации аварийных ситуаций.

В таблице 1 приведены технические характеристики известных систем технического диагностирования и сформулированы требования к разрабатываемой.

Таблица 1 – Оценка технического уровня систем технического диагностирования

K <sub>вес</sub>	Наименование параметров	Аналоги				Эталонный образец	Техническое задание
		[3]	[4]	[5]	[6]		
0,3	Быстродействие системы, мс	2,0 1,00	2,0 1,00	5,0 0,4	2,5 0,8	2,0 1,00	2,0 1,00
0,3	Ресурс станка с системой, % от ресурса станка без системы	135 1,00	130 0,96	115 0,85	125 0,92	135 1,00	140 1,03
0,2	Использование ресурса инструмента в % от нормативных данных	90 1,00	85 0,94	80 0,88	85 0,94	90 1,00	90 1,00
0,2	Режимы работы системы, количество	4 1,0	2 0,5	2 0,5	4 1,0	4 1,0	5 1,25
$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^i (K_i \cdot K_{i_{\text{вес}}})$		1,000 <i>i=4</i>	0,876 <i>i=3</i>	0,651 <i>i=3</i>	0,904 <i>i=4</i>	1,000 <i>i=4</i>	1,059 <i>i=4</i>
Место		2	4	5	3		1

Решению сформулированных задач и экспериментальным исследованиям разработанной в соответствии с техническим заданием системе посвящена данная научная статья.

**Результаты и обсуждение**

В основе работы автоматической системы контроля аварийных ситуаций лежит измерение в автоматическом режиме выбранного варьируемого диагностического параметра, например, вариация силы резания или её составляющих. При этом вариация силы резания фиксируется косвенным методом по изменению упругих деформаций под действием сил наиболее нагруженных деталей и узлов станка.

Сила резания при работе на токарном станке варьируется следующим образом, рисунок 2.

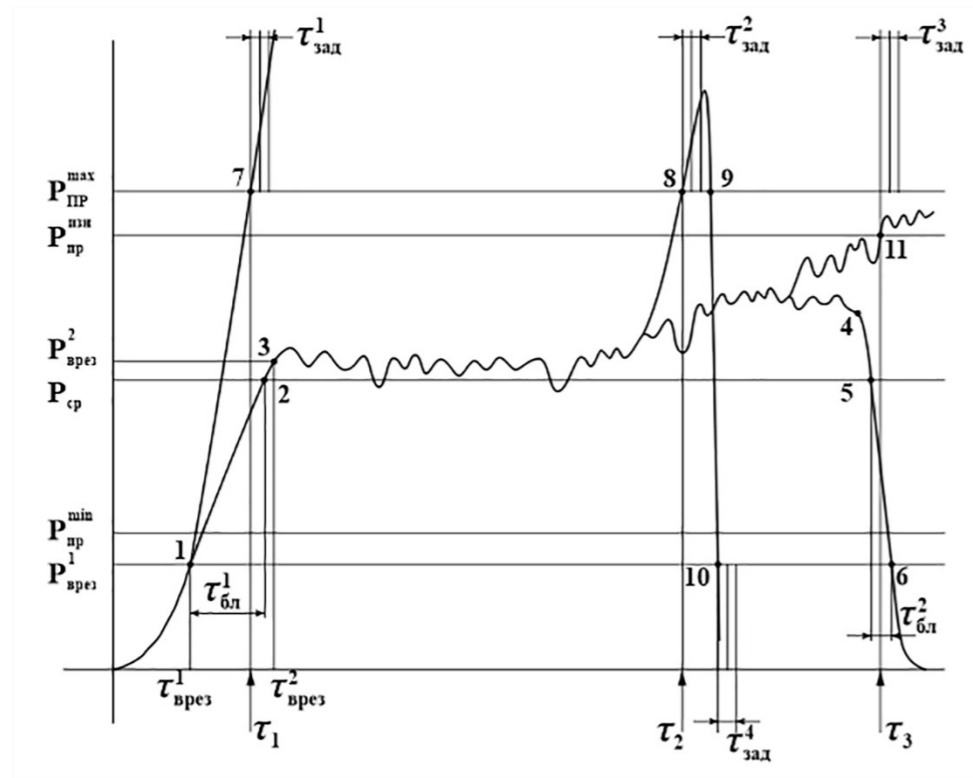


Рисунок 2 – Графическая иллюстрация текущего изменения варьируемого параметра с идентификацией возникших аварийных ситуаций за один рабочий ход

Пропорциональный силе резания аналоговый электрический сигнал преобразуется аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) в цифровой код (рисунок 3) в результате последовательно выполняемых процедур:

- опроса измерительного преобразователя;
- преобразования полученного аналогового сигнала в цифровой код;
- сравнение данного кода с преобразованными в цифровой код предельными значениями диагностируемого параметра.

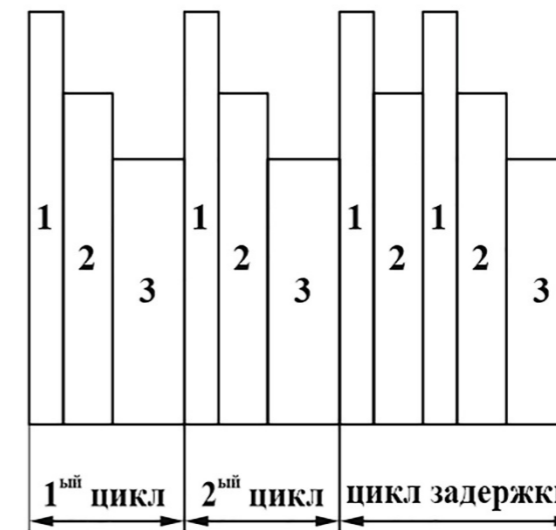


Рисунок 3 – Временная циклограмма сигнала измерительного преобразователя

Время выполнения всех трёх процедур является циклом опроса (рис.3).

В режиме обучения для каждого инструмента для заданных условий резания определяют  $P_{пр}^{max}$ ,  $P_{пр}^{min}$  и  $P_{пр}^{изн}$ , рисунок 2, где  $P_{пр}^{max}$  и  $P_{пр}^{min}$  – соответственно, предельное максимальное и минимальное значение силы резания,  $P_{пр}^{изн}$  – предельное значение силы резания, соответствующее аварийной ситуации «износ инструмента».

Находят среднее значение силы резания  $P_{ср} = \frac{P_{пр}^{max} + P_{пр}^{min}}{2}$ .

В промежутке времени от 0 до  $\tau_{врез}^1$  подвижные узлы станка (суппорт, каретка суппорта) движутся в направлении детали. Момент касания инструмента с деталью (в момент времени  $\tau_{врез}^1$  в точке 1, рисунок 2) идентифицируют по наличию отличного от нуля сигнала (значение силы резания  $P_{пр}^1$ ). Наличие не равного нулю сигнала на участке (0 –  $\tau_{врез}^1$ ) связано с неизбежными потерями, например, на преодоление осевой силы на ходовом винте привода подачи при холостом перемещении суппорта (каретки) станка.

Врезание на полную глубину резания происходит на участке изменения силы резания от точки 1 до точки 3 за период времени ( $\tau_{врез}^1 - \tau_{врез}^2$ ). Точка 2 на рисунке 1 соответствует среднему значению силы резания.

В период времени ( $\tau_{врез}^1 - \tau_{врез}^2$ ) осуществляют временную блокировку принятия решения об остановке процесса резания.

Безаварийное (в соответствии с заданными условиями обработки) резание происходит в интервалах от  $\tau_{врез}^2$  до  $\tau_3$  (поз. на графике 3-4-5-6). При этом текущее значение силы резания не превышает предельно допустимых значений  $P_{пр}^{min}$  и  $P_{пр}^{max}$ , а по завершении процесса резания от выявленных последовательных пересечений уровней среднего значения силы резания



$P_{ср}$  и минимального предельного значения силы резания  $P_{пр}^{min}$ , также осуществляют временную блокировку принятия решения об остановке процесса резания.

При наступлении аварийной ситуации «наезд» подвижных узлов станка на неподвижные (либо находящиеся в зоне резания посторонние механизмы, например, рука промышленного робота и другие), её идентифицируют по мгновенному лавинонарастающему превышению текущего значения силы резания его предельного максимального значения  $P_{пр}^{max}$  (от точки 1 до точки 7 и далее вверх).

При наступлении аварийной ситуации «поломка» инструмента происходит скол вершины режущей пластины. Аварийную ситуацию «поломка» инструмента идентифицируют по последовательно друг за другом происходящими мгновенными превышением (в точке 8) и уменьшением (в точке 9) текущим значением силы резания предельного максимального значения силы резания  $P_{пр}^{max}$ , с последующим мгновенным пересечением предельного минимального значения силы резания  $P_{пр}^{min}$  (в точке 10).

При износе (затуплении) режущих кромок инструмента сила резания монотонно возрастает. Аварийную ситуацию «износ инструмента» идентифицируют по монотонно нарастающему и дальнейшему превышению текущим значением силы резания (в точке 11) предельного значения силы резания  $P_{пр}^{изн}$ , соответствующего наступлению аварийной ситуации «износ инструмента».

При всех выявленных пересечениях предельных максимального  $P_{пр}^{max}$ , (в точках 7 и 8) и минимального  $P_{пр}^{min}$  (в точке 10) значений силы резания, а также предельного значения силы резания  $P_{пр}^{изн}$ , соответствующего наступлению аварийной ситуации «износ инструмента», после последовательно осуществлённых процедур опроса измерительного преобразователя, преобразования аналогового сигнала в цифровой код и его сравнения с предельными значениями силы резания, принятие решения по дальнейшему продолжению или остановке процесса резания осуществляют с задержкой по времени, соответственно, в точке 7 времени  $\tau_{зад}^1$ , в точке 8 времени  $\tau_{зад}^2$ , в точке 11 времени  $\tau_{зад}^3$  и в точке 10 времени  $\tau_{зад}^4$ . Время задержки составляет цикл задержки, рисунок 3. При этом принятие решения осуществляют только до не менее чем двухкратного идентифицированного повторения ситуаций пересечений данных уровней текущим значением силы резания (цикл задержки, рисунок 3).

На рисунке 2 обозначено:  $\tau_{врез}^1$  и  $\tau_{врез}^2$  – соответственно, время касания инструмента с деталью и время до полного врезания инструмента на заданную глубину резания;  $\tau_{бл}^1$  и  $\tau_{бл}^2$  – время блокировки принятия решения, соответственно, при врезании инструмента на полную глубину резания и выхода инструмента из контакта с деталью по завершении процесса резания;  $P_{врез}^1$  и  $P_{врез}^2$  – соответственно, сила резания, соответствующая моменту касания инструмента с деталью и врезания инструмента в деталь на полную (заданную) глубину резания;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\tau_3$  – соответственно, время пересечения предельного максимального значения силы резания ( $\tau_1$  в точке 7 и  $\tau_2$  в точке 8) и время пересечения предельного значения

силы резания  $P_{пр}^{изн}$ , соответствующего аварийной ситуации «износ инструмента» ( $\tau_3$  в точке 11).

При использовании в предлагаемом способе диагностирования процедуры «обучения» для каждого кадра программы диагностирования, составленного для участка резания одним инструментом, автоматически выделяются и запоминаются максимальные и минимальные значения измеренных сил резания  $P_{изм}^{max}$  и  $P_{изм}^{min}$ .

На основе измеренных значений сил резания автоматически рассчитываются предельные значения сил:

$$P_{пр}^{max} = K_{max} \cdot P_{изм}^{max}$$

$$P_{пр}^{min} = K_{min} \cdot P_{изм}^{min},$$

где  $K_{max}$  и  $K_{min}$  и – априорно задаваемые технологом коэффициенты.

$P_{пр}^{max}$  и  $P_{пр}^{min}$  образуют границы рабочей зоны (зоны параметров), в которой инструмент считается целым. По аналогии, рабочая зона для фиксации износа, ограниченная сверху величиной  $P_{пр}^{изн}$  также является верхней границей рабочей зоны (снизу эта зона ограничена условием поломки инструмента, точка б, после пересечения уровней сил  $P_{пр}^{min}$  и  $P_{врез}^1$ ).

В состав автоматической системы контроля аварийных ситуаций входят следующие основные функциональные узлы и блоки, рисунок 4:

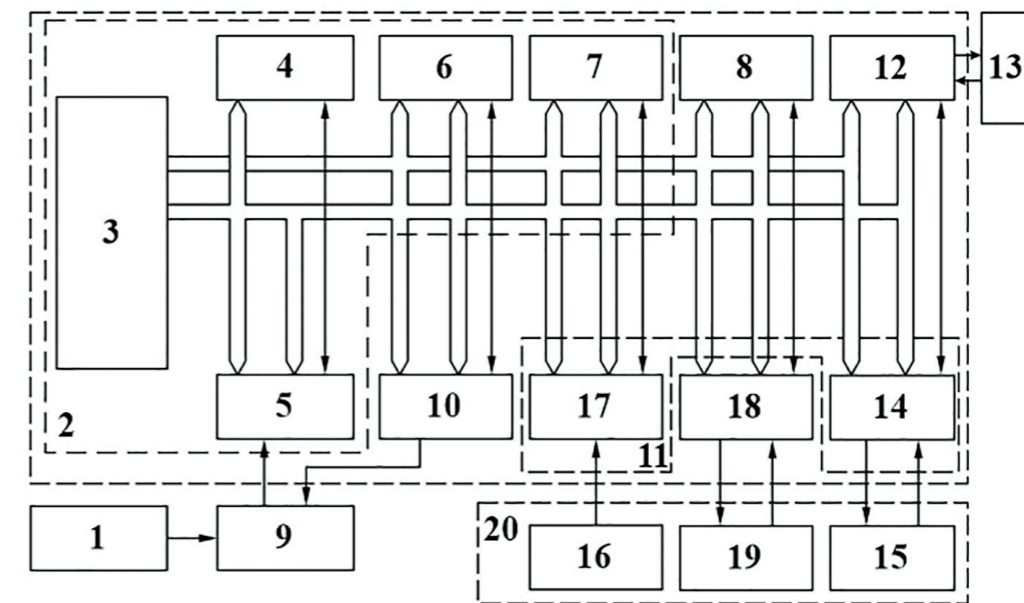


Рисунок 4 – Функциональная схема управления системы

1 – измерительный преобразователь 1 упругих деформаций наиболее нагруженной детали станка (с входящими в его состав первичными неэлектрическим и электрическим преобразователями [7];

2 – микропроцессорный блок управления 2 с входящими в его состав центральным процессором 3, дешифратором адреса 4, аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) 5, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 6 и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) 7 микропроцессорного блока управления;

3 – ОЗУ графическое и ОЗУ блока отображения символьной информации (БОСИ)– поз.8;

4 – инструментальный усилитель (тензоусилитель) 9 сигнала первичного электрического преобразователя;

5 – блок 10 компенсации дрейфа нуля усилителя;

6 – порт 11 ввода-вывода информации;

7 – универсальный источник питания (на рисунке 4 не показан).

Система имеет аппаратную (по ИРПС 12 связь с ЭВМ 13.

С помощью сигналов 14 «Программа», «Автомат», «Зажим резцедержателя», «Стоп программы» (M02), «Позиция резцедержателя», «Готовность УЧПУ» осуществляется обмен информационными данными (сигналами) системы с УЧПУ 15 станка.

В качестве резцедержателя 16 использована многопозиционная головка 16 (типа УГ9321 по ТУ2-024-5810-84), оснащённая шестипозиционной инструментальной планшайбой.

В системе использован восьмиразрядный микропроцессор.

На рисунке 4 позициями обозначены: 17 – блок ввода номера позиции резцедержателя; 18 – блок сопряжения с блоком отображения символьной информации (БОСИ); 20 – токарный станок 16К20Ф3.

Для идентификации и разграничения микропроцессорный блок управления 2, порт 11 ввода-вывода информации и токарный станок 16К20Ф3 выделены на рисунке 3 пунктирными линиями.

Используемый в системе микропроцессорный блок управления (субблок) осуществляет идентификацию аварийных ситуаций «Наезд», «Поломка инструмента» и «износ инструмента», рисунок 5. Данный субблок реализован на отдельной печатной плате и стыкуется с блоком 10 (компенсации дрейфа нуля усилителя), блоком 18 (сопряжения с БОСИ), через кросс-плату посредством разъёмов МРН-22-1.

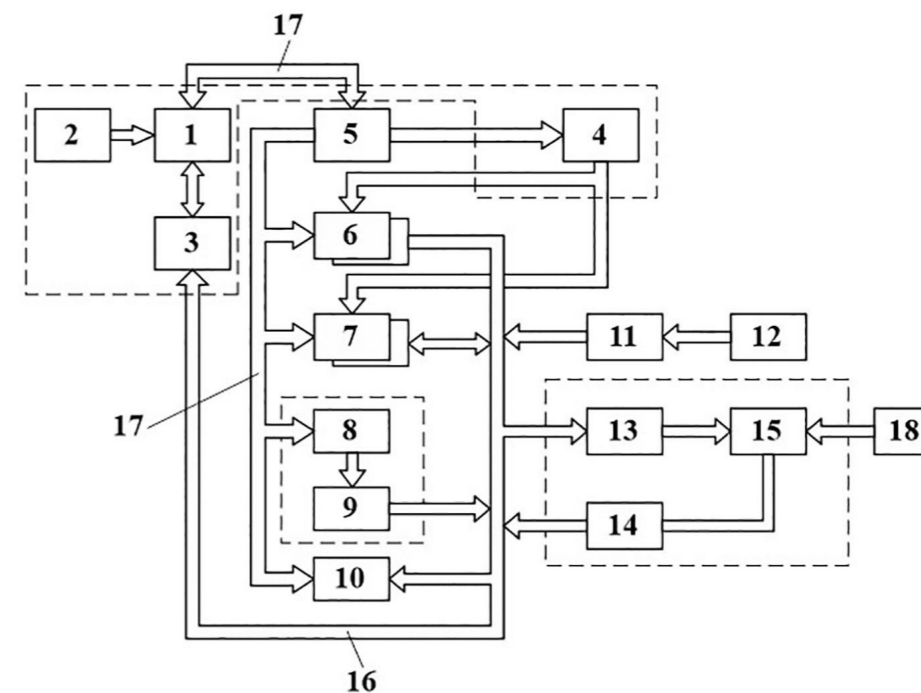


Рисунок 5 – Функциональная схема микропроцессорного блока управления системы

В состав субблока входят, рисунок 4, микропроцессор (МП) 1, генератор 2 тактов и стробов, шинный формирователь 3, блок 4 выбора ОЗУ и ПЗУ, магистральный буферный регистр (МБР) 5, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 6, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) 7, клавиатура 8 с регистром 9 клавиатуры, программируемый таймер 10, регистр 11 входных сигналов от многопозиционной револьверной головки 12, регистры 13 и 14 связи с аналогово-цифровым преобразователем 15.

Поз.16 и 17 обозначены, соответственно, шина данных и шина адреса.

Микропроцессор 1 осуществляет обмен информацией с шиной данных 16 через шинный формирователь 3 и с шиной адреса 17, через МБР 5 и блок 4 выбора ОЗУ и ПЗУ микропроцессор ведёт опрос ПЗУ 6 по шине данных 16 и обрабатывает записанный в ПЗУ 6 алгоритм программы управления. Состояние клавиатуры 8 опрашивается микропроцессором 1 через регистр 9 клавиатуры, а состояния многопозиционной револьверной головки 12 опрашивается через регистр 11 входных сигналов.

Микропроцессор через регистр 13 и ЦАП ведёт преобразование весового кода в аналоговый сигнал от 0 до 10В, который в дальнейшем сравнивается на компараторе с аналоговым сигналом от инструментального усилителя 18.

Равенство сигналов компаратора через ключ привязки уровня +5В и регистр 14 фиксируется на шине данных 16 для микропроцессора 1. При этом, весовой код этого равенства, выставленный микропроцессором через регистр 13 на ЦАП и

есть оцифрованное значение аналогового сигнала инструментального усилителя. В этом заключается новизна предложенной реализации АЦП через ЦАП.

Субблок сопряжения с БОСИ и формирователя видеосигнала цифробуквенной информации состоит (рисунок 6) из генератора 1 синхросмеси, блока 2 выбора ОЗУ и режимов БОСИ, цифробуквенного ОЗУ 3, графического ОЗУ 4, ПЗУ 5 знакогенератора и формирователя 6 видеосигнала. Процессор 7 ведёт обмен данными с ОЗУ 3 и ОЗУ 4 посредством шины адреса 8 и шины данных 9. Поз.10 обозначено ПЗУ режимов БОСИ.

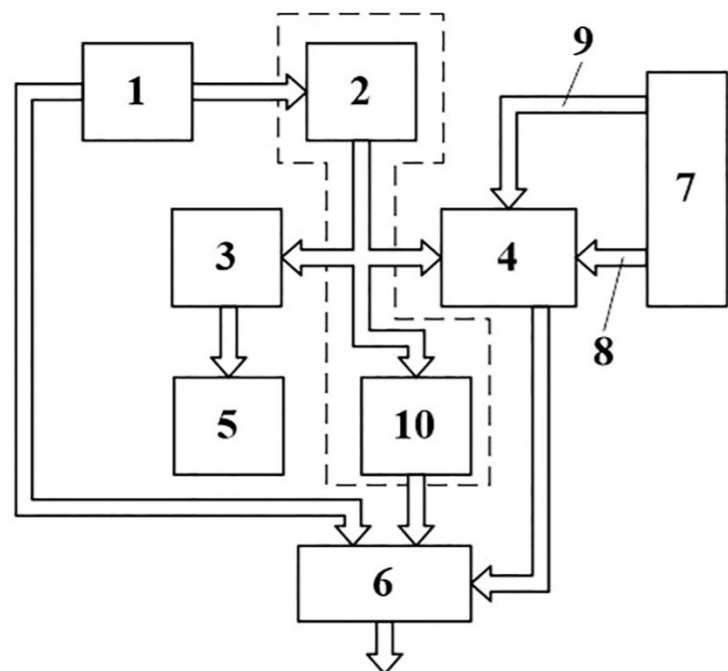


Рисунок 6 – Функциональная схема субблока сопряжения с БОСИ и формирователя видеосигнала

В графическом ОЗУ 4 хранится информация об изменениях текущих значений силы резания (упругих деформаций), необходимой для последующей её выборки микропроцессорным блоком управления для построения (отображения) графиков аварийных ситуаций «наезд», «поломка» и «износ» инструмента.

В цифробуквенном ОЗУ 3 хранится вся символьная информация. Формирователь 6 выдаёт на БОСИ только видеосигналы системы, либо видеосигналы системы вместе с видеосигналами УЧПУ станка.

В ходе исследования выявлены основные режимы функционирования системы. Функциональные возможности системы представлены семью режимами:

- 1 – «Тест ОЗУ»;
- 2 – «Ввод»;
- 3 – «Обучение»;
- 4 – «Автомат»;
- 5 – «ЧПУ»;
- 6 – «График»;
- 7 – «Износ»;

Режимы 3...7 являются основными в работе системы. На рисунке 7а представлен перечень режимов функционирования системы.

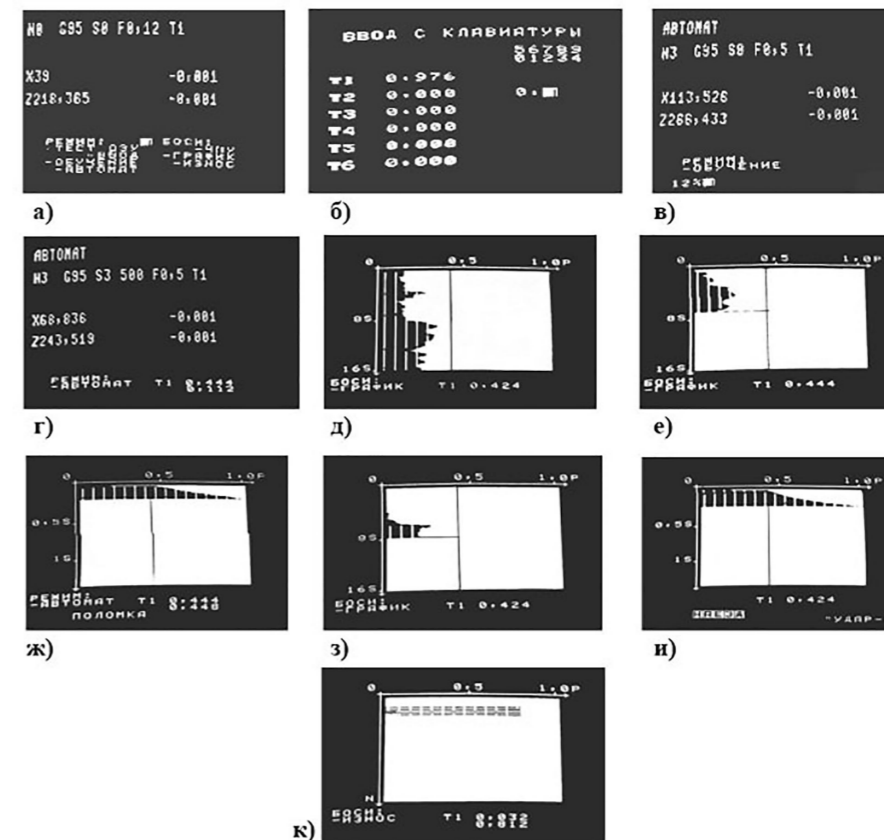


Рисунок 7 – Вид с экрана БОСИ в различных режимах функционирования системы

Режим «Тест ОЗУ» обеспечивает визуальную диагностику работоспособности основного функционального элемента системы – оперативного запоминающего устройства (ОЗУ).

Режим «Ввод» обеспечивает ручной ввод уставок по позициям резцедержателя (Т1...Т6, где Т1...Т6 – номера инструментов).

Пример введённой для инструмента Т1 уставки показан на рисунке 7б (вид с экрана БОСИ в режиме «Ввод»).

Задание величины уставки для аттестуемого инструмента означает резервирование данного инструмента для дальнейшего обучения.

В режиме «Обучение» задаются значению уставок с учётом их 6 %, 12 % или 25 %-ного превышения по отношению к априорно заданным технологом-оператором в зависимости от заданных технических условий на изготовление детали и требований к оборудованию.

Пример визуальной идентификации режима «Обучения» с 12 %-ным превышением уставки показан на рисунке 7в.



В режиме «Обучение» в уставку каждого инструмента (Т1...Т6) заносится величина, вычисленная по среднему значению силы резания с учётом одного из трёхпроцентных превышений.

В режиме «Автомат» осуществляется функционирование системы с выявлением и идентификацией всех аварийных ситуаций («Наезд», «Поломка» и «Износ» инструмента) с одновременной визуализацией на экране БОСИ протекания процесса резания.

После запуска управляющей программной обработки от УЧПУ станка на экране БОСИ индицируются: номер инструмента (Т1), полученная в режиме «Обучение» уставка (предельное значение силы резания).

После запуска управляющей программной обработки от УЧПУ станка на экране БОСИ индицируются: номер инструмента (Т1), полученная в режиме «Обучение» уставка (предельное значение силы резания (0,444 на рисунках 7в и 7г). Значение сил резания приведены в условных единицах.

Режим «ЧПУ» необходим для блокировки видеосигнала автоматической системы с освобождением экрана БОСИ для вывода на него цифробуквенной информации управляющей программы ЧПУ станка.

В режиме «График» осуществляется просмотр изменения (вариации) текущего значения силы резания в течение 256 с. Данного промежутка времени достаточно для визуальной идентификации аварийных ситуаций «Наезд» и «Поломка» инструмента.

Пример видеостраницы (например, третьей) просмотра протекания процесса резания показан на рисунке 7д (3-я видеостраница детального просмотра аварийной ситуации).

В данном режиме предусмотрен более детальный просмотр вариации силы резания (с частотой 500 Гц).

На токарном станке модели 16К20Ф3 с устройством ЧПУ 2Р22 обрабатывалась партия из 132 штук гладких и ступенчатых валиков из стали 40Х. Режущие инструменты Т1-Т6 оснащены сменными пластинками Т15К6 и ВК8.

При обработке данной партии деталей были зафиксированы 12 случаев поломки инструментов (проходных, подрезных и канавочных резцов).

Примеры видеостраниц выявления аварийной ситуации «поломка» инструмента в реальном и «растянутом» по времени графическом изображении представлены на рисунках 7е (видеостраница аварийной ситуации «Поломка» в реальном масштабе времени) и 7ж (видеостраница детального просмотра аварийной ситуации «Поломка» в «растянутом» графическом изображении)

Аварийная ситуация «Наезд» на препятствие многократно (11 случаев) моделировалась по наезду каретки суппорта станка с размещённой на ней револьверной головкой на зажатую в патроне и заднем центре деталь.

Примеры видеостраниц выявления аварийной ситуации «наезд» на препятствие в реальном и «растянутом» по времени графическом изображении представлены на рисунке 7з (видеостраница аварийной ситуации «Наезд» в реальном масштабе

времени) и 7и (видеостраница детального просмотра аварийной ситуации «Наезд» в «растянутом» графическом изображении).

В режиме «Износ» инструмента идентифицируется потеря режущей способности инструмента (его износ). При этом в заданных режимах резания производится последовательная обработка нескольких деталей. На рисунке 7к изображена аварийная ситуация «износ» по результатам обработки четырёх деталей.

Системой предусмотрена возможность вычисления и графической иллюстрации 32 средних значений усилий резания, полученных в ходе обработки 32-х деталей. По приращению ординат данных линий можно судить об износе инструмента и об исчерпании им ресурса работоспособности.

#### **Выводы**

Мобильное автоматическое выявление и идентификация потенциально возможных при работе токарного станка с ЧПУ аварийных ситуаций позволит предотвратить поломку подвижных узлов станка.

Введение в алгоритм идентификации аварийных ситуаций временных задержек при пересечении автоматически регистрируемым информативным диагностируемым параметром его предельных значений, а также дополнительное введение временных блокировок принятия решения повысили эффективность алгоритма идентификации.

Взаимодействие функциональных узлов и блоков автоматической системы контроля аварийных ситуаций с штатными узлами станка, такими, как устройство ЧПУ, блок БОСИ, повысило мобильность выявления, надёжную идентификацию аварийных ситуаций и защиту узлов станка от повреждений.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность и безотказность работы системы при выявлении аварийных ситуаций типа «Наезд», «Поломка» и «Износ инструментов». Система стыкуется с устройством ЧПУ класса CNC и DNC.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Шитов, А. М.** Диагностирование механизмов и узлов станков методом контрольных осциллограмм //Станки и инструмент. – 1980. – № 9. – С. 4–7.

2 **Кадыров, Ж. Н.** Диагностика и адаптация станочного оборудования ГПС. Л.: Политехника, 1991, 144 с.

3 **Рузанов, Ю. Н., Зелик, В. П., Астапенко, А. И., Максимов, М. А.** Устройство для контроля технического состояния станков: Авторское свидетельство СССР №1271715, опубл. 23.11.1986, Бюлл. № 43 – С.4: илл.

4 Проспект фирмы «Крупп Видиа» (Krupp Widia GmbH Werkzeugtechnik, ФРГ, г.Essen), Видатроник. Система контроля наезжания, поломки и износа инструмента. – 1990 г. – С. 12.

5 Проспект фирмы «Сандвик Коромант» (Sandvik Coromant, Швеция) Система Tool Monitoring System. – 1999. – С. 4.

6 Проспект Томского филиала НИИ Технологии машиностроения СКПР – система контроля процесса резания, Томск. – 1998. – С. 4.

7 **Кадыров, Ж. Н., Тлеужанова, Г. Б., Кадырова, М. Ж., Кочетков, А. В.** Автоматическая система контроля наезжания, поломки и износа инструментов токарного станка с ЧПУ: Патент РК №36029, опублик. 30.12.2022, Бюлл. № 52. – С. 8.

8 **Кадыров, Ж. Н., Тлеужанова, Г. Б.** Автоматическая система контроля наезжания, поломки и износа инструмента токарного станка с многоинструментальной револьверной головкой. Патент РК №36099, опублик. 17.02.2023, Бюлл. № 7 – С. 6.

9 **Кадыров, Ж. Н., Тлеужанова, Г. Б.** Способ диагностирования аварийных ситуаций при работе на оснащённом многопозиционной головкой токарном станке с ЧПУ. Патент РК №36135, опублик. 17.03.2023, Бюлл. №11. – С. 7.

10 **Дербенёв, В. Н., Кадыров, Ж. Н., Акбаров, Х. У., Кочетков, А. В., Шурупов, А. В.** Самообучающаяся система контроля наезжания, поломки и износа инструмента токарного ГПМ. /Вопросы авиационной науки и техники, Серия «Технология авиационного приборо- и агрегатостроения», 1989. – вып.2, С. 28–34.

## REFERENCES

1 **Shitov, A. M.** Diagnostirovanie mexanizmov i uzlov stankov metodom kontrol`ny`x oscillogramm [Diagnostics of mechanisms and units of machine tools by the method of control oscillograms // Machinery and tools]. //Stanki i instrument. – 1980. – № 9. – P. 4–7.

2 **Kadyrov, Zh. N.** Diagnostika i adaptaciya stanochnogo oborudovaniya GPS [Diagnostics and adaptation of FPS machine equipment]. L.: Politexnika, 1991, 144 p.

3 **Ruzanov, Yu. N., Zelik V. P., Astapenko A. I., Maksimov M. A.** Ustrojstvo dlya kontrolya texnicheskogo sostoyaniya stankov [Device for control of technical condition of machine tools]. Avtorskoe svidetel`stvo SSSR №1271715, опублик. 23.11.1986, Бюлл. № 43 – S.4: ill.

4 Проспект фирмы` «Krupp Vidia» (Krupp Widia GmbH Werkzeugtechnik, FRG, g.Essen), Vidatronik. Sistema kontrolya naezzhaniya, polomki i iznosa instrumenta [Prospectus of Krupp Widia GmbH Werkzeugtechnik (Essen, Germany), Vidatronic. System for monitoring tool run-in, breakage and wear] 1990 – P. 12

5 Проспект фирмы` «Sandvik Koromant» (Sandvik Coromant, Shveciya) Sistema Tool Monitoring System [Prospectus of Sandvik Coromant (Sandvik Coromant, Sweden) Tool Monitoring System], 1999 – P. 4.

6 Проспект Томского филиала НИИ Технологии машиностроения СКПР – система контроля процесса резания [Prospectus of Tomsk branch of Research Institute of Machine Building Technology SCPC - system of cutting process control], Tomsk. – 1998. – P. 4.

7 **Kadyrov Zh. N., Tleuzhanova G. B., Kadyrova M. Zh., Kochetkov A.V.** Avtomaticheskaya sistema kontrolya naezzhaniya, polomki i iznosa instrumentov

tokarnogo stanka s ChPU [Automatic system of control of running over, breakage and tool wear of CNC lathe] Patent RK № 36029, опублик. 30.12.2022, Бюлл. № 52. – P. 8.

8 **Kadyrov Zh. N., Tleuzhanova G. B.** Avtomaticheskaya sistema kontrolya naezzhaniya, polomki i iznosa instrumenta tokarnogo stanka s mnogoinstrumental`noj revol`vernoj golovkoj [Automatic system of control of running over, breakage and tool wear of the lathe with multi-tool turret], Patent RK № 36099 - опублик. 17.02.2023, Бюлл. № 7 – P. 6.

9 **Kadyrov Zh. N., Tleuzhanova G. B.** Sposob diagnostirovaniya avariyny`x situacij pri rabote na osnashhyonnom mnogopozicionnoj golovkoj tokarnom stanke s ChPU [Method of diagnostics of emergency situations when working on a CNC lathe equipped with a multi-position head], Patent RK №36135 - опублик. 17.03.2023, Бюлл. № 11. – P. 7.

10 **Derbenyov V. N., Kadyrov Zh. N., Akbarov X. U., Kochetkov A. V., Shurupov A. V.** Samoobuchayushhaya sistema kontrolya naezzhaniya, polomki i iznosa instrumenta tokarnogo GPM. [Self-learning system for monitoring the collision, breakage and wear of PMG turning tools. /Issues of aviation science and technology, Series «Technology of aviation instrumentation and assembly engineering»], Voprosy` aviacionnoj nauki i texniki, Seriya «Texnologiya aviacionnogo priboro- i agregatostroeniya» 1989, vy`p.2, P. 28–34.

Поступило в редакцию 12.12.23.

Поступило с исправлениями 29.04.24.

Принято в печать 21.06.2024.

\*Г. Б. Тлеужанова, Ж. Н. Кадыров

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.  
12.12.23 ж. баспаға түсті.  
29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.  
21.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҚҰРАЛДАРДЫҢ СОҚТЫҒЫСУЫН, СЫНУЫН ЖӘНЕ ТОЗУЫН БАҚЫЛАУДЫҢ АВТОМАТТЫ ЖҮЙЕСІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕР

Бұл мақалада осы жүйенің жұмыс істеуінің теориялық әзірленген алгоритмдеріне негізделген компьютерлік сандық басқару (КСБ) токарлық станокты пайдалану кезінде төтенше жағдайларды бақылаудың автоматты жүйесін эксперименттік зерттеулердің нәтижелері берілген. Төтенше жағдайды уақтылы анықтау және сәйкестендіру, диагностикаланатын төтенше жағдайлардың ең көп санын қамту мүмкіндігі автоматты жүйенің жұмысын тиімді етеді және технологиялық жабдықтың қымбат бөліктерін бұзылудан сақтайды. Зерттеу объектісі КСБ токарлық станок негізінде жүзеге асырылатын жүйенің функционалдық элементтері болып табылады. Диагностикаланатын параметр - кесу күші немесе оның құрамдас бөліктері. Жүйенің негізгі компоненттері мен блоктарының сипаттамалары келтірілген. Автоматты түрде тіркелген ақпараттық диагностикалық параметр өзінің шекті мәндерін кесіп өткенде уақыттық кідірістерінің төтенше жағдайларын анықтау алгоритмі енгізілді, сонымен қатар автоматты жүйемен жабдықталған токарлық станоктың жұмысы кезінде уақыттық шешімді блоктау енгізілді, атап айтқанда, «соқтығыс», «құралдың сынуы», «құралдың тозуы». Жүйенің негізгі жұмыс режимдері ашылды. Әрбір режимнің символдық ақпаратты көрсету бірлігінің (БОСИ) экранындағы визуализация мысалдары келтірілген. Ұсынылған жүйені пайдалану арқылы әрбір төтенше жағдайды анықтаудың ұтқырлығына және сенімді сәйкестендіруге қол жеткізілді, бұл токарлық станоктың жұмысын автоматты басқару жүйесінің функционалдық және техникалық сипаттамаларын жақсартады.

Кілтті сөздер: автоматты басқару жүйесі, жону білдегі, диагностика, апаттық жағдайлар, құралдың тозуы.

\*G. B. Tleuzhanova, Zh. N. Kadyrov

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk  
Received 12.12.23.  
Received in revised form 29.04.24.  
Accepted for publication 21.06.24.

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR CONTROLLING COLLISIONS, BREAKAGE AND WEAR OF TOOLS

This paper presents the results of experimental studies of the automatic system of control of emergency situations during the operation of CNC lathe on the basis of theoretically developed algorithms of this system. Timely detection and identification of an emergency situation, the ability to cover the largest number of diagnosable emergency situations, makes the operation of the automatic system efficient, and protects expensive components of technological equipment from breakdowns. The object of research is the functional elements of the system realized on the basis of a CNC lathe. The diagnosed parameter is the cutting force or its components. The main units and blocks of the system are characterized. The algorithm of identification of emergency situations of time delays when the automatically registered informative diagnosable parameter crosses its limit values is introduced, as well as temporary blockages of decision making during the operation of the lathe equipped with the automatic system, namely, "collision", "tool breakage", "tool wear". The basic modes of the system functioning are disclosed. Examples of visualization of each mode on the screen of the symbolic information display unit (BOSI) are given. With the proposed system, the mobility of detection and reliable identification of each emergency situation is achieved, which improves the functional and technical characteristics of the automatic lathe control system.

Keywords: automatic control system, lathe, diagnostics, emergency situations, tool wear.



**А. К. Тулешов<sup>1</sup>, \*А. А. Джомартов<sup>2</sup>, А. Е. Абдураимов<sup>3</sup>, А. Н. Камал<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Институт механики и машиноведения имени

У. А. Джолдасбекова, Республика Казахстан, г. Алматы

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

<sup>1</sup>ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

<sup>2</sup>ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7262-5267>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0815-3349>

<sup>4</sup>ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4454-8233>

### ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОНСОЛЬНОГО НАСОСА

Разработан экспериментальный стенд для оценки работы центробежного консольного насоса. Для измерения вибрации и кавитации, стенд оснащен акселерометром, микрофоном, датчиком оборотов, манометром, вакуумметром и расходомером воды. Для регулировки частоты вращения вала центробежного консольного насоса, стенд оснащен частотно-регулируемым приводом. Для сбора экспериментальных данных применяется анализатор спектра ZET 017-U2 с 2 входными каналами и с программным обеспечением компании ZETLAB. Экспериментальный стенд для оценки работы центробежного консольного насоса позволяет определять следующие неисправности: не соосность, дисбаланс, неисправный подшипник, неисправное рабочее колесо, механическая ослабленность и кавитационные явления. Проверена работоспособность экспериментального стенда для оценки работы центробежного консольного насоса. Протестирована работа оснащаемых датчиков стенда: акселерометра, микрофона, датчика оборотов. При помощи разработанного стенда проведены экспериментальные исследования центробежного консольного насоса СНР 32-160 компании Karlskrona. Приведены результаты экспериментальных исследований центробежного насоса СНР 32-160, выполненных на данном стенде. Проведены экспериментальные исследования колебаний угловой скорости вала центробежного консольного насоса. Определены среднеквадратичные значения радиальной виброскорости подшипников центробежного консольного насоса, и проведен их анализ и выданы рекомендации. Определен спектр звукового давления центробежного консольного насоса. Анализ спектра выявил кавитационные явления в центробежном консольном насосе, даны рекомендации по их устранению.

**Ключевые слова:** центробежный консольный насос, испытательный стенд, вибрация, кавитация, датчики, анализатор спектра.

### Введение

Центробежные консольные насосы предназначены для перегонки воды и жидкостей, с аналогичными свойствами плотности, текучести и химической инертности. Центробежные консольные насосы применяют в ЖКХ, водоснабжении частных жилых объектов, в оросительных системах, на химическом производстве [1-4]. На рисунке 1 показана схема типового центробежного консольного насоса [5]. В центробежном консольном насосе (рисунок 1) основным элементом является рабочее колесо, установленное в корпусе спирального отвода. Рабочее колесо с односторонним входом жидкости состоит из переднего (наружного) диска, заднего (внутреннего) диска со ступицей и лопастей, расположенных между дисками. Рабочее колесо непосредственно осуществляет силовое воздействие на протекающую жидкость, и тем самым передает ей энергию двигателя. Электродвигатель соединен через муфту с валом, установленным на двух опорах с подшипниками, который передает вращательный момент, рабочему колесу, зафиксированному на валу. Через входной патрубок жидкость всасывается внутрь. Ее подхватывают лопасти рабочего колеса и подают на выходной патрубок. К патрубкам подключены трубы. Насос устанавливают на твердом основании.

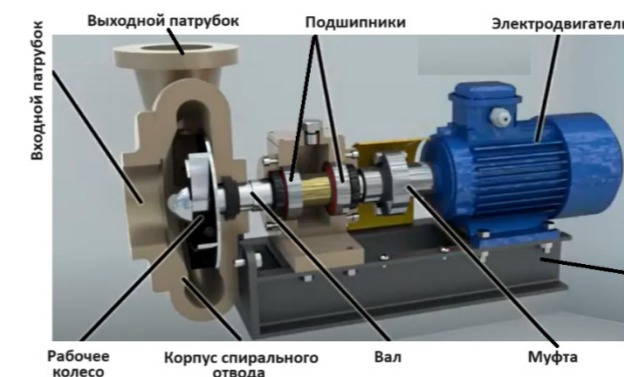


Рисунок 1 – Схема типового центробежного консольного насоса

Центробежные консольные насосы относятся к лопастным динамическим гидромашинам. В связи с подачей больших объемов воды, работа этих насосов подвержена большим динамическим нагрузкам, которые вызывают большие вибрации его узлов. Недопустимо высокие уровни вибрации центробежных консольных насосов приводят к выходу их из строя. Поэтому исследования, направленные на оценку вибрации центробежного консольного насоса, с целью повышения его работоспособности, является актуальной. Для дальнейшего исследования динамики центробежного консольного насоса необходимо разработать и собрать экспериментальный стенд.

### Материалы и методы

Экспериментальный стенд для оценки работы центробежного консольного насоса был спроектирован и собран в ИММаш имени У. А. Джолдасбекова. Экспериментальный стенд состоит из: центробежного консольного насоса,

соединенного с электродвигателем (компания Karlskrona, Казахстан, модель: СНР 32-160, 0,75 кВт, 1500 об/мин, 3-фазный, 380 В, напор 5 м и расход 8000 л/час), панели управления с регулятором скорости Nietz модели NZ2200-1r5g [6] (частотно-регулируемый привод с регулятором скорости, переключателем (ВЫКЛ/ВКЛ) и аварийным отключением), расходомером воды модели «CASCAD» WM-CW32 Ду32мм Класс С, манометров, вакуумметра, кранов, труб из ПВХ. Для сбора экспериментальных данных применяется анализатор спектра ZET 017-U2 с 2 входными каналами и с программным обеспечением компании ZETLAB [7].

Стенд оснащается следующими датчиками:

Акселерометр BC 110 для измерения уровня вибраций с чувствительностью 1000 мВ/г и диапазоном частот от 3,4 до 18 кГц для ( $\pm 10\%$ ) [7].

Бесконтактный оптический датчик оборотов ZET 402 для измерения угловой скорости. Диапазон измерения угловой скорости: 0...50000 об/мин [7].

Микрофон ZET 501 для измерения уровней звукового давления с чувствительностью 100 мВ/Па и диапазоном частот 50 Гц...13 кГц [7].

На экспериментальном стенде для оценки работы центробежного консольного насоса можно определять пять *механических неисправностей*: не соосность, дисбаланс, неисправный подшипник, неисправное рабочее колесо и механическая ослабленность; и *гидравлическая* неисправность: кавитация. Сигналы будут приниматься от насоса с помощью акселерометра, микрофона, датчика оборотов, которые будут установлены на корпусе насоса, а для сбора сигналов используется анализатор спектра ZET-17U2 [7].

На рисунках 2 и 3 показаны схема и собранный стенд для оценки работы центробежного консольного насоса.

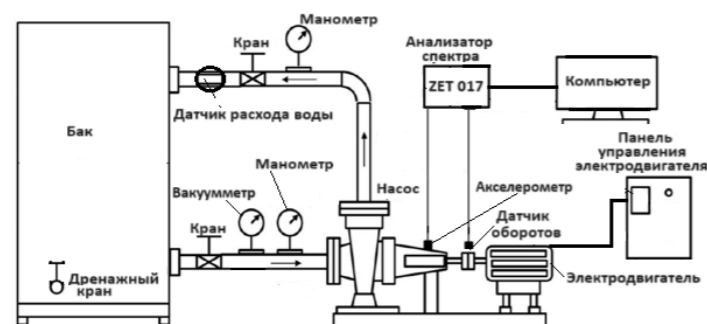


Рисунок 2 – Схема стенда для оценки работы центробежного консольного насоса

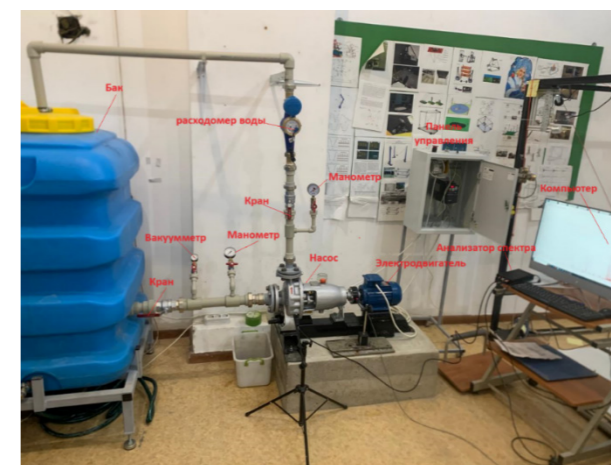


Рисунок 3 – Стенд для оценки работы центробежного консольного насоса

На рисунке 4 показаны установленные на стенде датчики измерения: акселерометр BC 110, бесконтактный оптический датчик оборотов ZET 402, микрофон ZET 501

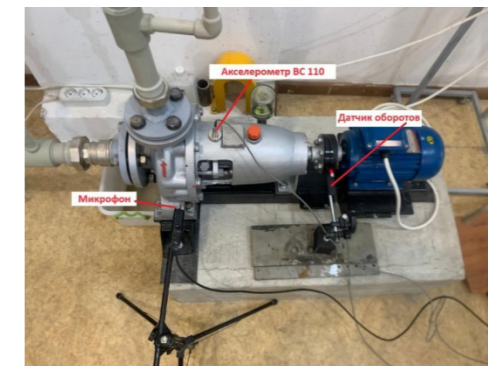


Рисунок 4 – Датчики стенда для оценки работы центробежного консольного насоса

Экспериментальные результаты. Испытания проводились при следующих параметрах центробежного консольного насоса, обороты вала насоса  $n=1414$  об/мин, (24 гц.), расход воды 80 л/мин, давление подачи 0.45 бар.

Проведено измерение угловой скорости вала насоса. На рисунке 5 показан график угловой скорости вала насоса в об/мин

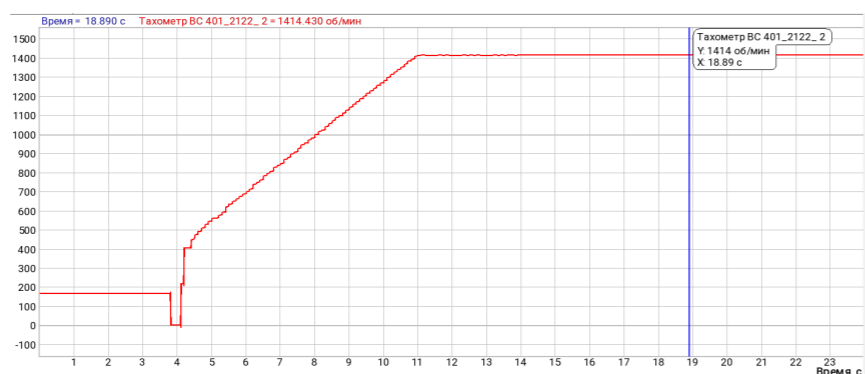


Рисунок 5 – Угловая скорость вала насоса в об/мин

На рисунке 6 показан график колебаний угловой скорости вала насоса в об/мин

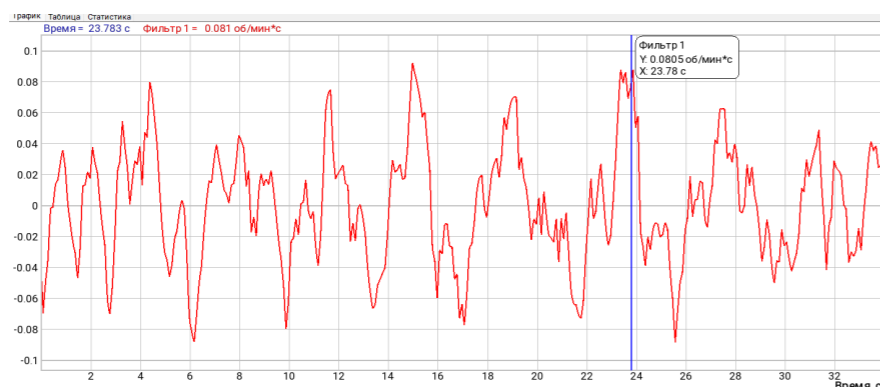


Рисунок 6 – График колебаний угловой скорости вала насоса в об/мин

Из анализа графика колебаний угловой скорости вала насоса (рисунок 6) видно, что неравномерность вращения вала насоса низкая и насос работает стабильно.

На рисунке 7 показан график радиальной виброскорости левого подшипника насоса. Из графика было определено СКЗ (среднеквадратичное значение) виброскорости равное 1.6 мм/с. Значение СКЗ радиальной виброскорости левого подшипника насоса лежит в допустимой зоне значений виброскорости, которая ограничена значением 2.5 мм/с [8].

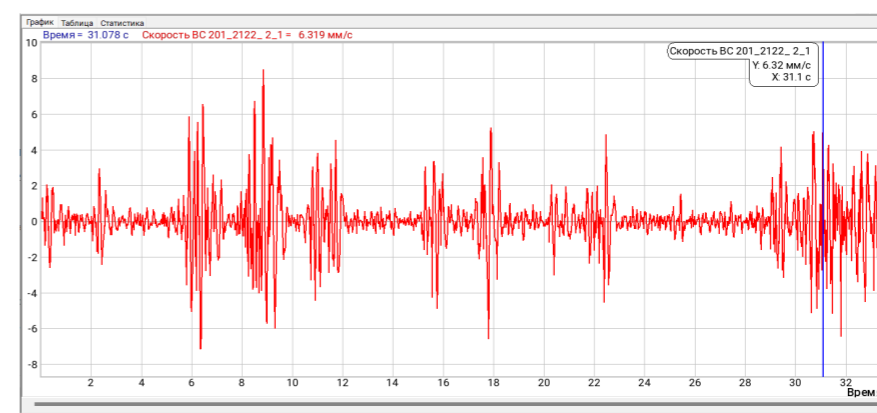


Рисунок 7 – График радиальной виброскорости левого подшипника насоса

Для спектрального анализа вибрации используем метод быстрого преобразования Фурье (БПФ). Алгоритмы БПФ применяются для преобразования временного сигнала в частотный спектр вибрации [9,10]. Спектральный анализ насоса разделяет общий уровень вибрации на амплитуды на дискретных частотах и помогает определить причину вибрации.

На рисунке 8 показан спектр левого подшипника по радиальному виброускорению. Как видно из рисунка 8, имеются характерные пики виброускорения на частотах 462 гц, 2300 гц, и 4000 гц. Пик на частоте 462 гц появляется из-за вибрации подшипника, а пики на частотах 2300 гц, и 4000 гц из-за гидродинамических эффектов насоса.

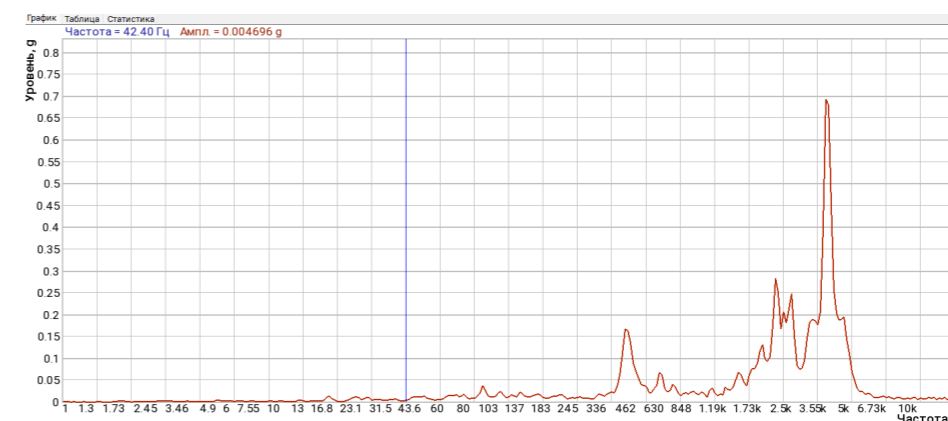


Рисунок 8 – Спектр левого подшипника по радиальному виброускорению

На рисунке 9 показан график радиальной виброскорости правого подшипника насоса. Из графика было определено СКЗ виброскорости равное 2.998 мм/с. Значение СКЗ радиальной виброскорости правого подшипника насоса превышает допустимую зону значений виброскорости, которая ограничена значением 2.5 мм/с [8]. Превышение допустимого значения СКЗ говорит о наличии дефекта в правом подшипнике.



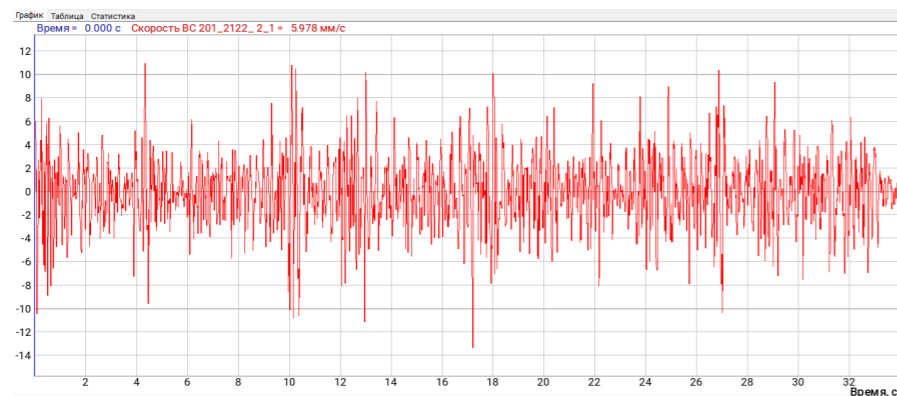


Рисунок 9 – График радиальной виброскорости правого подшипника насоса

На рисунке 10 показан спектр правого подшипника по радиальному виброускорению. Как видно из рисунка имеются большой пик виброускорения 1.906 g на частоте 436 гц из-за наличия дефекта правого подшипника.

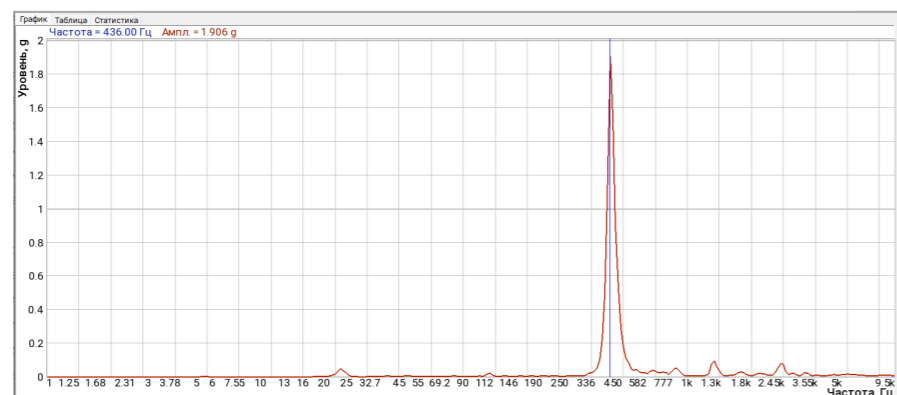


Рисунок 10 – Спектр правого подшипника по радиальному виброускорению

При помощи микрофона определен спектр звукового давления насоса, который показан на рисунке 11. На графике спектра виден характерный всплеск амплитуды звукового давления на частотах с 2100 гц по 2500 гц, что свидетельствует о кавитационных явлениях в насосе.

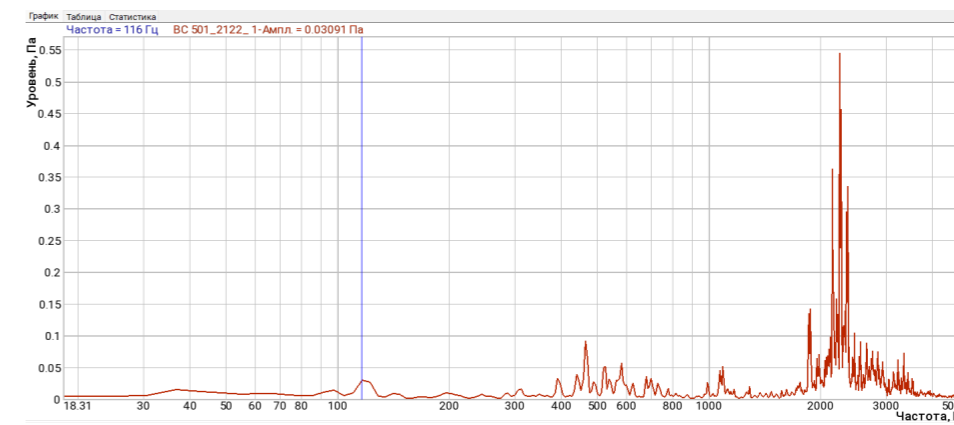


Рисунок 11 – Спектр насоса по звуковому давлению

### Результаты и обсуждение

Проверена работа разработанного экспериментального стенда для оценки работы центробежного консольного насоса. Показана работоспособность всех оснащаемых датчиков стенда: акселерометра, микрофона, датчика оборотов. При помощи разработанного стенда проведены экспериментальные исследования центробежного консольного насоса СНР 32-160 компании Karlskrona.

Экспериментальные исследования колебаний угловой скорости вала центробежного консольного насоса, показали его стабильную работу.

Определен СКЗ радиальной виброскорости левого подшипника центробежного консольного насоса, значение которого лежит в допустимой зоне. Спектральный анализ левого подшипника показал, что имеются небольшие пики виброускорения на частотах 462 гц, 2300 гц, и 4000 гц. Пик на частоте 462 гц появляется из-за вибрации подшипника, а пики на частотах 2300 гц, и 4000 гц из-за гидродинамических эффектов насоса.

Определен СКЗ радиальной виброскорости правого подшипника центробежного консольного насоса, значение которого превышает допустимое максимальное значение. Спектральный анализ правого подшипника показал, что имеются большой пик виброускорения на частоте 436 гц из-за наличия дефекта подшипника. Все это говорит о наличии дефекта в правом подшипнике и необходимости дальнейшей его замены.

Анализ спектра звукового давления центробежного консольного насоса выявил небольшие кавитационные явления, которые могут быть устранены повышением давления воды в входном патрубке.

### Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программы BR18574035 «Разработка, развитие, применение научно-технологических методов и цифровых инструментов для повышения производительности и конкурентоспособности насосостроения в Казахстане на уровне Индустрии 4.0» ИММаш имени У. А. Джолдасбекова.

### Выводы

Разработан экспериментальный стенд для оценки работы центробежного консольного насоса. Стенд оснащается следующими датчиками: акселерометр, микрофон, датчик оборотов. При помощи этих датчиков можно измерять вибрацию и кавитацию насоса при различных режимах его работы. Проверена работоспособность экспериментального стенда для оценки работы центробежного консольного насоса. Получены результаты экспериментальных исследований центробежного консольного насоса СНР 32-160 компании Karlskrona на экспериментальном стенде. Проведен анализ полученных результатов и выданы рекомендации по улучшению его работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Han, X., Kang, Y., Li, D., Zhao, W.** Impeller Optimized Design of the Centrifugal Pump: A Numerical and Experimental Investigation // *Energies* – 2018. – № 11(6). – P. 1444. – <https://doi.org/10.3390/en11061444>.
- 2 **Kim, J. H., Lee, H. C., Kim, J. H., Kim, S., Yoon, J. Y., Choi, Y. S.** Design techniques to improve the performance of a centrifugal pump using CFD // *J. Mech. Sci. Technol* – 2015. – № 29. – P. 215–225. – <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11724.95368>
- 3 **Yang, A. L., Lang, D. P., Li, G. P., Chen, E. Y., Dai, R.** Numerical research about influence of blade outlet angel on flow-induced noise and vibration for centrifugal pump // *Adv. Mech. Eng.* – 2015. – № 6. – P. 1–11. – <http://dx.doi.org/10.1155/2014/583482>.
- 4 **Zhou, L., Shi, W. D., Wu, S. Q.** Performance optimization in a centrifugal pump impeller by orthogonal experiment and numerical simulation. // *Adv. Mech. Eng.* – 2013. – № 6. – P. 1–11. – <http://dx.doi.org/10.1155/2013/385809>.
- 5 **Cheah, K. W., Lee, T. S., Winoto, S. H., Zhao, Z. M.** Numerical flow simulation in a centrifugal pump at design and off-design conditions. // *Int. J. Rotating Mach.* – 2007. – № 2. – P. 1–9. – <http://dx.doi.org/10.1155/2007/83641>
- 6 Сайт // *Nietz electronic*, – July, 2024. [Электронный ресурс]. – <http://www.nietz.cn/English/Default.aspx>.
- 7 Сайт // *ZETLAB* – July, 2024. [Электронный ресурс]. – [http://www.zetlab.com \(24.06.2024\)](http://www.zetlab.com (24.06.2024)).
- 8 Сайт // *BALTECH* – July, 2024. [Электронный ресурс]. – [http://vibrometer-vp.com/article8.html \(24.06.2024\)](http://vibrometer-vp.com/article8.html (24.06.2024)).
- 9 **Kaiser, T., Osman, R. H., Dickan, R. O.** Analysis Guide for Variable Frequency Drive Operated Centrifugal Pumps // *Proceedings of the 24th International Pump User Symposium, Texas: Texas A&M University, USA.* – 2008. – <https://doi.org/10.21423/R1M38X>.
- 10 **Albraik, A., et al.** Diagnosis of centrifugal pump faults using vibration methods // *Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.* – 2012. – <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012139>.

Поступило в редакцию 05.07.24.

Поступило с исправлениями 05.07.24.

Принято в печать 10.09.2024.

**А. Қ. Төлешов, \*А. А. Джомартов, А. А. Абдураимов, А. Н. Камал**

Ө. А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты, Алматы қ. 05.07.24 ж. баспаға түсті.

05.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

10.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОРТАДАН ТЕПКИШ КОНСОЛЬДЫҚ СОРҒЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН  
БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН СЫНАҚ СТЕНДІ

*Ортадан тепкіш консольдық сорғының жұмысын бағалау үшін тәжірибелік стенд әзірленді. Діріл мен кавитацияны өлшеу үшін стенд акселерометрмен, микрофонмен, жылдамдық сенсорымен, манометрмен, вакуумөшегішпен және су шығынын өлшегішпен жабдықталған. Ортадан тепкіш консольдық сорғының біліктің айналу жылдамдығын реттеу үшін стенд ауыспалы жиілікті жетекпен жабдықталған. Эксперименттік деректерді жинау үшін 2 кіріс арнасы және ZETLAB бағдарламалық құралы бар ZET 017-U2 спектр анализаторы пайдаланылады. Ортадан тепкіш консольдық сорғының өнімділігін бағалауға арналған тәжірибелік стенд келесі ақауларды анықтауға мүмкіндік береді: сәйкес келмеу, теңгерімсіздік, ақаулы мойынтірек, ақаулы дөңгелек және механикалық әлсіздік және кавитация құбылыстары. Орталықтан тепкіш консольдық сорғының жұмысын бағалау үшін тәжірибелік стендтің өнімділігі тексерілді. Стендтің жабдықталған сенсорларының жұмысы тексерілді: акселерометр, микрофон, жылдамдық сенсоры. Әзірленген стендті пайдалана отырып, Karlskrona фирмасының SHP 32-160 ортадан тепкіш консольдық сорғысына тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Осы стендте орындалған SNR 32-160 ортадан тепкіш сорғының эксперименталды зерттеулерінің нәтижелері берілген. Ортадан тепкіш консольдық сорғы білігінің бұрыштық жылдамдығының ауытқуына тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Ортадан тепкіш консольдық сорғы подшипниктерінің радиалды тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәндері анықталды, оларға талдау жүргізілді және ұсыныстар берілді. Ортадан тепкіш консольдық сорғының дыбыс қысымының спектрі анықталды. Спектрлік талдау орталықтан тепкіш консольдық сорғыда кавитация құбылыстарын анықтады және оларды жою бойынша ұсыныстар берілді.*

*Кілтті сөздер: орталықтан тепкіш консольдық сорғы, сынақ стенді, діріл, кавитация, датчиктар, спектр анализаторы.*

*A. Tuleshov, \*A. Jomartov, A. Abduraimov, A. Kamal*  
 Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty  
 Received 05.07.24.  
 Received in revised form 05.07.24.  
 Accepted for publication 10.09.24.

### TEST BENCH FOR EVALUATING THE OPERATION OF A CENTRIFUGAL CANTILEVER PUMP

*An experimental rig for evaluating the operation of a centrifugal cantilever pump has been developed. The rig is equipped with an accelerometer, microphone, speed sensor, pressure gauge, vacuum gauge and water flow meter to measure vibration and cavitation. The rig is equipped with a frequency-controlled drive to adjust the shaft speed of the centrifugal cantilever pump. A ZET 017-U2 spectrum analyzer with 2 input channels and ZETLAB software is used to collect experimental data. The experimental rig for evaluating the operation of a centrifugal cantilever pump allows you to determine the following faults: misalignment, imbalance, faulty bearing, faulty impeller and mechanical weakness and cavitation phenomena. The operability of the experimental rig for evaluating the operation of a centrifugal cantilever pump has been checked. The operation of the equipped sensors of the rig has been tested: accelerometer, microphone, speed sensor. The developed stand was used to conduct experimental studies of the centrifugal cantilever pump CHP 32-160 by Karlskrona. The results of experimental studies of the centrifugal pump CHP 32-160, performed on this stand, are presented. Experimental studies of oscillations of the angular velocity of the centrifugal cantilever pump shaft were conducted. The root-mean-square values of the radial vibration velocity of the centrifugal cantilever pump bearings were determined, their analysis was carried out and recommendations were issued. The sound pressure spectrum of the centrifugal cantilever pump was determined. The spectrum analysis revealed cavitation phenomena in the centrifugal cantilever pump, recommendations for their elimination were given.*

*Keywords: centrifugal cantilever pump, test bench, vibration, cavitation, sensors, spectrum analyzer*

### МЕТАЛЛУРГИЯ

МРНТИ 53.31.17;67.09.33;87.53.13

<https://doi.org/10.48081/NWNR2833>

**\*К. М. Акишев<sup>1</sup>, Ж. Нуртай<sup>2</sup>**

Казахский университет технологии и бизнеса имени  
К. Кулажанова, Республика Казахстан, г. Астана

\*e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5202-3501>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0744-0389>

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА С РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМИ РАЗМЕРАМИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*По сведениям из открытых источников на сегодняшний день в Республике Казахстане сосредоточены отходы черной металлургии в объеме превышающем 6 млрд.т. При этом переработка отходов черной металлургии не превышает 2 %. Такой низкий процент утилизации и вторичного использования отходов черной металлургии, объясняется прежде всего, отсутствием интереса со стороны частного бизнеса и высокой стоимостью извлечения из техногенных отходов металлов и сопутствующих компонентов. Одним из возможных способов утилизации отходов черной металлургии является возможность использования в качестве добавок в состав тяжелых бетонов.*

*В представленном исследовании, в качестве добавок в состав тяжелого бетона, использовался металлургический шлак ТОО «Кастинг» различного гранулометрического состава (от 0,5÷10мм). Контрольные образцы из разработанных составов тяжелых бетонов были испытаны на прочность на сжатие. Из наиболее качественных составов бетонных смесей, были произведены опытные образцы строительных изделий различной номенклатуры, подвергнутые испытанию на сжатие.*

*Как показывают экспериментальные данные, наиболее высокую прочность имеет состав тяжелого бетона с гранулометрическими размерами металлургического шлака проходящего через ячейку 0,5 лабораторного сита, из которого были изготовлены тротуарные плитки. При этом прочность на сжатие строительного изделия, составляла 99,69МПа.*

*Наименьшую прочность показал тяжелый бетон с гранулометрическими размерами металлургического шлака 2,5 мм. Прочность на сжатие камня пустотелого стенового составила 1, 746МПа.*

*При этом металлургический шлак с гранулометрическим размером от 0,63÷1,25 показал прочность на сжатие для камня пустотелого стенового не менее 10МПа.*

*Производимые из такого состава строительные изделия могут быть использованы в местах с интенсивным движением, а также в производствах с агрессивными средами.*



*В результате проведенных испытаний, выявлено, что гранулометрический размер, не всегда влияет на прочностные показатели строительного изделия – это прежде всего связано с процентным содержанием металлургического шлака, марки цемента, качества водно-цементного раствора.*

*Ключевые слова: металлургический шлак, бетон, прочность, гранулометрический размер, строительное изделие.*

### **Введение**

Павлодарская область является одним из драйверов металлургической отрасли Республики Казахстан, начиная с середины 60-х годов прошлого столетия. Вместе с производством черных и цветных металлов в области рос объем отходов металлургии, сосредоточенный в хвостохранилищах. За период интенсивной эксплуатации природных ресурсов, для получения различного передела, включая и горно-металлургическую промышленность, произведено более 26 млрд т., твердых отходов производства, с ежегодным приростом более чем на 1 млрд т. [1].

При этом львиная доля (58 %, или 15,1 млрд.т) отходов, принадлежит, горнометаллургической отрасли.

На сегодняшний день, площадь земель, под хвостохранилищами составляет не менее 13 тыс. га [1]. Проблемы утилизации металлургических отходов представляют большую проблему во всем мире [2-5].

По данным из [1] известно, что общее количество отходов черной металлургии Республики Казахстан (включая железорудную, хромоворудную и марганцеворудную промышленность) составляет 6,2 млрд.

В тоже время нет достаточной информации о использовании добавок отходов металлургии различного гранулометрического размера для производства строительных изделий различной номенклатуры.

Цель настоящего исследования состоит в оценке эффективности добавок отходов металлургии, различного гранулометрического размера в составе тяжелого бетона на прочность строительных изделий.

### **Материалы и методы**

Составы бетонных смесей с использованием металлургических отходов подробно описаны в [6–8].

Гранулометрический размер отходов металлургического шлака определялся с помощью лабораторных сито (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сито лабораторное размер ячейки 0,16

Для помола металлургического шлака использовалась лабораторная мельница (рисунок 2).



Рисунок 2 – Мельница лабораторная

Для изготовления контрольных образцов использовались формы размером 10×10, рисунок 3.



Рисунок 3 – Форма размером 10×10

Для испытания контрольных образцов и строительных изделий на прочность на сжатие использовался пресс с усилием 10 тонн (рисунок 4).



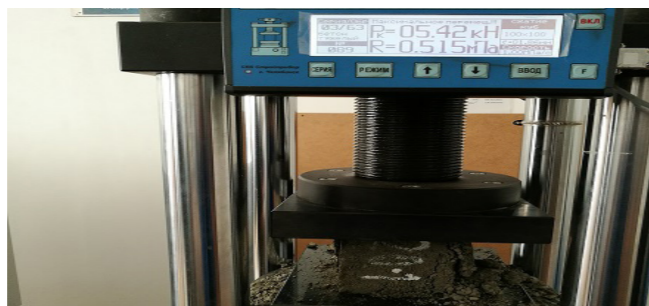


Рисунок 4 – Пресс лабораторный

Контрольные образцы пропаривались в пропарочной камере (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пропарочная камера

В качестве ингредиентов состава тяжелого бетона использовано сырье следующего состава:

-цемент марки 400, производство Семипалатинск (рисунок 6);



Рисунок 6 – Цемент марки 400, производство Семипалатинск плотностью 1100–1200 кг/м<sup>3</sup>

– песок речной фракция 1мм (рисунок 7);



Рисунок 7 – Песок речной фракция 1мм

– щебень с месторождения Майкаин, фракция 2–3мм (рисунок 8);



Рисунок 8 – Щебень Майкаинский фракция 2–3мм

– металлургический шлак ТОО «Кастинг» различного гранулометрического размера (рисунок 9);



Рисунок 9 – Металлургический шлак различного гранулометрического размера



**Результаты и обсуждение**

Для различного состава бетонных смесей с добавками металлургического шлака из различных гранулометрических размеров, были изготовлены контрольные образцы 10×10 (рисунок 10).



Рисунок 10 – Контрольные образцы

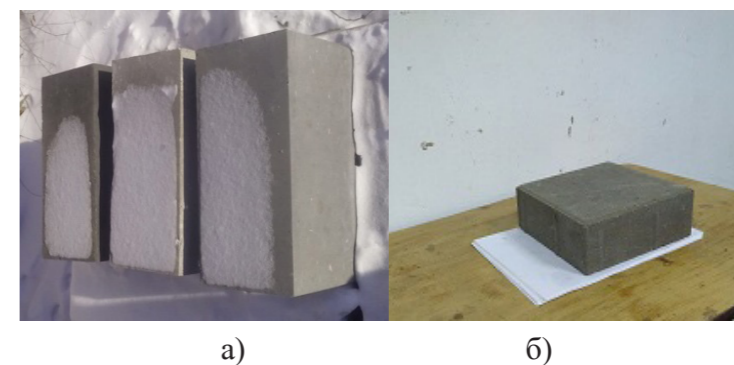
Контрольные образцы были подвергнуты испытанию прочности на сжатие согласно [9-10].

Из наиболее качественных составов бетонных образцов [7] были произведены опытные образцы строительных изделий на технологической линии Рефей (рисунок 11).



Рисунок 11– Технологическая линии Рефей

На рисунке 12, представлены строительные изделия произведенные из наиболее качественных бетонных смесей с добавками металлургического шлака различного гранулометрического размера.



а – камень стеновой пустотелый; б – плитка тротуарная

Рисунок 12 – Строительные изделия

Произведенные строительные изделия испытаны на прочность на сжатие согласно [9–10].

На рисунках 12-14 показаны результаты испытания на сжатие камня пустотелого стенового изготовленного из состава бетона с добавками металлургического шлака с различными гранулометрическими размерами.



Рисунок 12 – Результат испытания на сжатие камня пустотелого стенового (размер зерен металлургического шлака составляет 1,25 мм)



Рисунок 13 – Результат испытания на сжатие камня пустотелого стенового (размер зерен металлургического шлака составляет 2 мм)





Рисунок 14 – Результат испытания на сжатие камня пустотелого стенового (размер зерен металлургического шлака составляет 2,5 мм)

На рисунке 15 представлен результат испытаний плитки тротуарной, произведенной из бетонной смеси с добавками металлургического шлака гранулометрический размер, которых составил 0,5мм.



Рисунок 15 – Результат испытания на сжатие плитки тротуарной (размер зерен металлургического шлака составляет 0,5 мм)

На рисунке 16, представлен результат испытаний плитки тротуарной, произведенной из бетонной смеси с добавками металлургического шлака гранулометрический размер, которых составил 2,0 мм.



Рисунок 16 – Результат испытания на сжатие плитки тротуарной (размер зерен металлургического шлака составляет 2,0 мм)

На рисунке 17 представлен результат испытаний плитки тротуарной, произведенной из бетонной смеси с добавками металлургического шлака гранулометрический размер, которых составил 4,0 мм.



Рисунок 17 – Результат испытания на сжатие плитки тротуарной (размер зерен металлургического шлака составляет 4,0 мм)

На рисунке 18 представлена зависимость прочности камня стенового пустотелого от гранулометрических размеров металлургического шлака.

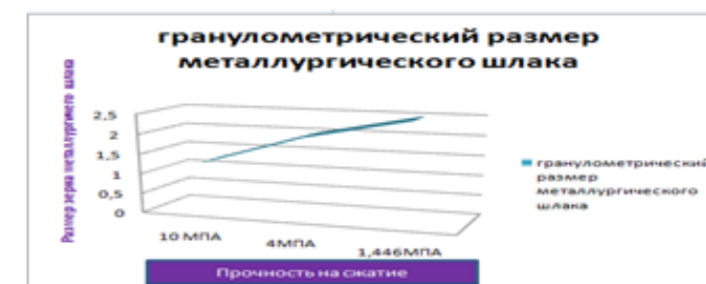


Рисунок 18 – Зависимость прочности камня стенового пустотелого от гранулометрических размеров металлургического шлака

На рисунке 19 представлена зависимость прочности тротуарной плитки от гранулометрических размеров металлургического шлака.

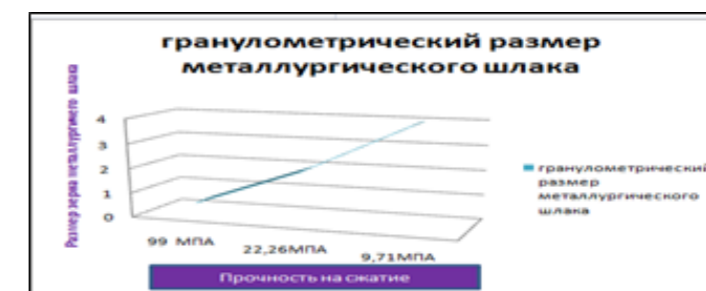


Рисунок 19 – Зависимость прочности плитки тротуарной от гранулометрических размеров металлургического шлака

**Заключение**

- 1) Включение добавок металлургического шлака в состав бетонной смеси, повышает прочность строительных изделий;
- 2) Гранулометрический размер металлургического шлака, не всегда влияет на прочностные показатели строительного изделия-это прежде всего связано с

процентным содержанием металлургического шлака, марки цемента, качества водно-цементного раствора;

3) Использование добавок в бетонные смеси в виде металлургического шлака способствует решению вопроса утилизации отходов металлургии.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Сатбаев, Б. и др.** Природоохранная технология комплексной утилизации техногенных отходов металлургической промышленности: самоспекающаяся химически стойкая огнеупорная масса. Новые огнеупоры. – № 6. – 2019. – С. 64–68.

2 **Кадыров, А.** Перспективы переработки отходов черной металлургии на примере ао «арселормиттал темиртау». – Металлург № 1. – 2018. – С. 29–30.

3 **Бельский, С.** Современное состояние переработки шлаков сталеплавильного производства. – Ipolytech journal. – 2021. – Т. 25. – № 6. – С. 782–794.

4 **Дергунов, С.** Перспективы применения шлаков черной металлургии. архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. Электронный сборник статей международной научной конференции (Новополюцк, 28–29 ноября 2019 г.). – С. 386–391.

5 **Найдек, В.** Переработка и использование сталеплавильных шлаков. Металл и литье украины № 3 (238), 2013. – С. 3–7.

6 **Akishev, K., Bykov, P and other.** Mathematical formulation and the problem solution of clustering recipes of concrete mixtures using technogenic waste and slags of metallurgical enterprises, Metallurjia. – 2022.61(1)213-216.

7 **Акишев, К., Арынгазин, К.** Применение методов кластерного анализа для статистической оценки качества металлургического шлака Павлодарского филиала ТОО «КАСТИНГ». Проблемы автоматизации и управления. НАН КР, институт автоматизации и информационных технологий. – №2 (37), 2019. – С. 79–88.

8 **Акишев, К.** Анализ разработок использования техногенных отходов в строительных материалах. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XIX Сатпаевские чтения», Павлодар : Том 20. – 2019. – С. 249–255.

9 ГОСТ 10180-2012 Бетоны Методы определения прочности по контрольным образцам. Действующий 01.03.2021 14.

10 Испытание бетона и бетонных смесей. – [Электронный ресурс]. – <https://stroy-exp.ru/blog/kontrol-prochnosti-betona>

#### REFERENCES

1 **Satbaev, B. et al.** Prirodoohrannaya tekhnologiya kompleksnoj utilizacii tekhnogennyh othodov metallurgicheskoy promyshlennosti: samospekayushchayasya himicheski stojkaya ogneupornaya massa. [Environmental technology for the comprehensive utilization of technogenic waste from the metallurgical industry: self-

baking chemically resistant refractory mass]. – New Refractories. – No. 6, 2019. – P. 64–68.

2 **Kadyrov, A.** Perspektivy pererabotki othodov chernoj metallurgii na primere AO «Arselormittal Temirtau». [Prospects for the processing of ferrous metallurgy waste on the example of JSC ArcelorMittal Temirtau]. – Metallurgist. – № 1. – 2018. – P. 29–30.

3 **Belsky, S.** Sovremennoe sostoyanie pererabotki shlakov staleplavil'nogo proizvodstva [Current state of processing steelmaking slags]. – Ipolytech journal, 2021. – Vol. 25. – № 6. P. 782–794.

4 **Dergunov, S.** Perspektivy primeneniya shlakov chernoj metallurgii. arhitekturno-stroitel'nyj kompleks: problemy, perspektivy, innovacii [Prospects for the use of ferrous metallurgy slags. architectural and construction complex: problems, prospects, innovations]. Electronic collection of articles from the international scientific conference (Novopolotsk, November 28–29, 2019). – P. 386–391.

5 **Naidek, V.** Pererabotka i ispol'zovanie staleplavil'nyh shlakov. [Processing and use of steelmaking slags]. Metal and Casting of Ukraine, №. 3 (238). – 2013. – P. 3–7.

6 **Akishev, K., Bykov, P and other.** Mathematical formulation and the problem solution of clustering recipes of concrete mixtures using technogenic waste and slags of metallurgical enterprises. Metallurjia, 2022. – 61(1) P. 213–216.

7 **Akishev, K., Aryngazin, K.** Primenenie metodov klasterного analiza dlya statisticheskoy ocenki kachestva metallurgicheskogo shlaka Pavlodarskogo filiala TOO «CASTING» [Application of cluster analysis methods for statistical assessment of the quality of metallurgical slag of the Pavlodar branch of CASTING LLC]. Problems of automation and control. NAS KR, Institute of Automation and Information Technology. № 2 (37). – 2019. – P. 79–88.

8 **Akishev, K.** Analiz razrabotok ispol'zovaniya tekhnogennyh othodov v stroitel'nyh materialah. [Analysis of developments in the use of man-made waste in building materials]. Proceedings of the international scientific conference of young scientists, graduate students, students and schoolchildren «XIX Satpayev readings», Pavlodar, Volume 20. – 2019. – P. 249–255.

9 GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples. Effective 01.03.2021 14.

10 Ispytanie betona i betonnyh smesej [Testing of concrete and concrete mixtures]. [Electronic resource]. – <https://stroy-exp.ru/blog/kontrol-prochnosti-betona>

Поступило в редакцию 10.09.24.

Поступило с исправлениями 10.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

\*К. М. Акишев, Ж. Нуртай

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана  
10.09.24 ж. баспаға түсті.  
10.09.24 ж. түзетулерімен түсті.  
12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҚҰРЫЛЫС БҰЙЫМДАРЫНЫҢ БЕРІКТІК КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘРТҮРЛІ ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ӨЛШЕМДЕРІ БАР МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ҚОЖ ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Ашық көздерден алынған мәліметтер бойынша, бүгінгі таңда Қазақстан Республикасында 6 млрд. т. астам көлемде қара металлургия қалдықтары шоғырланған. Бұл ретте қара металлургия қалдықтарын қайта өңдеу 2 % - дан аспайды. Қара металлургия қалдықтарын кәдеге жарату мен қайта пайдаланудың мұндай төмен пайызы, ең алдымен, жеке бизнес тарапынан қызығушылықтың жоқтығымен және техногендік қалдықтардан металдар мен ілеспе компоненттерді алудың жоғары құнымен түсіндіріледі. Қара металлургия қалдықтарын жоюдың бір мүмкін әдісі-ауыр бетондардың құрамына қоспалар ретінде пайдалану мүмкіндігі.

Ұсынылған зерттеуде ауыр бетон құрамына қоспалар ретінде әртүрлі гранулометриялық құрамдағы «Кастинг» ЖШС металлургиялық қожы пайдаланылды (0.5÷10 мм бастан). Әзірленген ауыр бетон құрамдарынан алынған бақылау үлгілері қысу беріктігіне сыналды. Бетон қоспаларының ең жоғары сапалы құрамдарынан сығымдау сынағына ұшыраған әртүрлі номенклатурадағы құрылыс өнімдерінің прототиптері шығарылды.

Эксперименттік деректер көрсеткендей, ең жоғары беріктігі тротуар плиталары жасалған 0,5 зертханалық електен өтетін металлургиялық қождың гранулометриялық өлшемдері бар ауыр бетонның құрамына ие. Бұл ретте құрылыс бұйымының сығылу беріктігі 99,69 МПа құрады.

Металлургиялық қождың гранулометриялық өлшемдері 2,5 мм болатын ауыр бетон ең аз беріктігін көрсетті. Қуыс қабырғалы тастың қысу беріктігі 1, 746 МПа болды.

Бұл ретте гранулометриялық өлшемі 0,63÷1,25 болатын металлургиялық қож қуыс қабырғалы тас үшін кем дегенде 10 МПа қысу беріктігін көрсетті.

Осындай құрамнан өндірілген құрылыс бұйымдары қозғалысы қарқынды жерлерде, сондай-ақ агрессивті ортасы бар өндірістерде пайдаланылуы мүмкін.

Жүргізілген сынақтардың нәтижесінде гранулометриялық Өлшем құрылыс өнімінің беріктік көрсеткіштеріне әрдайым әсер етпейтіні анықталды-бұл ең алдымен металлургиялық қождың, цемент маркасының, су-цемент ерітіндісінің сапасының пайыздық мөлшеріне байланысты.

Кілтті сөздер: металлургиялық қож, бетон, беріктік, гранулометриялық өлшем, құрылыс өнімі.

\*К. М. Akishev<sup>1</sup>, J. Nurtay<sup>2</sup>

K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business,  
Republic of Kazakhstan, Astana  
Received 10.09.24.  
Received in revised form 10.09.24.  
Accepted for publication 12.09.24.

### EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF METALLURGICAL SLAG ADDITIVES WITH DIFFERENT GRANULOMETRIC DIMENSIONS ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF BUILDING PRODUCTS

According to information from open sources, to date, ferrous metallurgy waste in excess of 6 billion tons is concentrated in the Republic of Kazakhstan. At the same time, the recycling of ferrous metallurgy waste does not exceed 2 %. Such a low percentage of recycling and recycling of ferrous metallurgy waste is primarily due to the lack of interest from private business and the high cost of extracting metals and related components from man-made waste. One possible way to dispose of ferrous metallurgy waste is the possibility of using it as additives in the composition of heavy concretes.

In the presented study, metallurgical slag of Casting LLP of various granulometric composition (from 0.5 to 10mm) was used as additives to the composition of heavy concrete. Control samples from the developed compositions of heavy concrete were tested for compressive strength. Prototypes of construction products of various nomenclature, subjected to compression testing, were produced from the highest quality compositions of concrete mixtures.

As experimental data show, the composition of heavy concrete with the granulometric dimensions of metallurgical slag passing through a cell of 0.5 laboratory sieve, from which paving slabs were made, has the highest strength. At the same time, the compressive strength of the construction product was 99.69MPa.

The lowest strength was shown by heavy concrete with a granulometric size of metallurgical slag of 2.5 mm. The compressive strength of the hollow wall stone was 1.746 MPA.

At the same time, metallurgical slag with a granulometric size from 0.63 to 1.25 showed a compressive strength of at least 10MPa for hollow wall stone.

Construction products made from such a composition can be used in places with heavy traffic, as well as in industries with aggressive environments.

As a result of the tests, it was revealed that the granulometric size does not always affect the strength characteristics of a building product-this is primarily due to the percentage of metallurgical slag, cement grade, and the quality of the aqueous cement mortar.

Keywords: metallurgical slag, concrete, strength, granulometric size, construction product.



**П. О. Быков<sup>1</sup>, А. К. Жунусова<sup>2</sup>, \*А. Б. Куандыков<sup>3</sup>,  
Р. Б. Муканов<sup>4</sup>, Э. Сименс<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>4</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>5</sup>Университет прикладных наук Анхальта, Федеративная Республика Германия, г. Кётен

\*e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7540-7882>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6075-1603>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2986-3614>

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ДОИЗВЛЕЧЕНИЮ ЖЕЛЕЗА ИЗ БОКСИТОВ КАЗАХСТАНА АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ВОССТАНОВИТЕЛЯМИ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ УГЛЕРОДОМ)**

*Авторами проведен анализ возможности вовлечения в переработку железосодержащих отходов, образующихся при производстве глинозема из бокситов Казахстана с использованием альтернативных углероду (C и CO) восстановителей – водорода (H<sub>2</sub>) и метана (CH<sub>4</sub>).*

*В данной статье представлены результаты первого этапа экспериментальных исследований по использованию кокса для восстановления минералов, входящих в состав железистых песков и отвальных шламов.*

*Экспериментально установлено, что лимитирующей стадией процесса является процесс разделения образованных чугуна и шлака, который из-за высокого содержания оксидов алюминия в шлаке не протекает в полной мере при температуре 1200 – 1300 °С, что требует увеличения температуры протекания процесса до 1400 – 1500 °С и увеличения количества извести в рудугольных брикетах.*

*В работе запланированы дальнейшие исследования по восстановлению железа из железистых песков и отвальных шламов производства глинозема с использованием восстановителей альтернативных углероду (коксу).*

*Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по конкурсу на грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2024-2026 годы по проекту АР23487674 «Комплексная переработка бокситов Казахстана с доизвлечением железа альтернативными восстановителями при реализации стратегии низкоуглеродистого развития».*

*Ключевые слова: боксит, железо, глинозем, углеродная нейтральность, кокс, рециклинг.*

### **Введение**

Республика Казахстан в новом Экологическом кодексе, утвержденном в 2021 и других нормативных документах продвигает вопросы устойчивого развития, которые включают в себя задачи развития замкнутых циклов производств, «постоянный круговорот материалов при производстве и потреблении, исключая образование отходов, накапливающихся в окружающей среде», путей достижения углеродной нейтральности до 2060 года [1–7].

В Павлодарской области Республики Казахстан основными видами промышленных отходов при переработке руд и сжигания энергетических углей являются золошлаковые отходы тепловых электростанций, отходы металлургических предприятий от производства стали, глинозема, алюминия и ферросплавов, химических производств. Вопросами комплексного использования руд и вовлечения переработку промышленных отходов занимаются ряд научных коллективов, которыми успешно проведены исследования и предложены варианты дальнейшего использования отходов в металлургии для доизвлечения металлов и в строительной индустрии для производства бетона и изделий из него [8–19].

Анализ показывает, что предлагаемые авторами исследований варианты по вовлечению в переработку металлосодержащих отходов для доизвлечения металлов в качестве восстановителей используют углеродсодержащие материалы, которые отрицательно влияют на экологию, образуя выбросы CO и CO<sub>2</sub>, тем самым не способствуют успешному достижению заявленной Казахстаном углеродной нейтральности до 2060 года.

В целом в мире основным восстановителем для металлов остаётся углерод, что требует разработки новых более «экологичных» вариантов производства металлов для достижения Целей устойчивого развития ООН и углеродной нейтральности в металлургии.

При производстве глинозема из низкокачественных бокситов Казахстана на Павлодарском алюминиевом заводе используют «последовательно-параллельную схему Байер-спекание». Данный способ обусловлен химическим составом бокситов, поступающих на переработку [20]. Для снижения негативного влияния на технологические переделы производства глинозема бокситовых примесей, поступление которых в производственный цикл с переработкой краснооктябрьского боксита по Байеровской технологии увеличилось в несколько раз, разработаны и внедрены две схемы обогащения боксита на стадии размола: схема вывода каолинитовой составляющей и схема вывода железистых песков [20].

В настоящее время образующиеся железистые пески направляются на шламовые поля и являются отходами.

### **Материалы и методы**

Авторами проведен анализ возможности вовлечения в переработку железосодержащих отходов, образующихся при производстве глинозема из

бокситов Казахстана с использованием углеродистых (С и СО) и альтернативных углероду восстановителей – водорода ( $H_2$ ) и метана ( $CH_4$ ).

В данной статье представлены результаты первого этапа экспериментальных исследований по использованию кокса для восстановления минералов, входящих в состав железистых песков и отвальных шламов.

Состав железосодержащих отходов глиноземного производства Павлодарского алюминиевого завода приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав железосодержащих шламов Павлодарского алюминиевого завода [20]

Компоненты, %	$Al_2O_3$	$Na_2O$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$SiO_2$	$TiO_2$	$CO_2$	$SO_3$
Железистые пески	17–20	0,5–0,8	52–56	4,6–5,6	6,2–8,2	2–3	9–12,0	2,2–3,0
Отвальные шламы	4,3–5,0	0,9–1,5	27–32	39–44	19–21	$\leq 2$	0,8–1,0	

Объем образующихся железистых песков определяется уровнем производства глинозема в АО «Алюминий Казахстана». При современном уровне производства в АО «Алюминий Казахстана» (~1,6 миллиона тонн глинозема в год) с железистыми песками теряется до 220 тысяч тонн  $Fe_2O_3$  поступающего с бокситом и до 75 тысяч тонн  $Al_2O_3$ . Гранулометрический состав железистых песков колеблется в пределах от 0,15 до 5 мм и определяется технологическими параметрами процесса их вывода при реализации схемы обогащения боксита с выводом железистых песков в АО «Алюминий Казахстана» [20].

Основными минералами железистых песков, выделяемых при обогащении Краснооктябрьских бокситов на АО «Алюминий Казахстана» являются гематит ( $Fe_2O_3$ ), сидерит ( $FeCO_3$ ), пирит ( $FeS_2$ ), магнетит ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ ), гетит ( $FeO(OH)$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), гиббсит ( $Al(OH)_3$ ) и др. [20].

Объем образующихся отвальных шламов существенно больше железистых песков, однако содержание оксидов железа в них существенно меньше. В отвальных шламах представлены аналогичные железистым пескам минералы [20].

Объектом исследования являлись железистые пески АО «Алюминий Казахстана» и технология твердофазного восстановления железа. Химический состав железистых песков приведен в таблице 1.

Общий вид железистых песков приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Железистые пески АО «Алюминий Казахстана»

Получение железа из железистых песков осуществлялось из рудоугольных брикетов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий вид рудоугольных брикетов

В качестве материалов для изготовления рудоугольных брикетов использовались следующие материалы:

- железистые пески АО «Алюминий Казахстана»;
- Экибастузский уголь;
- металлургический кокс;
- свежееобожженная известь;
- бентонит.

Экибастузский уголь и металлургический кокс чередовался при изготовлении брикетов разных партий.

Характеристика Экибастузского угля. Уголь высокозольный (более 40%), с относительно высоким содержанием примесей:

- тип угля Экибастузский 1СС;
- общая влага в рабочем состоянии топлива – 6,5 %;
- влага гигроскопическая – 4 %;
- зольность в сухом состоянии топлива – 36,9 %;
- сера общая в сухом состоянии топлива – 0,7 %;
- летучие вещества в сухом беззольном состоянии топлива – 25 %;
- низшая теплота сгорания в рабочем состоянии топлива – 17,38 МДж/кг;
- коэффициент размоловости топлива методом ВТИ – 1,29;
- сера колчеданная в сухом беззольном состоянии топлива – 0,3 %;
- сера органическая в сухом беззольном состоянии топлива – 0,4 %;
- углерод в сухом беззольном состоянии топлива – 44,8 %;
- водород в сухом беззольном состоянии топлива – 3 %;
- азот в сухом беззольном состоянии топлива – 0,8 %;
- кислород (по разности) в сухом беззольном состоянии топлива – 7,3 %.

Химический состав металлургического кокса приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав металлургического кокса

Компоненты, %	C	S	A	V	W
Металлургический кокс	78,69	0,63	1,87	0,65	0,63

Химический состав свежесожженной извести приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав свежесожженной извести

Компоненты, %	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
Свежесожженная известь	88	2	1,5	1,5	0,15

Подобно другим процессам производства чугуна, на производственные и экономические показатели процесса твердофазного восстановления оказывают влияние примеси в железорудном сырье, в особенности глинозём (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Важнейшей стадией процесса является разделение шлака и металла, для образования чугунных корольков более благоприятны кремнистые руды с относительно низкой температурой ликвидуса образованного шлака. В исследуемых железистых песках главной примесью является глинозём, что обуславливает высокую температуру ликвидуса и затрудненное образование металлических корольков из-за плохого разделения шлака и металла.

В работе была поставлена задача выявления влияния глинозёма на разделение шлака и металла, степень восстановления оксидов железа, а также влияние содержания углерода, температуры восстановления и величины добавки извести на разделение шлака и металла с образованием металлических корольков из железистых песков.

Как известно, при переработке железных руд процессом ITmk3, рудоугольные окатыши, содержащие мелкозернистую руду, загружают в два или три слоя в печь с вращающимся подом. Когда окатыши нагревается до температуры около 1300–1400 °С оксида железа, происходит его частичное или полное расплавления и насыщение углеродом. Оксиды из состава руды, зола угля и вяжущие взаимодействуют с образованием шлака. Чтобы облегчить разделение металла и шлака и образования чугунных корольков, температуру восстановления в этом процессе поддерживает несколько выше температуры ликвидуса науглероженного металла и шлака. Разделение шлака и металла является ключевой стадией данного процесса. Чугунные корольки содержат 3–5 % углерода и пригодны для переработки в дуговой печи или кислородном конверте в качестве заменителя лома.

В ходе исследования были приготовлены брикеты из следующих материалов: железистые пески АО «Алюминий Казахстана»; Экибастузский уголь; металлургический кокс; свежесожженная известь; бентонит. Брикеты были высушены при температуре 110 °С в течении 60 минут и далее прессовались при усилии 5кН на универсальной испытательной машине WDW-200.

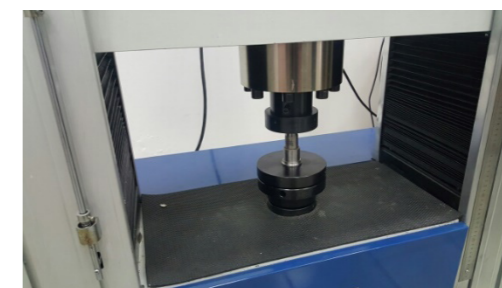


Рисунок 3 – Изготовление рудоугольного брикета на универсальной испытательной машине WDW-200

Рудоугольные брикеты имели следующие размеры: диаметр – 27 мм, высота – 20 мм (рисунок 2.2), масса брикетов составляла 17 грамм.

Каждая серия экспериментов осуществлялась из рудоугольных брикетов с различным соотношением и фракцией компонентов (таблица 4).

Таблица 4 – Состав и фракция компонентов по различным сериям экспериментов

Серия экспериментов	№ 1		№2		№3	
Подсерия экспериментов	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Состав рудоугольных брикетов, %						
Железистые пески	60	60	65	65	70	70
Кокс металлургический	20	20	15	15	10	10
Известь	10	10	10	10	10	10
Бентонит	10	10	10	10	10	10
Вода (сверх 100 %)	15	15	15	15	15	15
Фракция компонентов рудоугольных брикетов, мм						
Железистые пески	0,63	0,4	0,63	0,4	0,63	0,4
Кокс металлургический	0,63	0,4	0,63	0,4	0,63	0,4
Известь	0,63	0,4	0,63	0,4	0,63	0,4

Выбор соотношения компонентов и фракции осуществлялся из следующих соображений:

– величина фракции выбрана в пределах 0,4 – 0,63 мм, учитывая, что фракция железистых песков АО «Алюминий Казахстана» находится в пределах от – 2 до + 0 мм, причем фракция от + 0,63 до + 0,15 составляет более 64 %;

– количество кокса металлургического выбиралось из технологических соображений – дальнейшего получения полностью или частично восстановленных брикетов;

– количество извести бралось достаточным для образования жидкого шлака;

– количество бентонита бралось в количестве необходимом для получения брикета с необходимой сырой прочностью, при этом учитывалось, что увеличение связующего в дальнейшем снижает степень восстановимости железа.



Далее рудоугольные брикеты каждой серии экспериментов восстанавливались в муфельной печи при температуре 1200 °С и 1300 °С. Общий вид брикетов восстановленных при различной температуре приведен на рисунке 4.



а) – брикеты восстановленные при температуре 1200 °С; б) – брикеты восстановленные при температуре 1300 °С;

Рисунок 4 – Восстановленные брикеты (чугун + шлак)

Далее осуществляли дробление восстановленных брикетов и магнитную сепарацию металлической фазы и шлака.

#### Результаты и обсуждение

Из экспериментальных данных можно отметить, что на протекание процесса твердофазного восстановления железа и дальнейшее разделение металла и шлака оказывает влияние температура процесса, количество углерода (кокса) и извести.

Из рисунка 4 видно, что при температуре 1200 °С в восстановленных брикетах не произошло расплавление металла и шлака и тем самым процесс разделения металла и шлака не произошел.

В брикетах восстановленных при температуре 1300 °С (рисунок 4) видно, что процесс расплавления произошел, тем самым были созданы условия для разделения чугуна и шлака.

Следует отметить, что на процесс разделения чугуна и шлака, оказало сильное влияние высокое содержание оксидов алюминия в железистых песках АО «Алюминий Казахстана», образовавшиеся шлаки имеют более высокую температуру плавления, что в итоге препятствовало объединению расплавленных капель, образовавшегося чугуна.

Таким образом, для успешного протекания процесса необходимо дальнейшее увеличение температуры процесса до 1400–1500 °С. Однако повышение температуры ведет к снижению технико-экономических показателей процесса, что лимитирует данный процесс.

#### Выводы

По результатам первого этапа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– исследованы основные характеристики железосодержащих отходов глиноземного производства Павлодарского региона и установлено, что наиболее

подходящими для переработки на чугун являются железистые пески (хвосты обогащения Краснооктябрьских бокситов), содержащие более 50 % оксидов железа. Основными минералами являются: гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ), пирит ( $\text{FeS}_2$ ), магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), гетит ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), гиббсит ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) и др. Гранулометрический состав железистых песков колеблется в пределах от 0,15 до 5 мм;

– установлено, что годовой объем образующихся железистых песков позволяет обеспечить производство чугуна до 100–150 тысяч тонн;

– экспериментально установлена возможность получения чугуна из железосодержащих отходов глиноземного производства Павлодарского региона твердофазным восстановлением;

– экспериментально установлено, что лимитирующей стадией процесса является процесс разделения образованного чугуна и шлака, который из-за высокого содержания оксидов алюминия в шлаке не протекает в полной мере, что требует увеличения температуры протекания процесса до 1400 – 1500 °С и увеличения количества извести в брикетах;

– в работе запланированы дальнейшие исследования по восстановлению железа из железистых песков и отвальных шламов производства глинозема с использованием восстановителей альтернативных углероду (коксу).

#### Информация о финансировании

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по конкурсу на грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2024-2026 годы по проекту AP23487674 «Комплексная переработка бокситов Казахстана с доизвлечением железа альтернативными восстановителями при реализации стратегии низкоуглеродистого развития».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Экологический кодекс Республики Казахстан, утвержденный Президентом РК от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК.

2 Концепция развития обрабатывающей промышленности Республики Казахстан на 2023 – 2029 годы, утверждённая Постановлением Правительства Республики Казахстан от 20 декабря 2018 года № 846.

3 Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года, Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121.

4 Казахстан 2019: Добровольный национальный обзор о реализации Повестки до 2030 года в области устойчивого развития, 2019. – 160 с.

5 Казахстан 2022: Добровольный национальный обзор о реализации Повестки до 2030 года в области устойчивого развития, 2022. – 258 с.

6 Завтра было поздно. Экологические риски Казахстана / под рук. Сатпаева Д.А., Януш-Павлетта Б. – Алматы : 2021. – 300 с.

7 Диагностика горнорудного сектора – Казахстан: Отчет. – The World Bank, 2023. – 123 с.

8 **Abdrakhmanov, Y. S., Bykov, P. O., Bogomolov, A. V.** Thermal Capacity of Enriched Fuel Briquets Produced from the Fine of Ekibastuz Coal // *Solid State Phenomena*, 2018. – Vol. 284. – P. 731–736.

9 **Kaliakparov, A. G., Suslov, A. V., Nurmaganbetova, B. N., Yaroshenko, Y. G., Zhdanov, A. V., Nurmaganbetov, Z. O.** Smelting of high-carbon ferrochrome from chromium agglomerate produced with alumina-silica flux // *Steel in Translation*, Volume 47, Issue 1, 1 January 2017, P. 65–69.

10 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh. Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // *Metalurgija*, 2021. – 60 1–2, P. 101–103.

11 **Ibraev, I. K., Ibraeva, O. T., Suyundikov, M. M.** Recycling chromium-bearing wastes // *Metallurgist*, Volume 56, Issue 9–10, January 2013, P. 727–730.

12 **Торпищев, Ш. К.** Легкие бетоны с использованием бокситовых шламов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, – Москва: Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона Госстроя СССР, 1991.

13 **Арынгазин, К. Ш., Ларичкин, В. В., Алдунгарова, А. К., Свицерский А. К., Богомолов, А. В., Быков, П. О., Тлеулесов, А. К., Маусымбаева, Д. К.** Инновационное использование твердых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов // *Наука и техника Казахстана*, 2016. – № 3–4. – С. 34–39.

14 **Zhunosov, A. K., Bykov, P. O., Kenzhebekova, A. Ye., Zhunussova, A. K., Rahmat Azis Nabawi.** Study of the isothermal kinetics of reduction from mill scale // *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syra*, 2024, №1(328). – P. 59 – 67.

15 **Zhunossova, A. K., Bykov, P. O., Zhunosov, A. K., Kenzhebekova, A. Ye.** Research of the production of iron ore sinter from bauxite processing waste // *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syra*, 2024. – №2(329). – P. 73–81.

16 **Spreitzer, D., Schenk, J.** Reduction of Iron Oxides with Hydrogen – A Review // *Steel research*, 2019. – <https://dx.doi.org/10.1002/srin.20190108>

17 **Rukini, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Van den Bulck A.** Metals Production and Oxides Reduction Using Hydrogen : A Review // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2022. – 8:1-24. <https://dx.doi.org/10.1007/s40831-021-00486-5>.

18 **Zenkov, V. S., Pasichnyi, V. V., Red'ko, V. P.** Reduction of iron-conyaining metallurgical waste to obtain hydrogen with iron vapor method // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 47, Nos.11–12, 2008. – P. 733–742.

19 **Plaul, J. F., Krieger, W., Back, E.** Reduction of Fine Ores in Argon-Hydrogen Plasma // *Steel Research*, 76 (2005), № 8.

20 **Ибрагимов, А. Т., Будон, С. В.** Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана. – Павлодар, 2010. – 304 с.

## REFERENCES

1 Ecologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan ot 02.01.2021 №400-VI ZRK (s izmeneniyami ot 05.07.2023 №17-VIII) [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, approved by the President of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI 3PK]

2 Konceptsiya razvitiya obrabatyvayuscheii promyshlennosti Respubliki Kazakhstan na 2023 – 2029 gody, utverzhdannaya Pravitelstvom Respubliki Kazakhstan ot 20 decabriya 2018 goda № 846. [Concept of Development of the Manufacturing Industry of the Republic of Kazakhstan for 2023–2029, approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 20, 2018 No. 846.]

3 Strategiya dostizheniya uglerodnoi nitrlnosti Respubliki Kazakhstan do 2060 goda, utverzhdannaya Ukazom Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 2 fevraliya 2023 goda № 121. [On Approval of the Strategy for Achieving Carbon Neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060, Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated February 2, 2023 No. 121.]

4 Kazakhstan 2019: Dobrovolnyi nacionalnyi obzor o realizacii Povestki do 2030 goda v oblasti ustoichivogo razvitiya [Kazakhstan 2019: Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development], 2019. – 160 p.

5 Kazakhstan 2022: Dobrovolnyi nacionalnyi obzor o realizacii Povestki do 2030 goda v oblasti ustoichivogo razvitiya [Kazakhstan 2022: Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development], 2022. – 258 p.

6 *Zavtra bylo pozdno. Ecologicheskie ryski Kazakhstana* [Tomorrow was too late. Environmental risks of Kazakhstan] / under the supervision of Satpayev D.A., Janusz-Pavletta B. – Almaty: 2021. – 300 p.

7 Diagnostika gornorydnogo sektora – Kazakhstan [Diagnostics of the mining sector - Kazakhstan]: Report. – The World Bank, 2023. – 123 p.

8 **Abdrakhmanov, Y. S., Bykov, P. O., Bogomolov, A. V.** Thermal Capacity of Enriched Fuel Briquets Produced from the Fine of Ekibastuz Coal // *Solid State Phenomena*, 2018. – Vol. 284. – P. 731–736

9 **Kaliakparov, A. G., Suslov, A. V., Nurmaganbetova, B. N., Yaroshenko, Y. G., Zhdanov, A. V., Nurmaganbetov, Z. O.** Smelting of high-carbon ferrochrome from chromium agglomerate produced with alumina-silica flux // *Steel in Translation*, Volume 47, Issue 1, 1 January 2017, P. 65 – 69.

10 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh. Bykov P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // *Metalurgija* 60. – 2021. 1–2. – P. 101–103.

11 **Ibraev, I. K., Ibraeva, O. T., Suyundikov, M. M.** Recycling chromium-bearing wastes // *Metallurgist*, Vol.56, Issue 9–10, January 2013. – P. 727–730.

12 **Torpischev, Sh. K.** Legkie betony s ispolzovaniem boksitovyh shlamov: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk [Lightweight concretes using bauxite slurries: dissertation for the degree of candidate of technical



sciences], - Moscow: Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the USSR Gosstroy, 1991.

13 **Aryngazin, K. Sh., Larichkin, V. V., Aldungarova, A. K., Sviderskii, A. K., Bogomolov, A. V., Bykov, P. O., Tleulessov, A. K., Mausymbayeva, D. K.** Innovacionnoe ispolzovanie tverdyh tehnogennyh othodov predpriyatii teploenergetiki I metalurgii Pavlodarskoi oblasti v proizvodstve stroitelnykh materialov [Innovative use of solid technogenic waste from thermal power engineering and metallurgy enterprises of the Pavlodar region in the production of building materials] // Science and Technology of Kazakhstan, 2016. – № 3. – 4. – P. 34–39.

14 **Zhunosov, A. K., Bykov, P. O., Kenzhebekova, A. Ye., Zhunosova, A. K., Rahmat Azis Nabawi.** Study of the isothermal kinetics of reduction from mill scale // Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syra, 2024. – № 1(328). – P. 59–67.

15 **Zhunosova, A. K., Bykov, P. O., Zhunosov, A. K., Kenzhebekova, A. Ye.** Research of the production of iron ore sinter from bauxite processing waste // Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syra, 2024, №2(329). – P. 73–81.

16 **Spreitzer, D., Schenk, J.** Reduction of Iron Oxides with Hydrogen – A Review // Steel research, 2019. <https://dx.doi.org/10.1002/srin.20190108>

17 **Rukini, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Van den Bulck A.** Metals Production and Oxides Reduction Using Hydrogen : A Review // Journal of Sustainable Metallurgy. – 2022. – 8:1-24. – <https://dx.doi.org/doi.org/10.1007/s40831-021-00486-5>.

18 **Zenkov, V. S., Pasichnyi, V. V., Red'ko, V. P.** Reduction of iron-conyaining metallurgical waste to obtain hydrogen with iron vapor method // Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 47, Nos.11–12, 2008. – P. – 733 – 742.

19 **Plaul, J. F., Krieger, W., Back, E.** Reduction of Fine Ores in Argon-Hydrogen Plasma // Steel Research, 2005. – 76. – № 8.

20 **Ibragimov, A. T., Budon, S. V.** Razvitie tehnologii proizvodstva glinozema iz boksitov Kazakhstana [Development of technology for the production of alumina from bauxites of Kazakhstan]. – Pavlodar, 2010. – 304 p.

Поступило в редакцию 24.08.24.

Поступило с исправлениями 25.08.24.

Принято в печать 29.08.2024.

**П. О. Быков<sup>1</sup>, А. К. Жунусова<sup>2</sup>, \*А. Б. Куандыков<sup>3</sup>, Р. Б. Муканов<sup>4</sup>, Э. Сименс<sup>5</sup>**

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

<sup>4</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>5</sup>Анхальт қолданбалы ғылымдар университеті, Германия Федеративтік Республикасы, Кетен қ. 24.08.24 ж. баспаға түсті.

25.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

29.08.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## ҚАЗАҚСТАН БОКСИТТЕРІНЕН ТЕМІРДІ БАЛАМАЛЫ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШТАРМЕН (КӨМІРТЕКТІ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ) АЛУ БОЙЫНША САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУЛЕР

*Авторлар көміртегіге (C және CO) балама тотықсыздандырғыштар – сутегі (H<sub>2</sub>) және метан (CH<sub>4</sub>) пайдалана отырып, Қазақстан бокситтерінен алюминий тотығын өндіру кезінде түзілетін құрамында темір бар қалдықтарды өңдеуге тарту мүмкіндігіне талдау жүргізді.*

*Бұл мақалада безді құмдар мен үйінді шламдарының құрамына кіретін минералдарды қалпына келтіру үшін коксты қолдану бойынша эксперименттік зерттеулердің бірінші кезеңінің нәтижелері келтірілген.*

*Процестің шекті сатысы түзілген шойын мен қожды бөлу процесі болып табылады, ол қождағы алюминий оксидтерінің жоғары болуына байланысты 1200–1300°C температурада толық жүрмейді, бұл процестің температурасын 1400 –1500 °C дейін арттыруды және кенді брикеттердегі әк мөлшерін көбейтуді талап етеді.*

*Жұмыста көміртегіге (кокс) балама тотықсыздандырғыштарды пайдалана отырып, алюминий тотығы өндірісінің темір құмдары мен үйінді шламдарынан темірді қалпына келтіру бойынша одан әрі зерттеулер жоспарланған.*

*Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2024–2026 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруға арналған конкурс бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде «Төмен көміртекті даму стратегиясын іске асыру кезінде баламалы тотықсыздандырғыштармен темірді толық ала отырып, Қазақстан бокситтерін кешенді қайта өңдеу» АР23487674 жобасы бойынша жүргізілді.*

*Кілтті сөздер: боксит, темір, глинозем, көміртегі бейтараптығы, кокс, қайта өңдеу.*

**P. O. Bykov<sup>1</sup>, A. K. Zhunosova<sup>2</sup>, \*A. B. Kuandykov<sup>3</sup>, R. B. Mukanov<sup>4</sup>, E. Siemens<sup>5</sup>**

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

<sup>4</sup>K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>5</sup>Anhalt University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany, Keten  
Received 24.08.24.

Received in revised form 25.08.24.

Accepted for publication 29.08.24.

## COMPARATIVE STUDIES ON THE RECOVERY OF IRON FROM KAZAKHSTAN BAUXITE BY ALTERNATIVE REDUCING AGENTS (CARBON REDUCTION)



The authors analyzed the possibility of involving in the processing of iron-containing waste generated during the production of alumina from bauxite in Kazakhstan using alternative carbon (C and CO) reducing agents - hydrogen (H<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>).

This article presents the results of the first stage of experimental studies on the use of coke for the recovery of minerals that make up ferrous sands and dump sludge.

It has been experimentally established that the limiting stage of the process is the separation of the formed cast iron and slag, which, due to the high content of aluminum oxides in the slag, does not fully proceed at a temperature of 1200–1300 °C, which requires an increase in the temperature of the process to 1400 – 1500 °C and an increase in the amount of lime in ore-coal briquettes.

Further research is planned on the recovery of iron from ferrous sands and landfill slurries of alumina production using reducing agents alternative to carbon (coke).

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for a competition for grant funding for scientific and (or) scientific and technical projects for 2024–2026 under the project AR23487674 «Integrated processing of bauxite in Kazakhstan with additional iron recovery by alternative reducing agents in the implementation of the low-carbon development strategy».

Keywords: bauxite, iron, alumina, carbon neutrality, coke, recycling.

FTAMP 53.31.01

<https://doi.org/10.48081/XONO1007>

**\*В. Ю. Куликов<sup>1</sup>, А. А. Қордашева<sup>2</sup>, П. В. Ковалев<sup>3</sup>, М. М. Абдилдина<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

<sup>3</sup>ҰЗУ Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей, Санкт-Петербург қ.

e-mail: [akzhankordashs@gmail.com](mailto:akzhankordashs@gmail.com)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5224-9261>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1486-5323>

### **ЭКЗОГЕНДІК СУСПЕНЗИЯЛЫҚ ҚҰЮ ӘДІСІМЕН ЛЕГІРЛЕНГЕН ҚҰЙМАЛАРДЫ ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ**

Өндірістің заманауи әдістерінің белсенді дамуына қарамастан, әлі де ең кең таралған және үнемді әдістердің бірі бөлшектерді құю әдісімен жасау болып қала береді. Сонымен қатар, қазіргі заманғы өндіріс құйылған бөлшектердің сапасына жоғары талаптар қояды. Құйманың біртекті тығыз құрылымын қалыптастыру арқылы құймалардың жоғары сапасын қамтамасыз етуге болады. Өз кезегінде, бұл көрсеткіштерді құюдың қатаю жылдамдығын реттеу және оның ішінде легірлеуші элементтердің көлемді біртекті қамтуы арқылы қамтамасыз етуге болады. Құю құрылымын басқарудың перспективалы әдістерінің бірі – инокуляторларды (сuspензия құю) қолдана отырып, газдандырылатын модельдерді арқылы құю болып табылады. Ферроқорытпа бөлшектерін инокуляторлармен (тоңазытқыштармен) бір мезгілде полистирол көбік модельдерінде қолдану арқылы кристалдану орталықтарының санын және легірлеуші элементтердің таралуын реттеуге болады. Сuspензияны құю арқылы құю кезінде маңызды көрсеткіштердің бірі – ақаулардың болмауы, химиялық гетерогенділік, кеуектілік және механикалық қасиеттер. Бұл көрсеткіштерді сuspензия құю кезінде қолданылатын егу құралдарын қолдану арқылы алуға болады. Сuspензиялық құю кезінде қалдықсыз технологияларды құру тұрғысынан құю кезінде әр түрлі металл қалдықтарын қолдану перспективалы болып табылады: қожды құрайтын үгінділер, кесу және т.б. Бұл жобалада инокуляторларды енгізу, құю қалдықтарын қолдану жоспарланған, бұл қажетті қызметтік және технологиялық қасиеттерді қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: легірленген құймалар, сuspензиялық құю, газдандырылған құю әдісі, сапа, құрылым, инокуляторлар, ферроқорытпалар.

#### **Кіріспе**

Металды құю процесі алынған өнімнің сапасына үлкен әсер етеді. Сондықтан, сондай-ақ балқытылған өнімдердің ақау пайызы айтарлықтай болғандықтан және

тіпті қазіргі өндірісте барлық өнімдердің бестен біріне жетуі мүмкін болғандықтан, пайда болған ақауларды жою үшін құю процесін дұрыс ұйымдастырып, бақылау қажет. Газдандырылған модельді құю (ГМК) - бұл құю формасына ыстық металды құю кезінде газданатын материалдан алынған модельді (дайындаманы) қолдана отырып, жоғары сапалы құю әдісі. Қазіргі уақытта Қазақстанның құю өндірісінде ГМК пайдалану өте кең таралған технология болып табылады. Бұл ретте газдандырылатын модельдер бойынша құюдың негізгі кемшіліктерінің бірі кеуектілікке және жүйке-өлшемді көміртектілікке әсер ететін газдандыру есебінен құрылымның гетерогенділігі болып табылады. Суспензиялық құю арқылы құймаларды алу кезіндегі маңызды көрсеткіштердің бірі-ақаулардың болмауы, химиялық гетерогенділік, кеуектілік және механикалық қасиеттер, егу жылдамдығын модельдің әртүрлі бөліктеріне тарату арқылы реттейді, бұл одан әрі кристалдану орталықтарының болуын қамтамасыз етеді және құймалардың талап етілетін бөліктерінде жылуды бөлу, мысалы, массивтік түйіндерде [1]. Сондай-ақ, феррокорытпаларды олардың таралу жиілігінің әр түрлі жиілігінде қолдануға болады, мысалы, беткі қабаттарда, суспензия құю кезінде қолданылатын қаттылықтың жоғарылауын қамтамасыз етеді. Балқымаға енгізілген олар біркелкі немесе біркелкі емес, бірақ берілген дәлдікпен сұйық металдың көлеміне бөлінеді және металл ваннаның тиімді кристалдану орталығы ретінде қызмет етеді. Суспензия құю кезінде қалдықсыз технологияларды құру тұрғысынан құю кезінде әртүрлі металл қалдықтарын қолдану перспективалы болып табылады: қожды құрайтын үгінділер, кесу, және т. б. Яғни, мұндай технология аз қалдықты болып табылады және құю өндірісінің техногендік қалдықтарын өнеркәсіпке тартуға мүмкіндік береді. Басқаша айтқанда, қалыпты құюдағыдай сұйық қызып кеткен металл емес, металл суспензиясының бір түрі енгізіледі. Бұл жағдайда дисперсиялық орта сұйық металл, ал дисперсиялық фаза сұйық балқымада тоқтатылған қатты кристалдар немесе арнайы енгізілген ұсақ бөлшектер болып табылады [2].

#### Материалдар мен әдістері

Зерттеу материалы ретінде Ст 20 маркалы болат қолданылды. Жұмыс барысында шикізат ретінде ЖШС «ҚМЗ Пархоменко құю цехының» (Қарағанды қ.) өз өндірісінің қалдықтары пайдаланылды. Өндіріс қалдықтарына бастапқы шикізатты немесе материалды дайын өнімге өңдеу кезінде пайда болатын қалдықтар жатады. Бұл қалдықтар бастапқы шикізаттың/материалдың тұтынушылық қасиеттерін (физикалық, химиялық қасиеттері) толығымен немесе ішінара жоғалтады. Өндіріс қалдықтарының мысалдары – қождағы металл тамшылары, шашырау, скрап, шлам және т. б [3].

Инокулятор ретінде қалдықтардың қажетті өлшемдік дәлдігін алу үшін оларды ЕМах жоғары жылдамдықты шар диірменінің көмегімен феррохромды ұнтақтау жұмыстары жүргізілді. Бастапқы материал 1 минут ішінде ұсақталды (сурет 1).



а б  
Сурет 1 – ЕМах диірменінде скрап (а) және феррокорытпаларды (б) ұнтақтау

Алынған бөлшектер Retsch компаниясының AS 200 control електеу машинасында фракциялық құрамды бағалау үшін зерттелді және келесі фракциялар алынды: 1 мм – 1,21 г; 500 мкм – 0,79 г; 125 мкм – 1,06 г; до 125 мкм – 1,06 г.

Инокуляторлардың фракциялар бойынша таралуы 2-суретте көрсетілген. Салыстыру ретінде егусіз үлгі қолданылды.

Үлгілерді дайындау үшін (сурет 3) әртүрлі фракциялардағы егу құралдарымен толтырылған ПСБ-С 25 маркалы полистирол көбік модельдері пайдаланылды: 500 мкм (1-үлгі), 125 мкм (2-үлгі) және <125 мкм (3-үлгі). Модельдердің үлгілері 20×20 мм өлшемдерімен кесілді.

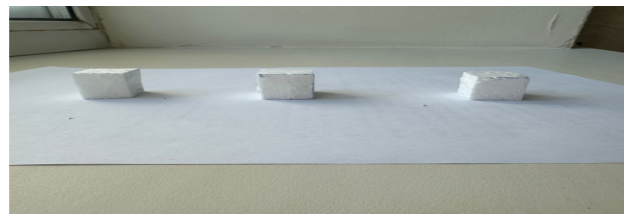


Сурет 2 – Эксперименттерде қолданылатын инокуляторлар

Үлгілерге жеткізуші жалғанып, оларға FRDA маркалы күюден сақтайтын бояу жағылды (сурет 4). Модельдер үш күн бойы бөлме температурасында ауада кептірілді. Алынған үлгілер одан әрі тікбұрышты пішінді құммен қалыпқа



кұйылады (сурет 5), содан кейін балқыту жүргізілді (сурет 6). Қалып газдандыру өнімдерін кетіру үшін вакуумдық сорғымен вакуумданды [4].



Сурет 3 – PSB-C 25 маркалы полистирол көбігінен жасалған тәжірибелі модельдер



Сурет 4 – Боялған үлгілер



Сурет 5 – Қалыптауға дайындалған (а) және қалыпталған (б) үлгілер



Сурет 6 – Сынама үлгілері мен құйылған құю қалыбы

**Нәтижелер және талқылау**

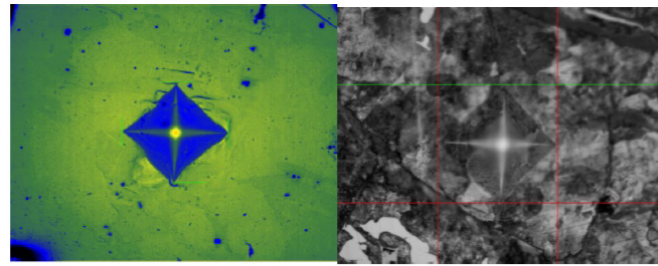
Үлгілердің механикалық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде болат құрамындағы инокуляторлардың саны мен мөлшерінен механикалық қасиеттердің өзгеру заңдылықтары анықталды (кесте 1) (сурет 7, 8).

Кесте 1 – Үлгілердің механикалық қасиеттерін зерттеу нәтижелері

	Қаттылық HV	Беріктік шегі, МПа
Бос үлгі	168	530
Үлгі 1 (<125 мкм)	196	619
Үлгі 2 (125 мкм)	251	793
Үлгі 3 (500 мкм)	236	745

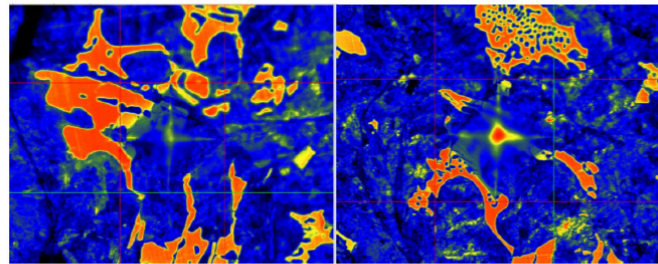
Бос қорытпаның беріктік шегі (инокулятор қосылмаған) 530 МПа, ал қаттылығы 168 HV.





а)

б)

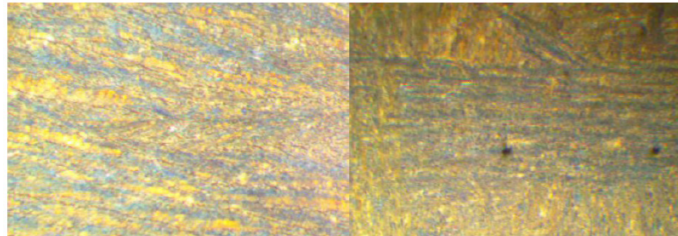


в)

г)

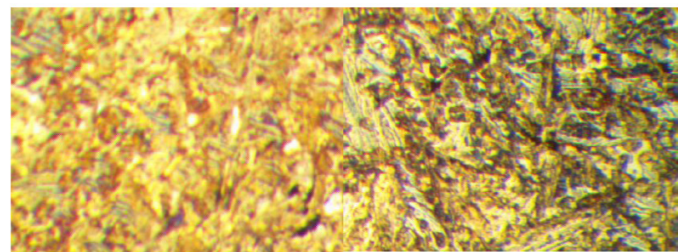
а – бос үлгі; б – Үлгі 1 (<125 мкм); в – Үлгі 2 (<125 мкм); г – Үлгі 3 (500 мкм)

Сурет 7 – Үлгілердің қаттылығын анықтау:



а)

б)



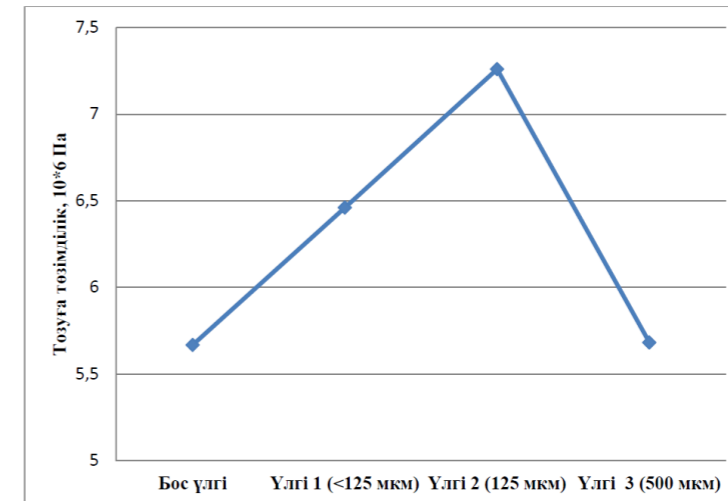
в)

г)

а – бос үлгі; б – Үлгі 1 (<125 мкм); в – Үлгі 2 (<125 мкм); г – Үлгі 3 (500 мкм)

Сурет 8 – Құймадағы кеуектер

Модификацияланған беттердің тозуға төзімділігін шарлы тозу әдісімен анықтау «Calotest, CSM Instruments» құралында жүргізілді. Тозу прототиптердің өңделген бетін диаметрі 25 мм айналмалы карбидті шармен 5 минут бойы шпиндельдің айналу жиілігі 400 айн/мин. сынақ суспензия болған аймағында өлшемі 0,5–1 мкм абразивті алмаз бөлшектері бар кезде жанасу арқылы жүргізілді. Тозуға төзімділік үйкеліс кезінде шардың қалдырған ізінің диаметрімен сипатталды. Тозуға төзімділікті зерттеу нәтижелері 9-суретте көрсетілген [5–6].



Сурет 9 – Тозуға төзімділікті зерттеудің нәтижелері

Тозуға төзімділіктің жоғарылауының себебі егу құралдарын кристалдану орталығы ретінде пайдалану болып табылады, бұл астықтың ұсақталуына және механикалық қасиеттердің жоғарылауына әкеледі. Айта кету керек, <125 мкм фракциясы жергілікті салқындатуды тудырмай, бірден ериді. Ал 500 мкм немесе одан да көп фракциясы бар кейбір инокуляторлардың пайдаланылған мөлшердегі құйманың денесінде толығымен еруіне уақыт жоқ, бұл болашақта ішкі кернеулерді тудырады. Демек, кішігірім құймалар үшін (зерттеулерде қолданылған) 125-500 мкм фракция бөлшектері ең оңтайлы болып табылады [7-8].

Феррохромның дисперсия дәрежесінің оның балқымада еруіне әсерін зерттеу Niton XL рентген-флуоресцентті анализатор көмегімен жүргізілді. Нәтижелер 2-кестеде келтірілген [9].

Кесте 2 – Үлгілердің көлеміндегі әр түрлі орындарының құрамындағы хром мөлшері

Үлгі	Содержание хрома, %			
	Беткі қабатында (жоғарғы жағы)	Ортасында	Жан-жағында	Беткі қабатында (төменгі жағы)
Бос үлгі	-	-	-	-
Үлгі 1 (<125 мкм)	1	2	1	1
Үлгі 2 (125 мкм)	2	3	2	2
Үлгі 3 (500 мкм)	1	6	1	2

2-кестеден байқап тұрғанымыздай, феррохромның 2-үлгіде таралуы біркелкі, ал құрамында 500 мкм инокуляторлары бар үлгіде ол мүлдем балқып үлгермей, біртекті таралмады. Құрамында 125 мкм-ге дейін ұнтақ тәріздес инокуляторлар мүлдем жанып кетті [10].

#### Қорытынды

1 Механикалық сынамаалар нәтижесінде механикалық қасиеттер қолданылған егу құралдарының мөлшеріне байланысты екендігі анықталды. Бос үлгінің қаттылығы 168, құрамында 125 дейін – 196, 125 мкм – 251 және 500 мкм – 236 HV дейінгі егу құралдары бар. Беріктік шегі нәтижелері келесідей болды: Бос Үлгі – 530 МПа; Үлгі 1 – 619 МПа; үлгі 2 – 793 МПа және үлгі 3 – 745 МПа.

2 Ең үлкен беріктік пен қаттылыққа 125-500 мкм фракциялық инокуляторларды қолдану арқылы қол жеткізілді.

3 Тозуға төзімділікті зерттеу нәтижелері бойынша егу құралдарының мөлшері бойынша ең оңтайлы 125 мкм екенін байқауға болады, бұл үлгінің тозуға төзімділігі 7,3 МПа, бос үлгіде 5,6 МПа, 1 – 6,4 МПа және 3 – 5,6 МПа.

Механикалық зерттеулер қасиеттері газдандырылатын модельдерді құю кезінде қалыптарға инокуляторларды қосу металдың кеуектілігін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетті, бұл балқыманың біртектілігі арқылы анизотропияны жоққа шығарады және зерттелетін Болаттың қаттылығын, тозуға төзімділігін және басқа механикалық қасиеттерін арттырады.

Осылайша, алынған есептік деректер келесі қорытынды жасауға мүмкіндік береді: егу ұнтағының бөлшегі балқыманың гипотермия дәрежелерінің кең ауқымында шағын құймалар үшін кристалдану орталығына айналуына кепілдік беру үшін оның мөлшері 500 мкм-ден аспауы және 125 мкм-ден кем болмауы керек. Үлкен немесе кіші дисперсті фракциясы бар егу ұнтағын пайдалану тиімсіз болып табылады [11–12].

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Маслов, А. Р.** Новые способы крепления инструмента на металлорежущих станках [Текст] // Машиностроительное пр-во. Сер. Инструментальное и метролог, оснащение металлообработ. пр-ва: Обзор информ. / ВНИИТЕМР. – М. : 2014. – Вып.2. – 24 б.

2 **Малкин, А. Я.** Вопросы качества режущих инструментов / А. Я. Малкин // Известия вузов. Машиностроение / изд. МВТУ им. Н.Э. Баумана. – М. : 2009. – № 11. – 95–104 б.

3 **Акст, Е. Р., Мухаметзянова, Г. Ф., Запандова, Н. Н.** Микроскопический метод исследования металлов и сплавов: методические указания к лабораторной работе / Составители:– Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2015. – 27 б.

4 Материаловедение. решение заданий по материаловедению. – [Электронды ресурс]. – <https://matved.ru/osnovnyye-metodu-issledovaniya-struktyru>

5 **Energosteel.** МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. – [Электронды ресурс]. – <https://energosteel.com/the-material-science-and-steels-heat-treatment-investigation-methods-the-metals-and-alloys-structure/>

6 **Ефименко, Л. А., Прыгаев А. К.** Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости: Учебное пособие - М : РГУ нефти и газа, 2007.

7 **Третьяков, А. Ф.** Исследование механических и технологических свойств листовых пористых сетчатых материалов из стали 12Х18Н10Т : МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

8 **Kvon, Sv. S., Kulikov, V. Y., Filippov, T. S., Omarova, A. E.** Using high-chromium iron as material for production of the equipping components of mine shafts // Metalurgija, 2016. – Vol. 55. – № 2. – P. 206–208.

9 **Куликов, В. Ю., Исагулов, А. З., Щербакова, Е. П., Ковалёва, Т. В.** Исследование свойств полистирола с добавлением вторичных гранул строительного полистирола: Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2017. – Т.15. – № 4. – 40 б.

10 **Рыбаков, С. А.** Инновационные возможности литья по газифицируемому моделям, состояние и перспективы этого метода в России// Литейщик России. – №4. – 2013. – С. 44–45.

11 **Аринова, С. К., Исагулов, А. З., Ковалёва, Т. В.** Технологические особенности изготовления отливок деталей печного оборудования литьем по газифицируемому моделям: Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – 23(5). – 999–1006 б.

12 **Kovalev, P. V., Ryaboshuk, S. V., Issagulov, A. Z.** Improving production technology of tube steel grades in converter process / et al. // Metalurgija (Croatia). – 2016. – Vol. 55, № 4. – P. 715–718.



- 1 **Maslov, A. R.** Novy`e sposoby` krepleniya instrumenta na metallorezhushhix stankax [New methods of fastening tools on metal-cutting machines] [Text] // Machine-building production. Series: Tool and metrology, equipment of metalworking production: Information review / VNIITEMR. – Moscow : 2014. – Issue 2. – 24 p.
- 2 **Malkin, A. Ya.** Voprosy` kachestva rezhushhix instrumentov [Cutting tool quality issues] / A.Ya. Malkin // News of universities. Mechanical engineering / publ. Bauman Moscow State Technical University. – Moscow : 2009. – № 11. – 95–104 p.
- 3 **Akst, E. R., Muxametzyanova, G. F., Zapadnova, N. N.** Mikroskopicheskiy metod issledovaniya metallov i splavov: metodicheskie ukazaniya k laboratornoj rabote [Microscopic method of studying metals and alloys: guidelines for laboratory work] / Authors: - Naberezhnye Chelny: NCHI K(P)FU, 2015. – 27 p.
- 4 [Material Science. Solution of tasks on materials science]. – [Electronic resource]. – <https://matved.ru/osnovnuye-metodu-issledovaniya-struktyru>
- 5 [Energosteel. MATERIAL SCIENCE AND HEAT TREATMENT OF STEELS. METHODS OF STUDYING THE STRUCTURE OF METALS AND ALLOYS]. [Electronic resource]. – <https://energosteel.com/the-material-science-and-steels-heat-treatment-investigation-methods-the-metals-and-alloys-structure/>
- 6 **Efimenko, L. A., Pry`gaev, A. K.** Opredelenie fakticheskix mexanicheskix svoystv metalla truboprovodov na osnove izmereniya tverdosti [Determination of actual mechanical properties of pipeline metal based on hardness measurements]: Study guide – Moscow : RSU of Oil and Gas, 2007.
- 7 **Tret`yakov A. F.** Issledovanie mexanicheskix i texnologicheskix svoystv listovy`x poristy`x setchaty`x materialov iz stali 12X18N10T [Study of mechanical and technological properties of sheet porous mesh materials made of 12Kh18N10T steel]: Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia
- 8 **Kvon, Sv. S., Kulikov, V. Y., Filippov, T. S., Omarova, A. E.** Using high-chromium iron as material for production of the equipping components of mine shafts // Metalurgija, 2016. – Vol. 55. – № 2. – P. 206–208.
- 9 **Kulikov, V. Yu., Isagulov, A. Z., Shherbakova, E. P., Kovalyova, T. V.** Issledovanie svoystv polistirola s dobavleniem vtorichny`x granul stroitel`nogo polistirola [Study of the properties of polystyrene with the addition of secondary granules of building polystyrene]: Bulletin of Moscow State Technical University named after G. I. Nosov, 2017. – Vol.15. – № 4, 2017. – 40 p.
- 10 **Ry`bakov, S. A.** Innovacionny`e vozmozhnosti lit`ya po gazificiruemy`m modelyam, sostoyanie i perspektivy` e`togo metoda v Rossii [Innovative possibilities of casting on lost foam patterns, the state and prospects of this method in Russia] // Foundryman of Russia. – № 4. – 2013. – P. 44–45.
- 11 **Arinova, S. K., Isagulov, A. Z., Kovalyova, T. V.** Texnologicheskie osobennosti izgotovleniya otlivok detalej pechnogo oborudovaniya lit`em po gazificiruemy`m modelyam [Technological features of manufacturing castings of furnace equipment

parts by casting on lost foam patterns]: Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2019;23(5). – P. 999–1006.

12 **Kovalev, P. V., Ryaboshuk, S. V., Issagulov, A. Z.** Improving production technology of tube steel grades in converter process / et al. // Metalurgija (Croatia). – 2016. – Vol. 55, no. 4. – P. 715–718.

07.05.24 ж. баспаға түсті.

07.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

21.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\***В. Ю. Куликов<sup>1</sup>, А. А. Кордашева<sup>2</sup>, П. В. Ковалев<sup>3</sup>, М. М. Абдилдина<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Қарагандинский технический университет имени

Абилкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>3</sup>НИУ Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого, Россия, г. Санкт-Петербург

Поступило в редакцию 07.05.24.

Поступило с исправлениями 07.05.24.

Принято в печать 21.06.2024.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК МЕТОДОМ ЭКЗОГЕННОГО СУСПЕНЗИОННОГО ЛИТЬЯ

*Несмотря на активное развитие современных способов получения деталей, по-прежнему одним из самых распространенных и экономически выгодных, остается изготовление деталей способом литья. При этом современное производство предъявляет высокие требования к качеству литых деталей. Обеспечить высокое качество отливок можно за счет формирования гомогенной плотной структуры слитка (отливки). В свою очередь, эти показатели можно обеспечить за счет регулирования скорости затвердевания отливки и распределения внутри нее во всем объеме легирующих элементов. Одним из перспективных способов управления структурой отливки является литье по газифицируемым моделям с использованием индукторов (суспензионное литье). Применяя в пенополистироловых моделях одновременно с индукторами (холодильниками) частицы ферросплавов можно регулировать число центров кристаллизации и распределение легирующих элементов. Одним из важных показателей при получении отливок методом суспензионного литья является отсутствие дефектов, химической неоднородности, пористости и механические свойства. Эти показатели можно получить используя индукторы, используемые при суспензионном литье. При суспензионном литье с точки зрения создания безотходных технологий перспективным является использование различных металлических отходов при литье: стружки, составляющих шлака, обрезки, высечки и т.д. В данном проекте планируется путем введения индукторов, применения литейных отходов, что обеспечит требуемые служебные и технологические свойства.*



*Ключевые слова: легированные отливки, суспензионное литье, метод литья по газифицируемым моделям, качество, структура, инокуляторы, ферросплавы.*

\*V. Iu. Kulikov<sup>1</sup>, A. A. Kordasheva<sup>2</sup>, P. V. Kovalev<sup>3</sup>, M. M. Abdildina<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda

<sup>3</sup>NRU Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, Saint Petersburg

Received 07.05.24.

Received in revised form 07.05.24.

Accepted for publication 21.06.24.

### INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING ALLOYS BY EXOGENOUS SUSPENSION CASTING

*Despite the active development of modern methods of producing parts, the production of parts by casting remains one of the most common and economically profitable. At the same time, modern production places high demands on the quality of cast parts. It is possible to ensure high quality of castings by forming a homogeneous dense structure of the ingot (casting). In turn, these indicators can be achieved by regulating the rate of solidification of the casting and the distribution of alloying elements inside it throughout the volume. One of the promising ways to control the casting structure is casting according to gasified models using inoculators (suspension casting). By using ferroalloy particles in styrofoam models simultaneously with inoculators (refrigerators), the number of crystallization centers and the distribution of alloying elements can be adjusted. One of the important indicators in the production of castings by suspension casting is the absence of defects, chemical heterogeneity, porosity and mechanical properties. These indicators can be obtained using inoculators used in suspension casting. In suspension casting, from the point of view of creating waste-free technologies, the use of various metal wastes during casting is promising: chips, slag components, trimmings, die-cuts, etc. In this project, it is planned through the introduction of inoculators, the use of foundry waste, which will provide the required service and technological properties.*

*Keywords: alloyed castings, suspension casting, gasified casting method, quality, structure, inoculators, ferroalloys.*

МРНТИ 53.31.15

<https://doi.org/10.48081/NYGP3303>

O. V. Zayakin<sup>1</sup>, \*A. E. Kenzhebekova<sup>2</sup>, A. K. Zhunusov<sup>3</sup>, A. G. Bakirov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Yekaterinburg

<sup>2,3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

\*e-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2304-384X>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8111-6755>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3742-3467>

### DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF SINTERING OF ROLLING SCALE

*This article presents the results of studies conducted to determine the optimal parameters of sintering of rolled scale in a mixture with iron-containing steelmaking waste. The conducted studies of sintering of rolled scale have shown that the gas permeability of the charge depends on a number of physical properties, the size and shape of the grains, the amount of return, the height of the charge layer, and the moisture content of the charge. The initial gas permeability strongly depends on the degree of humidification of the agglomeration charge, especially when sintering small classes of materials under study. The maximum gas permeability of the charge is ensured with an optimal granulometric composition of the charge, which is characterized by an average equivalent diameter: the higher this indicator, the higher the gas permeability of the charge. The value of the surface tension reaches its maximum at a certain moisture content of the charge, which is the optimal moisture for this charge. By increasing the amount of return during agglomeration, the vertical sintering rate increases and the quality of the agglomerate improves. These factors lead to an increase in the productivity of sintering plants. According to the results of the study, the optimal parameters of the sintering process of rolled scale in a mixture with iron-containing steelmaking waste were worked out. It is established that the optimal amount of return is the use of 20 % of the mass of the sintering charge at the optimal height of the sintered layer of 300 mm. As a result of the conducted research, the following optimal indicators were achieved: mechanical strength – 70.2 %, sintering rate – 28.7 mm/min, specific productivity – 1.75 t/m<sup>2</sup>·hour.*

*Keywords: Rolling scale, agglomeration, optimal parameters, sintering, return, layer height.*

### Introduction

Currently, two large electric steelmaking enterprises KSP Steel LLP and PB Casting LLP operate in Kazakhstan (Pavlodar). The production complex of KSP Steel LLP includes a steelmaking workshop, pipe rolling production and pipe finishing lines. The

products of the second PB Casting LLP plant are steel billets, grinding balls and rods, as well as reinforcing bars [1].

In rolling production, as a result of metal compression on rolling mills (blank, long-range, hot and cold rolling), a large amount of rolling scale is formed. The formation of scale is associated with high temperatures. At high temperatures, an active chemical interaction of steel with surrounding gases occurs, as a result of which the surface layers are oxidized. The oxidized layer is scale, formed as a result of the diffusion process of oxidation of iron and impurities that make up steel [2].

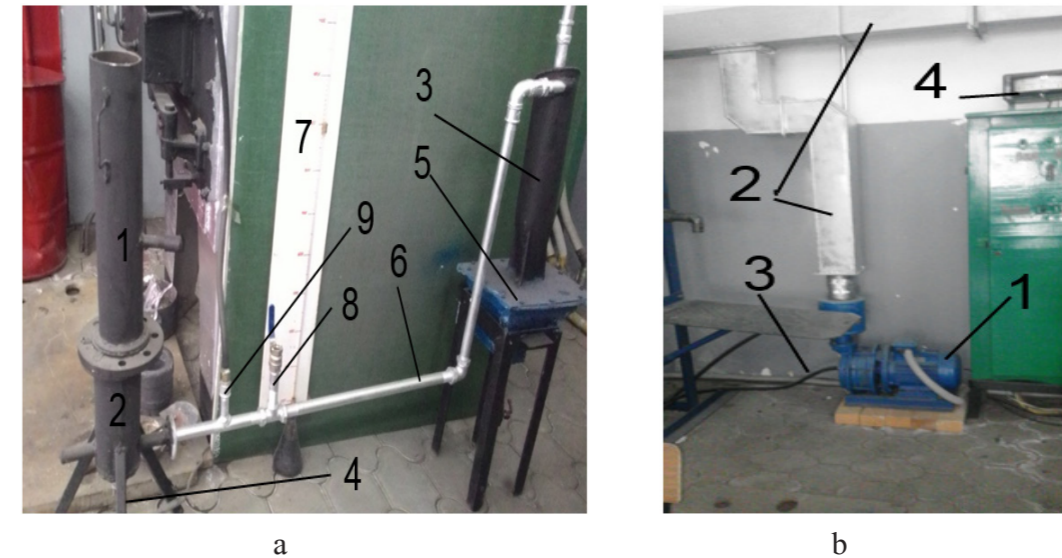
Currently, a situation has formed in the metal charge market of Kazakhstan, which has led to a significant increase in scrap metal prices, which has prompted commercial and technical services of enterprises using mainly scrap metal in steelmaking to search for alternative materials. For such electric steelmaking enterprises as KSP Steel LLP and Casting PB LLP, which have limited scrap metal resources, this problem is one of the most urgent.

World experience shows that the world pays great attention to the disposal and use of man-made waste in metallurgical processing [2]. In foreign countries, rolled scale and all waste generated at metallurgical plants are used in sintering and other industries [3, 6]. The authors of the works [7] present the results of the use of agglomerate in blast furnace production, in the production of ferroalloys, the use of which makes it possible to improve the technological and physico-chemical parameters of the process.

**Materials and methods**

Laboratory studies of the sintering of steelmaking waste mill scale were carried out using the methodology adopted in the university laboratory on an agglomeration plant. The general appearance of the agglomeration bowl is shown in Figure 1. Parameters of the agglomeration plant: diameter 100 mm, bowl height 500 mm. The agglomeration plant is equipped with a VP-1.5 vacuum pump, chromel-aluminum (CA) and vanadium-rhenium (VR) thermocouples and an automatic multi-channel temperature recorder (AMTR-6) of the sintering process (recording the temperature of the gas outlet and the layer of sintered batch).

During the research, rolling scale of a fraction of 10 – 0 mm was used as the main material. Which is represented by iron oxides Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sup>3</sup>O<sup>4</sup> and FeO. The chemical composition of the mill scale of materials used as additives is presented in tables 1 and 2 according to GOST 53657-2009. The chemical composition was determined in the accredited laboratory of Casting LLP and the Chemical and Metallurgical Institute named after J. Abishev.



a) 1 – Bowl; 2 – Gas receiver; 3 – Cyclone (gas cleaning); 4 – CAT Thermocouple; 5 – Dust collector; 6 – Gas pipelines; 7 – Pressure gauge; 8 – Slide gate; 9 – Connecting fitting of the pressure gauge;  
 b) 1 – Pump VWP-1-1.5; 2 – The chimney; 3 – Water supply; 4 – Measuring equipment.

Figure 1 – Agglomeration plant

Table 1 – Chemical composition of rolled scale, %

Name	Fe <sub>total</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	C
Scale	76.4	45.3	58.8	0,6	1.7	0.11

Aspiration dust (AD) was used in an amount of 5-10 %. This dust was used as an iron-containing additive. The final steelmaking slags of the ladle furnace unit (LFU slags) were used as a fluxing additive, in an amount of 5-10 %. Coke screenings of the 0-5 mm fraction in the amount of 5-12 in the charge were used as fuel %.

The total weight of the moistened agglomeration batch of one sintering was 3 kg. In total, 20 sinterings were carried out.

The fractional composition of the materials was determined according to GOST 27562-87. The results of the fractional composition are shown in Table 3.

Table 2 – Chemical composition of materials used as additives

Name of the material	Fe <sub>total</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	S	P	C
Aspiration dust	50.4	1.2	2.3	3.3	2.7	3.6	0.02	0.002	2.9
LFU slags	1.2	22.7	1.3	2.4	3.7	54.9	0.78	-	-

It is known from the pelletizing theory [8] that grains of 0.4–1.6 mm are poorly involved in pelletizing, since on the one hand they are too large to roll, and on the other hand they are too small to serve as germ centers. During granulation, agglomeration charges are divided into three parts: lumpy (> 0.4 mm), lumpy (particles > 1.6 mm) and an intermediate fraction (grains 0.4 – 1.6 mm), located between the formed lumps of the agglomeration sheet layer. Table 3 shows that most of the rolled scale fraction is in the intermediate class (grains 0.4 – 1.6 mm). Therefore, to improve the pelletizing process of the charge, aspiration dust was used, which is included in the range of the lumped fraction. The final slags of the bucket furnace unit (LFU slag) were originally used as a fluxing additive. However, the use of these wastes also makes it possible to significantly improve the clumping ability of the agglomeration charge, since grains of less than 0.4 mm predominate in LFU slags, similar to aspiration dust.

Table 3 – Fractional composition of materials

Material	Fractional composition, %											Σ, %
	-0.05	0.05	0.10	0.16	0.2	0.31	0.4	0.63	1.0	1.6	2.0	
Rolling scale	0.7	1.9	5.0	7.2	25.7	1.5	28	12	6.1	5.7	6.9	100
Aspiration dust	0.2	0.6	2.1	26.3	38.7	2.1	9.6	8.1	0.8	0.5	11	100
LFU slags	63.5	15.2	6.3	2.5	4.3	-	2.0	1.4	0.9	1.2	2.7	100

The research was carried out according to the methodology adopted in the university laboratory. After the weight dosage of the components, the charge was thoroughly mixed, moistened and pelletized (4 min) in a disc granulator with a diameter of 1.0 m. The moisture content of the charge materials was preliminarily determined according to GOST 12764-73.

**Results and discussion**

During agglomeration, the initial gas permeability of the charge is of great importance, the value of which determines the entire course of the agglomeration process and, consequently, the physico-chemical properties of the resulting agglomerate and the specific productivity of the installation [9,10].

The number of returns is strictly regulated in agglomeration factories. Return is a waste product that is not included in the finished products of the factory, therefore, the greater the relative share of return in daily production, the less usable agglomerate is produced. Therefore, the development of sintering modes with a share of return in the charge plays an important role, i.e. how much return is applied to the sintering charge, so much agglomerate must be obtained from sintering. Otherwise, the balance of the

agglomeration process is disrupted by the amount of return on production. If there is not enough return, the use of fuel increases, which leads to an increase in the cost of the agglomerate. With a large amount of return at the sintering plant, an excess of waste is generated that will require disposal.

The return practically does not contain carbonates and hydrates, since reactions and restorations have already partially passed in it. Hence, it follows that there is less heat demand for return than for waste and ore materials. It should also be noted that with the use of a return, the bulk weight of the charge increases and the water consumption per 1 ton of charge decreases, and the mechanical strength of the agglomerate also increases.

Thus, with an increase in the amount of return during agglomeration, the vertical sintering rate increases and the quality of the agglomerate improves. These factors lead to an increase in the productivity of sintering plants.

According to the research data presented in Figures 2 and 3 and in summary table 4, it is possible to notice a change in the main sintering parameters depending on the amount of return to the sintering rate of the sintering charge, the productivity of the installation, the strength of the agglomerate and the yield of the suitable agglomerate.

With an increase in the number of returns from 5 to 15 %, there is an increase in sintering speed and productivity. It should be noted here that in all the experiments the amount of fuel used was 10 %, because in previous sintering tests to determine the optimal amount of fuel, it was found that 10 % of coke should be considered optimal. Based on the data in Figure 2, it can be seen that with an increase in the number of returns from 25 to 35 %, there is a decrease in the sintering rate and plant performance.

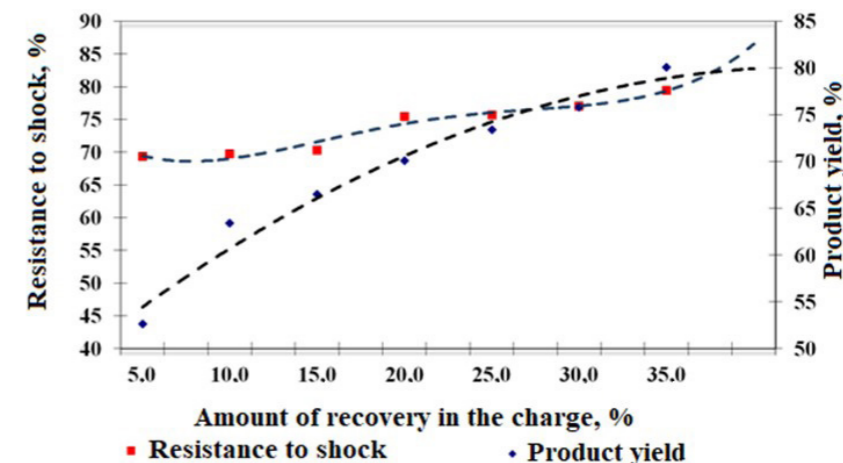


Figure 2 – The effect of changing the amount of return on the strength and yield of the suitable agglomerate



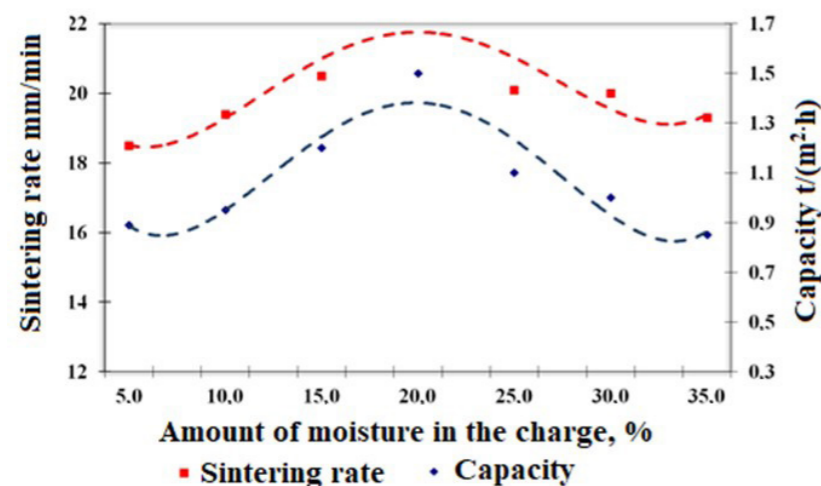


Figure 3 – The effect of changing the amount of return on sintering speed and productivity

This phenomenon can be explained by the fact that more melt is formed in the sintering charge and parameters such as sintering speed and productivity begin to decrease somewhat. It follows that a further increase in the return in the sintering charge reduces the technological parameters of sintering and cannot cover the production costs from an increase in scrap, i.e. return. As for the increase in strength and yield (Figure 3), it initially increases along with the increase in the amount of return in the charge. This is natural, since a significant mass of the charge undergoes repeated sintering. The return particles do not contain a sufficient amount of fuel, and the heating process occurs due to the fuel of the agglomeration charge. When there is too much return, which is observed in the curves of Figure 3. this circumstance begins to negatively affect the technological parameters of sintering. However, according to [9, 44 s.], if the amount of fuel is increased, the strength and yield of the fuel will increase. However, a further increase in the amount of fuel with an optimal fuel consumption of 10 % does not make sense [9, 49 s.], since the cost of the agglomerate begins to rise in price.

Table 4 – Sintering indicators when changing the amount of return

The amount of charge return, %	Sintering speed, mm/min	Productivity, t/m <sup>2</sup> ·hour	Strength according to GOST – 15137-87, (X)	Output of suitable, %
5	18.5	0.89	69.3	52.6
10	19.4	0.95	69.7	63.4
15	20.5	1.20	70.3	66.5
20	22.7	1.50	75.4	70.1
25	20.1	1.10	75.7	73.4
30	20.0	1.00	77.0	75.8
35	19.3	0.85	79.4	80.1

Visually, such an agglomerate with a return rate of 20 % has a fairly good porous structure. Metallized particles are observed on a piece of agglomerate, and the agglomerate is dense in structure.

Thus, according to the results of the study, it was found that the optimal amount of return is considered to be 20 % of the mass of the agglomeration charge at a fuel consumption of 10 %. The results on the optimal amount of fuel are presented in [10, 564 s.].

Another important parameter in agglomeration is the height of the sintered layer. Depending on the growth of the sintered charge layer, a decrease in the amount of sucked air is inevitably formed, i.e. there is a decrease in the vertical sintering rate. However, there is such a concept, the higher the sintered layer, the higher the air is heated before entering and into the combustion zone of solid carbon. gorenje With the best heated air, the thermal level of the agglomeration process increases, the quality of the agglomerate significantly improves, the yield of suitable agglomerate increases, and fuel consumption decreases.

Thus, an increase in the height of the agglomeration charge layer leads to a double effect, the first is a decrease in the vertical sintering rate, the second is an increase in the yield of suitable agglomerate. Therefore, as a result of experiments to determine the optimal height of the sintering layer, it is necessary to determine such a height of the sintering layer that would satisfy all the requirements of the agglomeration process.

The optimal height of the charge layer ensures the best technological sintering performance [10, 566 s.]. During agglomeration, gorenje moves downwards at a certain speed to the grate. During the heating process, the gorenje products, which have a high temperature, transfer their heat to the underlying layers. In the process, the moisture of the charge evaporates, the charge is heated to high temperatures. The sucked air is heated by passing through a molten layer of agglomerate, which is usually located in the combustion zone. Gorenje. Hence, the solid carbon in the charge and the sucked air interact. The interaction occurs due to the development of high temperature and the agglomeration process takes place quite quickly.

The optimal sintering height also depends on the physico-chemical properties of the agglomerated material and their fractional composition. Therefore, only by conducting special studies can the optimal height of the sintered layer be determined.

During the experiments, the height of the sintered layer was changed at parameters from 200 to 400 mm. Sintering parameters when changing the height of the charge layer are shown in Table 5.

When conducting studies to determine the optimal height of the sintering layer of the sintering charge, the discharge under the grate was maintained within 900-1100 mm of water. The height of the sintering layer was changed at 200, 250, 300, 350 and 400 mm.

From Figures 4 and 5, changes in technological parameters are observed when the height of the sintering layer changes. Analyzing the data in Figures 4 and 5, the best best performance was achieved at a sintered layer height of 300 mm. At a height of 300 mm, the sintering rate is 28.7 mm, productivity is 1.75 t/m<sup>3</sup>·hour, the strength of the agglomerate is 70.2, the yield of the usable agglomerate is 75.2 %.

An increase in the height of the charge layer to 400 mm leads to a slight decrease in the sintering rate (20.3 mm/min) and productivity (1.21 t/m<sup>2</sup> · hour) with a slight increase in the mechanical strength of the agglomerate (75.7 %), and a suitable yield (75.4).

Visually, the agglomerate has a moderately fused structure, although it contains a few more semi-fused inclusions of rolled scale. The temperature of the gas outlet with a change in the height of the sintered layer changed from 560 °C to 620 °C. Such an increase in the temperature of the gases under the grate indicated a higher temperature in the combustion zone due to a change in the height of the layer.

Таблица 5 – Sintering parameters when changing the height of the sintering layer

The height of the charge layer, mm	Sintering speed, mm/min	Productivity, t/m <sup>2</sup> ·hour	Strength according to GOST – 15137-87, (X)	Output of suitable, %
200	19.6	1.09	69.3	62.8
250	22.7	1.16	69.7	67.7
300	28.7	1.75	70.2	75.2
350	22.7	1.21	75.4	75.5
400	20.3	1.10	75.7	75.4

Thus, based on the conducted research, it was found that the optimal height of the sintered charge layer is 300 mm. At the height of the sintered layer of 300 mm, the following results were obtained: mechanical strength – 70.2 %, the maximum sintering speed was reached – 28.7 mm/min, and the installation capacity was 1.75 t/m<sup>2</sup> · hour.

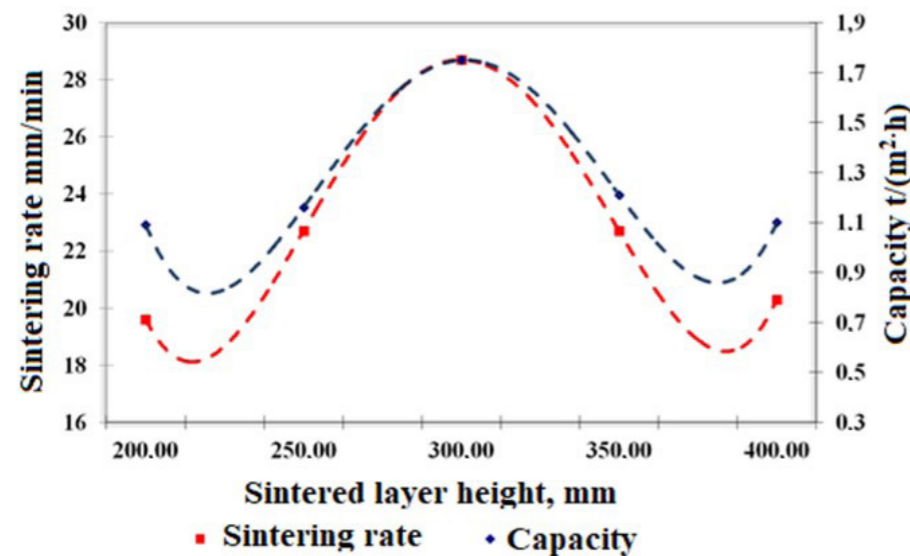


Figure 4 – Influence of the height of the sintered layer on the strength and yield of the suitable agglomerate

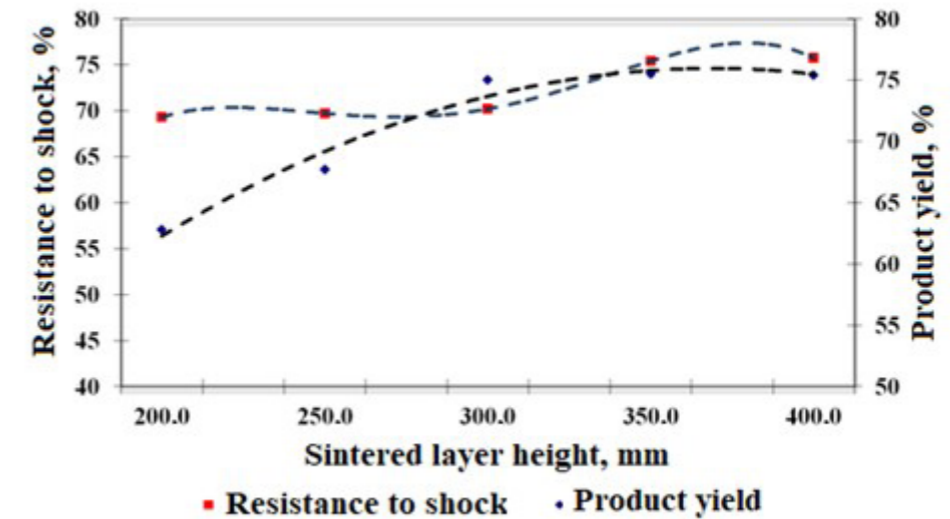


Figure 5 – Influence of the height of the sintered layer on the strength and yield of the suitable agglomerate

### Conclusions

The conducted studies of sintering of rolled scale have shown that the gas permeability of the charge depends on a number of physical properties, the size and shape of the grains, the amount of return, the height of the charge layer, and the moisture content of the charge. The initial gas permeability strongly depends on the degree of humidification of the agglomeration charge, especially when sintering small classes of materials under study. The maximum gas permeability of the charge is ensured with an optimal granulometric composition of the charge, which is characterized by an average equivalent diameter: the higher this indicator, the higher the gas permeability of the charge. The value of the surface tension reaches its maximum at a certain moisture content of the charge, which is the optimal moisture for this charge. By increasing the amount of return during agglomeration, the vertical sintering rate increases and the quality of the agglomerate improves. These factors lead to an increase in the productivity of sintering plants.

Thus, according to the results of the study, the optimal parameters of the sintering sintering process of rolled scale in a mixture with steelmaking waste were worked out. As a result of the conducted research, it was found that the optimal amount of return for agglomeration of rolled scale mixed with iron-containing steelmaking waste is 20 % of the mass of the agglomeration charge at a height of the sintered layer of 300 mm. With the optimal parameters worked out, the following results were achieved: mechanical strength – 70.2 %, the maximum sintering speed was reached – 28.7 mm/min, and the installation capacity was 1.75 t/m<sup>2</sup> · hour.

**Funding**

This study was funded under the project “Zhas Galym” IRN № AP 22685122 “Research and development of a non-waste technology for recycling ferrous steelmaking waste to obtain demanded industrial products.”

## REFERENCES

- 1 **Spanov, S. S., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B.** Steel pilot melting at LLP «KSP STEEL» using Ferro-Silica-Aluminum // *Mettallurgist*, 2017. – Vol.60. Issue 11-12. – P. 1149–1154.
- 2 **El-Hussiny N. A., Mohamed F. M., Shalabi M. E. H.** Recycling of Mill Scale in Sintering Process / *Science of Sintering*, 43. – 2011. – P. 21–31.
- 3 **McClelland J. M., Tanaka H., Sugiyama T., Harada T. and Sugitatsu H.** : FASTMET dust pellet reduction operation report on the first FASTMET waste recovery Plant, Iron making Conference Proceedings, 2001. – P. 629.
- 4 **Fruehan R. J., Astier J. E. and Steffen R.** Status of direct reduction and smelting in the year 2000, 4th ECIC, ATS-PM, 2000. – Paris P. 30–41.
- 5 **Wang. Z., Pinson D., Chew Sh., Monaghan B. J., Pownceby M., Webster N., Rogers H., Zhang G.** Effect of Addition of Mill Scale on Sintering of Iron Ores / *Metallurgical and Materials Transactions B*. 47, 2016. – P. 2848–2860.
- 6 **Nayera, M. G., Shalabi M. E. H., El-Hussiny N. A.** Production of Iron from Mill Scale Industrial Waste via Hydrogen, *Open Journal of Inorganic Non-Metallic Materials*. 3, 2013. – P. 23–28.
- 7 **Жунусова, А. К., Жунусов А. К., Кенжебекова А. Е.** Исследования физико-химических свойств железорудного агломерата // *Наука и техника Казахстана*, 2024. – № 1. – С. 154–163.
- 8 **Павловец, В. М.** Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии : монография. – Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – С. 336.
- 9 **Ким, А. С.** Окускование мелочи марганцевых руд // Теория и практика ферросплавного производства: сб. науч. тр. Серовский завода ферросплавов. – Нижний Тагил, 2008. – С. 42–49.
- 10 **Акбердин, А. А., Ким, А. С., Ли А. М. и др.** Окускование мелочи хромитовых и марганцевых руд // Тезисы докл. Межд. науч. -практ. конф. Абишевские чтения-2006 «Жидкость на границе раздела фаз – теория и практика». – Караганды, 2006. – С. 563–566.

## REFERENCES

- 1 **Spanov S. S., Zhunusov A. K., Tolymbekova L. B.** Steel pilot melting at LLP «KSP STEEL» using Ferro-Silica-Aluminum // *Mettallurgist*, 2017. – Vol.60. Issue 11-12. – P.1149–1154.
- 2 **El-Hussiny N. A., Mohamed F. M., Shalabi M. E. H.** Recycling of Mill Scale in Sintering Process / *Science of Sintering*, 43. – 2011. – P. 21–31.
- 3 **McClelland J. M., Tanaka H., Sugiyama T., Harada T. and Sugitatsu H.** : FASTMET dust pellet reduction operation report on the first FASTMET waste recovery Plant, Iron making Conference Proceedings, 2001. – P. 629.
- 4 **Fruehan R. J., Astier J. E. and Steffen R.** Status of direct reduction and smelting in the year 2000, 4th ECIC, ATS-PM, 2000. – Paris. – P. 30–41.
- 5 **Wang. Z., Pinson D., Chew Sh., Monaghan B. J., Pownceby M. I., Webster N., Rogers H., Zhang G.** Effect of Addition of Mill Scale on Sintering of Iron Ores / *Metallurgical and Materials Transactions B*. 47, 2016. – P. 2848-2860.
- 6 **Nayera, M. G., Shalabi. M. E. H., El-Hussiny N. A.** Production of Iron from Mill Scale Industrial Waste via Hydrogen, *Open Journal of Inorganic Non-Metallic Materials*. 3, 2013. – P. 23–28.
- 7 **Zhunusova, A. K., Zhunusov, A. K., Kenzhebekova, A. E.** Issledovaniya fiziko-ximicheskix svojstv zhelezorudnogo aglomerata [Studies of the physicochemical properties of iron ore agglomerate] // *Science and Technology of Kazakhstan*, 2024. – № 1. – P. 154–163.
- 8 **Pavlovecz, V. M.** Razvitie texniki i texnologii okomkovaniya zhelezorudnogo syrya v metallurgii [Development of equipment and technology for pelletizing iron ore raw materials in metallurgy] : monograph. – Moscow: Vologda: Infra-Engineering, 2022. – P. 336.
- 9 **Kim, A. S.** Okuskovanie melochi margancevyh rud [Agglomeration of fines of manganese ores] // *Theory and practice of ferroalloy production: collection of scientific papers of the Serov Ferroalloy Plant*. – Nizhny Tagil, 2008. – P. 42–49.
- 10 **Akberdin, A. A., Kim, A. S., Li A. M. i dr.** Okuskovanie melochi xromitovyh i margancevyh rud [Agglomeration of fines of chromite and manganese ores] // *Abstracts of reports. Int. scientific-practical. conf. Abishevskie readings-2006 «Liquid at the phase boundary - theory and practice»*. – Karaganda, 2006. – P. 563–566.

Received 18.06.24.

Received in revised form 25.07.24.

Accepted for publication 12.09.24.



*О. В. Заякин<sup>1</sup>, \*А. Е. Кенжебекова<sup>2</sup>, А. Қ. Жүнісов<sup>3</sup>, А. Г. Бакиров<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>РПА Орал бөлімшесінің металлургия институты, Ресей, Екатеринбург қ.

<sup>2,3,4</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

18.06.24 ж. баспаға түсті.

25.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ИЛЕМ ОТҚАБЫРШАҒЫН ЖЕНТЕКТЕУДІҢ ОҢТАЙЛЫ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ

Бұл мақалада құрамында темір бар болат балқыту қалдықтарымен қоспада илем отқабыршағын жентектеудің оңтайлы параметрлерін анықтау бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Илем отқабыршағын жентектегенде жүргізілген зерттеулер шикіқұрамның газ өткізгіштігі бірқатар физикалық қасиеттерге, дәндердің шамасы мен пішініне, қайтарылу санына, шикіқұрам қабатының биіктігіне, шикіқұрамның ылғалдылығына байланысты екенін көрсетті. Бастапқы газ өткізгіштік агломерациялық шикіқұрамның ылғалдану дәрежесіне өте тәуелді, әсіресе зерттелетін материалдардың ұсақ класстарын жентектеу кезінде. Шикіқұрамның ең жоғары газ өткізгіштігі шикіқұрамның оңтайлы гранулометриялық құрамы кезінде қамтамасыз етіледі, ол орташа баламалы диаметрмен сипатталады: бұл көрсеткіш неғұрлым жоғары болса, шикіқұрамның газ өткізгіштігі соғұрлым жоғары болады. Беткі тартылу шамасы шикіқұрамның белгілі бір ылғалдылығы кезінде өзінің максимумына жетеді, бұл осы шикіқұрам үшін оңтайлы ылғал болып табылады. Агломерация кезінде қайтару санының ұлғаюымен пісірудің тік жылдамдығы артады және агломераттың сапасы жақсарады. Бұл факторлар агломерациялық қондырғылардың өнімділігін арттыруға алып келеді. Зерттеу нәтижелері бойынша құрамында темір бар болат балқыту қалдықтарымен қоспада илем отқабыршағын жентектеудің агломерациялық процесінің оңтайлы параметрлері пысықталды. Жентектелген қабаттың оңтайлы биіктігі 300 мм болған кезде агломерациялық шикіқұрамның массасы 20 % -ын пайдалану қайтарудың оңтайлы мөлшері болып табылады. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде мынадай оңтайлы көрсеткіштерге қол жеткізілді: механикалық беріктігі – 70,2 %, жентектеу жылдамдығы – 28,7 мм/мин, меншікті өнімділігі – 1,75 т/сағ.

Кілтті сөздер: илем отқабыршағы, оңтайлы параметрлері, жентектеу, қайтару, қабаттың биіктігі.

*О. В. Заякин<sup>1</sup>, \*А. Е. Кенжебекова<sup>2</sup>, А. К. Жунусов<sup>3</sup>, А. Г. Бакиров<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Институт металлургии Уральского отделения РАН, Россия, г. Екатеринбург

<sup>2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 18.06.24.

Поступило с исправлениями 25.07.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКАНИЯ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ

В данной статье приводятся результаты проведенных исследований по определению оптимальных параметров спекания прокатной окалины в смеси с железосодержащими сталеплавильными отходами. Проведенные исследования спекания прокатной окалины показали, что газопроницаемость шихты зависит от целого ряда физических свойств, величины и формы зерен, количества возврата, высоты слоя шихты, влажности шихты. Начальная газопроницаемость сильно зависит от степени увлажнения агломерационной шихты, в особенности при спекании мелких классов исследуемых материалов. Максимальная газопроницаемость шихты обеспечивается при оптимальном гранулометрическом составе шихты, которая характеризуется средним эквивалентным диаметром: чем выше этот показатель, тем выше газопроницаемость шихты. Величина поверхностного натяжения достигает своего максимума при определенной влажности шихты, что является оптимальной влажностью для данной шихты. Увеличением количества возврата при агломерации возрастает вертикальная скорость спекания и улучшается качество агломерата. Эти факторы приводят к увеличению производительности агломерационных установок. По результатам исследования были отработаны оптимальные параметры агломерационного процесса спекания прокатной окалины в смеси с железосодержащими сталеплавильными отходами. Установлено, что оптимальным количеством возврата является использование 20 % от массы агломерационной шихты при оптимальной высоте спекаемого слоя 300 мм. В результате проведенных исследований достигнуты следующие оптимальные показатели: механическая прочность – 70,2 %, скорость спекания – 28,7 мм/мин, удельная производительность – 1,75 т/м<sup>2</sup>·час.

Ключевые слова: прокатная окалина, оптимальные параметры, спекание, возврат, высота слоя.

**Ye. Makhambetov<sup>1</sup>, \*Zh. Saulebek<sup>2</sup>, A. Akhmetov<sup>3</sup>,  
R. Toleukadyr<sup>4</sup>, A. Zhakan<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

\*e-mail: [zhalgas.saulebek@bk.ru](mailto:zhalgas.saulebek@bk.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-7513>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1606-838X>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5402-0400>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

### **STUDY OF THE MODES OF RECOVERY AND DESTRUCTIBILITY OF CHROME BRIQUETTES UNDER CURRENT AND THERMAL LOADS**

*For an objective assessment of the recoverability of the resulting oxidized materials and deciphering the physico-chemical characteristics of their reduction processes occurring during the smelting of carbonaceous ferrochrome, special studies are needed. In this regard, the kinetics of the briquette reduction process has been studied in this article, which is extremely important for understanding the mechanism of carbothermic reduction in order to improve metallurgical technologies using coated materials. During the study, 6 different variants of briquettes with chromium ore and various types of carbon reducing agents were studied, such as China coke, Shubarkolsky special coke, Borlinsky coal and Shubarkolsky coal. The degree of chromium reduction was studied in the Tamman furnace by thermogravimetric method at temperatures of 1200; 1300; 1400; 1500; 1600 °C for 1 hour. This article also provides calculations to determine the degree of reduction of chromium and iron using the Yander and Gistling-Brownstein equations. Of the six briquette variants, the best results in studying the kinetics of reduction of chromium ore raw materials were obtained using briquettes № 1, 3, 5. The study emphasizes the critical importance of understanding the reduction and destructibility modes of chromium briquettes to optimize the melting processes of carbon ferrochrome. The conclusions from this study are key to the development of both scientific understanding and practical applications in the metallurgical industry.*

*This article summarizes the main results and meanings of the authors' research, emphasizing its contribution to improving the efficiency and quality of carbon ferrochrome production through the systematic study of reduction behavior in chrome ore briquettes.*

*Keywords: ferrochrome, chrome briquettes, coal, coke, degree of reduction, Yander equation, Gistling-Brownstein equation.*

### **Introduction**

The study of chrome briquettes in electric arc furnaces focuses on current and thermal loads affecting the structure and properties of the material. Briquettes perform the function of a reducing agent, participating in the process of reducing iron and other metal oxides. Optimization of reduction regimes is critical for the efficiency of ferrochrome production [1-3]. The research is aimed at understanding the mechanisms of degradation and developing measures to improve the durability of the material at high temperatures and current loads. The control of chemical reactions between briquettes, melt and additives is necessary to ensure the quality of production [4-5].

### **Materials and methods**

Based on the analysis carried out, for the production of monofilament briquettes as carbon reducing agents, it is possible to recommend screenings (less than 10 mm) of the following materials, the compositions of which are shown in:

- coke of the China fraction 0–10 mm
- special coke of Shubarkol fraction 0–10 mm
- Borlinsky coal fractions of 0–10 mm
- coal of the Shubarkol fraction of 0–10 mm

The chemical and technical composition of carbon reducing agents used for briquetting has the following technical composition, %: China coke fractions 0–10 mm – A – 22.5; V – 8.0; S – 0.27; P – 0.013; W – 7.32; Shubarkolsky special coke fractions 0–10 mm – A – 9.5; V – 10.4; S – 0.25; P – 0.012; W – 8.53; Borlinsky coal fractions 0–10 mm – A – 30.2; V – 18.1; S – 0.40; P – 0.010; W – 9.66; Shubarkolsky coal fractions 0–10 mm – A – 5.8; V – 41.5; S – 0.46; P – 0.009; W – 15.1. Also the chemical composition of the ash, %: China coke fractions 0–10 mm – SiO<sub>2</sub> – 43.0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 14.7; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 19.77; CaO – 9.4; MgO – 4.25; Shubarkolsky special coke fractions 0–10 mm – SiO<sub>2</sub> – 47.7; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 17.8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 19.22; CaO – 4.66; MgO – 3.15; Borlinsky coal fractions 0–10 mm – SiO<sub>2</sub> – 59.1; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 32.9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8.26; CaO – 0.55; MgO – 0.39.

Calculations of the compositions of briquettes of six variants using chrome ore and various carbon reducing agents have been carried out. The composition options are given by percentage: № 1 – Chrome ore (78.53 %), China coke (21.47 %); № 2 – Chrome ore (80.84 %), Shubarkolsky special coke (19.16 %); № 3 – Chrome ore (77.24 %), China coke (9.03 %), Shubarkolsky special coke (5.15 %), Borlinsky coal (8.58 %); № 4 – Chrome ore (71.94 %), Shubarkolsky coal (28.06 %); № 5 – Chrome ore (72.63 %), Borlinsky coal (27.37 %); № 6 – Chrome ore (79.22 %), China coke (20.78 %).

Also, for comparison, studies using fine chrome ore of the 1st class and metallurgical coke in the Tamman furnace by thermogravimetry were carried out. The effect of temperature and heating time (from 1200 to 1600 °C for 1 hour) on the degree of chromium reduction was studied. An isothermal treatment controlled by a VR-5/20 thermocouple with an accuracy of ±5°C was used [6-9]. The crucible was cooled in air. The degree of recovery was assessed by weight loss and chemical analysis [10-11].

From the practice of studying the reducibility of iron ore materials, it is known that the degree of reduction is determined by the ratio of the mass of oxygen taken away during reduction to the mass of the initial oxygen bound in the sample of the material

with the metal being restored, in our case with chromium and iron. The definition of the degree of recovery is the formula (1):

$$\alpha = \frac{\Delta I_2^A}{I_2^C} \quad (1)$$

where  $I_2^A$  and  $I_2^C$  – the mass of oxygen in the initial and reduced (exposed to a reducing agent for a certain period of time) samples of chromium ore material.

Taking into account the weight of the samples of the materials under study, we move from the weight amounts of the components to their percentage content in the charge (2):

$$O_2^I = 0,01m^{xp.p} \cdot O_2^{xp.p} + 10^{-4}m^K \cdot A^C \cdot O_2^K \quad (2)$$

In parallel, the degree of recovery was determined by chemical analysis ( $Cr_{general}$ ,  $Cr_{metal}$ ,  $Fe_{general}$ ,  $Fe_{metal}$ ) of laboratory melting products. The degrees of reduction of iron and chromium in various materials can be determined by the following formulas (3) and (4):

$$\alpha_{Cr} = \frac{Cr_{metal}^B}{Cr_{general}^B} \quad (3)$$

$$\alpha_{Fe} = \frac{Fe_{metal}^B}{Fe_{general}^B} \quad (4)$$

But the values  $\alpha_{Cr}$  and  $\alpha_{Fe}$  describe only the recoverability of individual elements of the chromium ore material and do not provide information about the degree of recovery of the material as a whole. Therefore, the overall degree of recovery must be determined using more generalized formulas that take into account the degree of recovery of all recoverable elements, both chromium and iron (5).

$$\alpha = \frac{\Delta O_2}{O_2^I} = \frac{O_2^I - O_2^B}{O_2^I} = 1 - \frac{O_2^B}{O_2^I} \quad (5)$$

The oxygen content in the reduced material can be calculated using the following formula, assuming that the iron in it is in the form of FeO (6):

$$O_2^B = 0,01m^B \cdot \left( \frac{16}{56} (Fe_{general}^B - Fe_{metal}^B) + \frac{48}{104} (Cr_{general}^B - Cr_{metal}^B) \right) \quad (6)$$

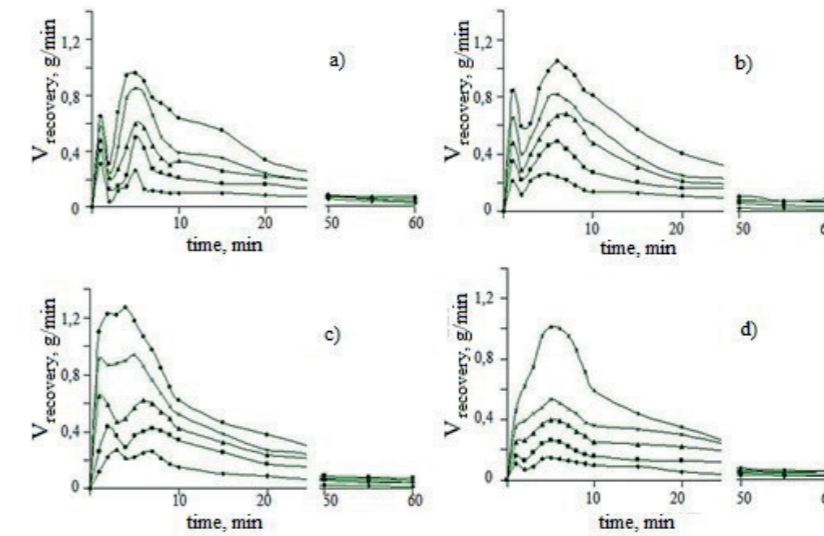
Thus, the recovery rate in any period of time can be calculated using experience data using the formula (7):

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\Delta t} \quad (7)$$

where  $V$  – the average recovery rate of the material in a period of time  $\Delta t$ , l/minute;  $m_1$  – the readings of the scales in  $n$  minutes;  $m_2$  – meter readings for  $n+t$  minutes.

Of the six briquette variants, the best results in studying the kinetics of the reduction of chromium ore raw materials were obtained using briquettes № 1, 3, 5. (Table 1)

The kinetic curves (Figure 1) show two maxima at different temperatures, which increase in height with increasing temperature. The first maximum is due to the removal of residual volatile compounds of coke and ore materials, and the second is associated with the reduction of iron and chromium.



a – ore; b – briquette № 1; c – briquette № 5; g – briquette № 3

Figure 1 – Kinetic curves of the chromium ore recovery process

The first peak in the kinetic curves of briquettes is due to weight loss due to evaporation of alkaline oxides contained in binders. The next peak is associated with weight loss by coke due to the release of residual volatiles.

Table 2 contains the values of the degree of reduction of chromium-ore materials obtained using thermogravimetry and chemical analysis, which are consistent with each other. Table 3 shows the entire material of the experiment on the reduction of chromium-ore materials with coke carbon.

Specially developed models were used to analyze the kinetic characteristics of the reduction of chromium-ore materials depending on temperature. For the inside of the diffusion region, Yander's equation (8) was used, based on the parabolic distribution of the product layer growth law.

$$(1 - \sqrt[3]{1 - \alpha})^2 = k\tau \quad (8)$$



where  $\alpha$  – the degree of transformation of the substance;  $k$  – the constant of the process speed;  $\tau$  – time elapsed since the beginning of the experience.

Table 1 – The degree of recovery of chromium-ore materials determined by chemical analysis

t, °C	$\alpha$			
	by oxygen		by weight loss at $\tau=60$	
Chrome ore				
1200	0,362	0,118	0,169	0,175
1300	0,704	0,354	0,410	0,420
1400	0,782	0,544	0,581	0,606
1500	0,850	0,663	0,693	0,729
1600	0,984	0,924	0,934	0,939
Briquettes with China coke				
1200	0,455	0,123	0,177	0,191
1300	0,663	0,345	0,396	0,430
1400	0,846	0,572	0,615	0,646
1500	0,914	0,700	0,733	0,738
1600	0,970	0,960	0,962	0,974
Briquettes with Borlinsky coal				
1200	0,475	0,102	0,161	0,172
1300	0,527	0,289	0,338	0,348
1400	0,769	0,498	0,540	0,549
1500	0,932	0,697	0,733	0,711
1600	0,989	0,922	0,932	0,956
Briquettes with a complex reducing agent				
1200	0,484	0,166	0,217	0,232
1300	0,734	0,412	0,477	0,512
1400	0,806	0,502	0,643	0,678
1500	0,841	0,660	0,696	0,773
1600	0,992	0,980	0,983	0,993

A more correct equation for describing the constant of the solid-phase process in a spherical grain was obtained by Gistling and Brownstein:

$$1 - (2/3 \cdot \alpha) - (1 - \alpha)^{2/3} = k\tau \quad (9)$$

The Yander (8) and Gistling-Brownstein (9) equations assume that the rate of the diffusion process is inversely proportional to the thickness of the reaction product layer. In our case, the layer is chromium carbide and sintered ore spinelides. The main difference between the equations lies in the geometric premises: Yander considers diffusion at a flat interface, whereas Gistling and Brownstein model diffusion in a spherical grain.

Table 2 – The degree of recovery of chromium-ore materials

t, °C	Degree of transformation ( $\alpha$ ) at time ( $\tau$ , minute)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Chrome ore												
1200	0,01	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18
1300	0,05	0,13	0,19	0,23	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42
1400	0,08	0,20	0,27	0,34	0,40	0,45	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,61
1500	0,12	0,30	0,41	0,48	0,53	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73
1600	0,16	0,41	0,57	0,69	0,78	0,82	0,86	0,88	0,89	0,91	0,93	0,94
Briquettes with China coke												
1200	0,02	0,05	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19
1300	0,05	0,13	0,17	0,22	0,26	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,41	0,43
1400	0,08	0,23	0,31	0,37	0,42	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65
1500	0,13	0,29	0,40	0,47	0,53	0,57	0,61	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74
1600	0,18	0,43	0,57	0,68	0,77	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97
Briquettes with Borlinsky coal												
1200	0,03	0,06	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
1300	0,05	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35
1400	0,09	0,19	0,26	0,33	0,38	0,43	0,46	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55
1500	0,13	0,26	0,36	0,45	0,52	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71
1600	0,17	0,39	0,56	0,66	0,73	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96
Briquettes with a complex reducing agent												
1200	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23
1300	0,04	0,13	0,20	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51
1400	0,09	0,24	0,33	0,40	0,46	0,51	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68
1500	0,13	0,33	0,46	0,53	0,59	0,63	0,66	0,69	0,71	0,74	0,75	0,77
1600	0,22	0,47	0,61	0,72	0,79	0,84	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99

According to the Gistling-Brownstein equation, which is most often used in studies of the kinetics of the reduction of chromium ore materials, a mathematical model of the dependence of the degree of transformation of chromite ore on time is expressed in the form of a straight line equation (10).

$$y = a + bx \quad (10)$$

where the angular coefficient (b) is a constant of the process speed.

Table 3 shows the results of processing experimental data using the Gistling-Brownstein model. As a general assessment, it can be indicated that this model with a sufficiently high correlation (R not less than 0.9) describes the studied process, which once again confirms its diffusive nature, since this equation has been developed for such processes.

Analyzing the data in Table 3, it can be concluded that at the same temperature, for example at 1200 °C the reduction rate constant of briquettes is 1.79 times that of chrome ore.

Table 3 – Results of processing experimental data using the Gistling-Brownstein model

Material	t, °C	y = a + bx		R	k·10 <sup>-3</sup>
		a	b		
Chrome ore	1200	-0,000535	0,000073	0,969	0,073
	1300	-0,002186	0,000469	0,970	0,469
	1400	-0,005557	0,001095	0,967	1,095
	1500	-0,002992	0,001685	0,957	1,685
	1600	-0,002533	0,003991	0,941	3,991
Briquettes with China coke	1200	-0,000499	0,000087	0,975	0,087
	1300	-0,003080	0,000486	0,970	0,486
	1400	-0,005818	0,001247	0,959	1,247
	1500	-0,004202	0,001757	0,960	1,757
	1600	-0,014690	0,004709	0,929	4,709
Briquettes with Borlinsky coal	1200	-0,000076	0,000062	0,976	0,062
	1300	-0,001315	0,000310	0,977	0,310
	1400	-0,002596	0,000859	0,972	0,859
	1500	-0,003732	0,001653	0,968	1,653
	1600	-0,017362	0,004454	0,933	4,454
Briquettes with a complex reducing agent	1200	-0,001237	0,000131	0,973	0,131
	1300	-0,005403	0,000722	0,961	0,722
	1400	-0,006257	0,001459	0,962	1,459
	1500	0,000036	0,001970	0,957	1,970
	1600	-0,017339	0,005263	0,916	5,263

Using the data in Table 3, it is possible to find the temperature dependence of the rate constant for various types of chromium ore raw materials. To do this, we set the following form of dependence of the velocity constant on temperature, called the Arrhenius equation (11) in physical chemistry:

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E_{activation}}{RT}\right) \quad (11)$$

where A – constant value;  $E_{activation}$  – the activation energy of the process; R – universal gas constant (8,3144 J/mol·K); T – temperature.

The logarithm of this expression gives the dependence (12):

$$\ln k = \ln A - \frac{E_{activation}}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (12)$$

which can be represented as the equation of a straight line (13):

$$y = a + bx \quad (13)$$

Processing the data in Table 4 in  $\ln k - 1/T$  coordinates makes it possible to find the coefficient b in equation (13), numerically equal to  $-E_{activation}/R$ , and the coefficient a, equal to  $\ln A$ . With a known R (8.3144), it is possible to find the activation energy of the process and the value of the pre-exponential coefficient A. The calculation results are placed in Table 4, where the desired equations, correlation coefficients (R) and values of the apparent activation energy ( $E_{activation}$ ) are given.

Table 4 – Kinetic characteristics of reduction of carbon-coated chromium-ore materials

№	Material	Equation	R	A	$E_{activation}$ , kJ/mol
1	Chrome ore is fine	$\ln k = -25912,8/T + 8,418$	0,979	4531,3	215,45
2	Briquettes with China coke	$\ln k = -25854,2/T + 8,492$	0,982	4874,2	214,96
3	Briquettes with Borlinsky coal	$\ln k = -28359,8/T + 9,746$	0,994	17088,2	235,79
4	Briquettes with a complex reducing agent	$\ln k = -23408,4/T + 7,257$	0,975	1417,9	194,63

### Results and discussion

As a result of the experiments, calculated data were obtained using mathematical expressions to determine the degree of recovery of chromium-ore materials with good convergence (Table 3). Experimental data on the Gistling-Brownstein model with a sufficiently high correlation were also processed, which once again confirms its diffusive nature.

Analyzing the data in Table 3, it can be concluded that at the same temperature, for example at 1200 °C the reduction rate constant of briquettes is 1.79 times that of chrome ore.

In addition, analyzing the calculated activation energy data in Table 4, it is possible to assume the diffusive nature of the inhibition of the reduction reaction of all studied chromium-ore materials. Judging by the values of the activation energy of the process, briquettes with Borlinsky coal and a complex reducing agent have the highest recoverability. This phenomenon can be explained as follows.

The coal introduced into the briquettes contains silica and alumina in the ash part. In some works, it is believed that silica accelerates the reduction of iron and chromium oxides of chromium ores, in other works it is claimed that it slows down the process of solid-phase reduction, closing the supply routes of the reducing agent to the reaction surface between the grains of chrome spinelides and the reducing agent.

During the frontal reduction of iron and chromium oxides with carbon, a metal-slag shell is formed around the grains of chrome-spinelides of chromium ores. Its thickness depends on the structure of the ores, temperature, time and degree of recovery. This shell is a metal-slag barrier for the development of grain depth reduction of chrome ores. Silica and alumina contained in increased amounts in the composition of coal ash, during the reduction process, dissolve in refractory and viscous slag-forming oxides - products that appear during the reduction of chrome spinelides, and as a result, low-melting and liquid-mobile slags form on the contact surface. Such slags easily destroy the slag diffusion barrier and expose the surface of the core of chromium spinelides for a new contact between iron and chromium oxides with carbon.

### Information about financing

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992758).

**Conclusions**

During the work on the reduction of chrome briquettes, six different briquettes consisting of chromium ore and various carbon-containing reducing agents (China coke, special coke from Shubarkol, coal from Borly and Shubarkol) were studied. The degree of chromium reduction was studied using the Tamman furnace and the thermogravimetry method at temperatures from 1200 to 1600 °C for 1 hour.

**Results**

Calculated data on the degree of reduction of chromium-ore materials with high convergence were obtained (Table 3).

Optimal briquette options: The best results in terms of reduction kinetics were obtained with briquettes № 1, № 3 and № 5.

At the same temperature, for example at 1200 °C the reduction rate constant of briquettes is 1.79 times that of chrome ore.

Kinetic curves: Two peaks were observed on the kinetic curves, which were attributed to the removal of residual volatiles and the reduction of iron and chromium oxides.

Experimental data on the Ginstling-Brownstein model confirm the diffusive nature of the process.

The reduction process slows down due to the formation of a metal-slag shell around the grains of chrome spinelides caused by the content of silica and alumina in coal.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Морачевского А. Г., Сладкова И. Б.** Термодинамические расчёты в металлургии. Справочник ред. – М: Металлургия, 1985. – 137 с.
- 2 **Касенов Б. К., Алдабергенов М. К., Пашинкин А. С.** Термодинамические методы в химии и металлургии. – Алматы: Рауан, Демеев, 1994. – 256 с.
- 3 **Касенов Б. К., Алдабергенов М. К., Пашинкин А. С. и др.** Методы прикладной термодинамики в химии и металлургии. – Караганда: Гласир, 2008. – 332 с.
- 4 **Baisanov S., Shabanov Ye., Baisanov A., Issagulov A., Laurent Ch.** Diagram of phase structure of metallic system in liquid state // Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. – 2015. – P. 540–547.
- 5 **Шабанов Е. Ж., Байсанов С. О., Исагулов А. З., Лоран К., Байсанов А. С.** Фазовая диаграмма строения систем Fe-Al-Cr и Si-Cr-Fe при температурах плавления // Материалы Межд. науч.-практ. конф. «Наука, образование и производство – ведущие факторы стратегии «Казахстан–2050». – Караганда, 2014. – С. 379–381.
- 6 **Kuatbay Y., Nurumgaliyev A., Zhuniskaliyev T., Smailov S., Yerzhanov A., Bulekova G.** Development of carbon ferrochrome smelting technology using high-ash coal // Metalurgija, 2022, 61(3-4), P. 764–766 [language of the original version – English].

7 **Barnes A. R.** The pre-reduction and smelting of chromite concentrate of low chromium to iron ratio // Journal of the South African institute of mining and metallurgy. – March 1983. – P. 49–54. – [language of the original version – English]

8 **Tolymbekov, M. Z., Baisanov, S. O., Izbembetov, Z. Z., Abdulabekov, E. E., Akiyov, A. M.** Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch // Steel in Translation, 2010, 40(6), P. 565–567

9 **Tleugabulov S. M., Tleugabulov B. S., Koishina G. M., Altybaeva D. K., Tazhiev E. B.** Smelting Reduction of a Monocharge // Metallurgist, 2016, 60(1-2), P. 31–37. – [language of the original version – English].

10 **Motovilov I. Y., Luganov V. A., Chepushtanova T. A., Guseynova G. D., Itkulova S. S.** Processing of metallurgical wastes with obtaining iron oxides nanopowders // WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II - Selected papers from the 4th edition of the International Conference Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 2017, 2018, P. 191–196 [language of the original version – English].

11 **S. McCullough, S. Hockaday, C. Johnson, N. A. Barcza.** Pre-reduction and smelting characteristics of Kazakhstan ore samples // INFACON XII, June 6 – 9, 2010, Helsinki, Finland, P. 249-262. – [language of the original version – English].

## REFERENCES

- 1 **Morachevckogo A. G., Cladkova I. B.** Termodinamicheckie raschyoty` v metallurgii. Spravochnik red. [hermodynamic calculations in metallurgy. Cravochnik ed.]. – Moscow : Metallurgy, 1985. – 137 p.
- 2 **Kacenov B. K., Aldabergenov M. K., Pashinkin A. C.** Termodinamicheckie metody` v ximii i metallurgii. [Thermodynamic methods in chemistry and metallurgy]. – Almaty: Rauan, Demeau, 1994. – 256 p.
- 3 **Kacenov B. K., Aldabergenov M. K., Pashinkin A.C. i dr.** Metody` prikladnoj termodinamiki v ximii i metallurgii. [Methods of applied thermodynamics in chemistry and metallurgy]. - Karaganda: Glacir, 2008. – 332 p.
- 4 **Baisanov S., Shabanov Ye., Baisanov A., Issagulov A., Laurent Ch.** Diagram of phase structure of metallic system in liquid state // Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. – 2015. – P. 540–547.
- 5 **Shabanov E. Zh., Bajcanov C. O., Icagulov A. Z., Loran K., Bajcanov A. C.** Fazovaya diagramma ctroeniya cictem Fe-Al-Cr i Si-Cr-Fe pri temperaturax plavleniya [Phase diagram of the structure of Fe-Al-Cr and Si-Cr-Fe at melting temperatures] // Materials Intermediate. scientific-practical. conf. “Science, education and production - the leading factors of the strategy «Kazakhstan-2050». – Karaganda, 2014. – P. 379–381.
- 6 **Kuatbay Y., Nurumgaliyev A., Zhuniskaliyev T., Smailov S., Yerzhanov A., Bulekova G.** Development of carbon ferrochrome smelting technology using high-ash coal // Metalurgija, 2022. – 61(3-4), P. 764–766. – [language of the original version – English].



7 **Barnes A. R.** The pre-reduction and smelting of chromite concentrate of low chromium to iron ratio // Journal of the South African institute of mining and metallurgy. – March 1983. – P. 49–54. – [language of the original version – English]

8 **Tolymbekov, M. Z., Baisanov, S. O., Izbembetov, Z. Z., Abdulabekov, E. E., Akuov, A. M.** Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch // Steel in Translation, 2010, 40(6), P. 565–567

9 **Tleugabulov S. M., Tleugabulov B. S., Koishina G. M., Altybaeva D. K., Tazhiev E. B.** Smelting Reduction of a Monocharge // Metallurgist, 2016. – 60(1-2), P. 31–37. – [language of the original version – English].

10 **Motovilov I. Y., Lukanov V. A., Chepushtanova T. A., Guseynova G. D., Itkulova S. S.** Processing of metallurgical wastes with obtaining iron oxides nanopowders // WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II - Selected papers from the 4th edition of the International Conference Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 2017, 2018, P. 191–196. – [language of the original version – English].

11 **S. McCullough, S. Hockaday, C. Johnson, N. A. Barcza.** Pre-reduction and smelting characteristics of Kazakhstan ore samples // INFACON XII, June 6 – 9, 2010, Helsinki, Finland, P. 249–262. – [language of the original version – English].

Received 17.07.24.

Received in revised form 17.07.24.

Accepted for publication 29.08.24.

**Е. Н. Махамбетов, \*Ж. Қ. Сәулебек, А. С. Ахметов,**

**Р. Т. Төлеуқадыр, А. М. Жақан**

Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

17.07.24 ж. баспаға түсті.

17.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

29.08.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ТОК ЖӘНЕ ЖЫЛУ ЖҮКТЕМЕЛЕРІ КЕЗІНДЕГІ ХРОМ БРИКЕТТЕРІНІҢ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ ЖӘНЕ БҰЗЫЛУ РЕЖИМДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Алынған агломерацияланған материалдардың тотықсызданғыштығын объективті бағалау және көміртекті феррохромды балқыту кезінде жүретін олардың тотықсыздану үрдістерінің физика-химиялық сипаттамаларын ашу үшін арнайы зерттеулер қажет. Осыған байланысты бұл мақалада агломерацияланған материалдарды пайдалану кезінде металлургиялық технологияларды жетілдіру мақсатында карботермиялық тотықсыздандыру механизмін түсіну үшін өте маңызды болып табылатын брикеттерді тотықсыздандыру үрдісінің кинетикасы зерттелді. Зерттеу барысында Қытай коксы, Шұбаркөл арнайы коксы, Борлы көмірі және Шұбаркөл көмірі сияқты хром кені және көміртегі тотықсыздандырығыштары бар

брикеттердің 6 түрлі нұсқасы зерттелді. Хромның тотықсыздану дәрежесі Тамман пешінде термогравиметриялық әдіспен 1200; 1300; 1400; 1500; 1600°C температурада 1 сағат зерттелді. Бұл мақалада Яндер және Гистлинг-Браунштейн теңдеулері арқылы хром мен темірдің тотықсыздану дәрежесін анықтауға арналған есептеулер де берілген. Алты брикет нұсқаларының ішінде хром кені шикізатының тотықсыздану кинетикасын зерттеудегі ең жақсы нәтижелер № 1, 3, 5 брикеттердің көмегімен алынды. Зерттеу көміртекті феррохромды балқыту үрдістерін оңтайландыру үшін хром брикеттерінің редуция және ыдырау режимдерін түсінудің маңыздылығын көрсетеді. Бұл зерттеудің нәтижелері металлургия өнеркәсібінде ғылыми түсінік пен практикалық қолдануды дамытудың кілті болып табылады.

Бұл мақалада авторлардың зерттеулерінің негізгі нәтижелері мен салдары жинақталған, оның хром кені брикеттерінің тотықсыздандыру әрекетін жүйелі зерттеу арқылы көміртекті феррохром өндірісінің тиімділігі мен сапасын арттыруға қосқан үлесі көрсетілген.

Кілтті сөздер: феррохром, хром брикеттері, көмір, кокс, тотықсыздандыру дәрежесі, Яндер теңдеуі, Гистлинг-Браунштейн теңдеуі

**Е. Н. Махамбетов, \*Ж. Қ. Сәулебек, А. С. Ахметов,**

**Р. Т. Төлеуқадыр, А. М. Жақан**

Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева,

Республика Казахстан, г. Караганда

Поступило в редакцию 17.07.24.

Поступило с исправлениями 17.07.24.

Принято в печать 29.08.2024.

### ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РАЗРУШАЕМОСТИ ХРОМОВЫХ БРИКЕТОВ ПРИ ТОКОВЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Для объективной оценки восстановимости получаемых окискованных материалов и расшифровки физико-химических характеристик процессов их восстановления, протекающих при выплавке углеродистого феррохрома, необходимы специальные исследования. В связи с этим в данной статье была изучена кинетика процесса восстановления брикетов, что крайне важно для понимания механизма карботермического восстановления с целью совершенствования металлургических технологий при использовании окискованных материалов. В ходе изучения исследованы 6 различных вариантов брикетов с хромовой рудой и различными видами углеродистых восстановителей, такие как кокс КНР, спецкокс шубаркольский, уголь борлинский и уголь шубаркольский. Степень восстановления хрома изучали в печи Таммана термогравиметрическим методом при температурах 1200; 1300; 1400; 1500; 1600°C в течении 1 часа. В данной статье также приведены расчеты по определению степени восстановления хрома и железа с применением уравнений Яндера и Гистлинга-Браунштейна. Из шести вариантов брикетов наиболее лучшие результаты при изучении кинетики

восстановления хроморудного сырья были получены с использованием брикетов № 1, 3, 5. Исследование подчеркивает критическую важность понимания режимов редуции и разрушаемости хромовых брикетов для оптимизации процессов плавления углеродного феррохрома. Выводы из этого исследования являются ключевыми для развития как научного понимания, так и практических применений в металлургической промышленности.

Эта статья кратко излагает основные результаты и значения исследования авторов, подчеркивая его вклад в повышение эффективности и качества производства углеродного феррохрома через систематическое изучение поведения при восстановлений в хромовых рудных брикетах.

Ключевые слова: феррохром, хромовые брикеты, уголь, кокс, степень восстановления, уравнение Яндера, уравнение Гистлинга-Броунштейна

МРНТИ 53.01.91

<https://doi.org/10.48081/BGDO2165>

**А. Р. Мамбеталиева<sup>1</sup>, \*С. Сағатбек<sup>2</sup>,  
Т. Ш. Тусупбекова<sup>3</sup>, Г. К. Макашева<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>ТОО «КазГидроМедь», Республика Казахстан, г. Караганда

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

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1931-1716>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

В связи с истощением природных ресурсов, загрязнением окружающей среды отходами и площадью складирования хвостов в отвалы актуальной задачей на сегодняшний день является переработка техногенного минерального сырья. Техногенное минеральное сырьё обладает высокой экономической ценностью и является одним из важнейших резервов увеличения ресурсов без значительных капиталовложений на разработку месторождений. Исходная проба лежалых хвостов предоставлена первичными рудными минералами и продуктами металлургического передела. Изучение вещественного состава пробы определялся масс-спектральным анализом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), фазовый анализ меди определялся согласно ГОСТ 33207-2014. Изучение минерального состава проводилось в отраженном свете в полированных анилифах с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7 компании SIAMS. В статье предоставлены результаты исследования по разработке селективных режимов обогащения лежалых хвостов с применением комбинации бутилового ксантогената калия и дополнительного собирателя. Лабораторные исследования показали, что при использовании комбинации бутилового ксантогената калия и реагента на основе монотиофосфата достигается наибольшая эффективность обогащения меди и серебра в суммарный концентрат флотации.

Ключевые слова: металлургия, лежалые хвосты обогащения, вещественный состав, химический состав, фазовый анализ, обогащение, реагенты, флотация, концентрат.

**Введение**

Перспективным сырьем для развития металлургии могут служить такие техногенные отходы горнорудной промышленности, как:

- заскладированные забалансовые руды; вскрышные породы; минерализованные массы;
- промежуточные отходы процесса рудоподготовки и гидрометаллургии;
- отвальные хвосты процесса флотации и сорбции;
- шлаки процесса пирометаллургии и жидкие цианидсодержащие отходы [1].

В настоящее время общее количество лежалых хвостов обогащения в Казахстане составляет более 10 млрд тонн. Содержание цветных и благородных металлов в них различно и в ряде случаев достигает весьма значительных величин [2].

Техногенное минеральное сырье не может эффективно перерабатываться с помощью традиционных технологий из-за существенного изменения физических и физико-химических свойств составляющих компонентов вследствие окисления, выщелачивания и вторичного осаждения при хранении [3]. Особенности вещественного состава лежалых хвостов требуют применения значительно сложных схем переработки по сравнению с первичным рудным сырьем [2].

Проведены исследования по гидрометаллургической переработке хвостов:

Определены оптимальные параметры по агитационному выщелачиванию меди из исходных хвостов:

✓	концентрация серной кислоты	– 20,0 г/л;
✓	удельный расход кислоты	– 47,834 кг/т хвостов;
✓	продолжительность выщелачивания	– 4 часа;
✓	отношение Ж:Т	– 3:1

При этом достигаются следующие показатели извлечения в раствор:

• меди	– 40,41 %;
• железа	– 10,84 %;
• цинка	– 22,24 %.

В результате проведенных исследований установлена низкая эффективность гидрометаллургических методов.

Вышеперечисленные технологии не отвечают современным экологическим требованиям и не обладают достаточной экономической эффективностью переработки отвальных хвостов.

Наибольшая эффективность обогащения достигнута при переработке хвостов методом флотации с применением комбинации реагентов.

На большинстве обогатительных фабриках применяется бутиловый ксантогенат калия (БКК), который не во всех случаях обеспечивает максимальную эффективность при флотации. Недостатком ксантогенатов является то, что они проявляют высокие собирательные свойства практически ко всем сульфидным минералам, что естественно создает значительные трудности при селективном разделении сульфидов меди, свинца, цинка и особенно пирита [4]. Учитывая

вышеизложенное, современные технологии требует применения селективных реагентных режимов, в особенности изучения взаимодействия комбинации собирателей: бутилового ксантогената калия (как основного реагента-собирателя) и селективных собирателей в процессе флотации лежалых хвостов [5].

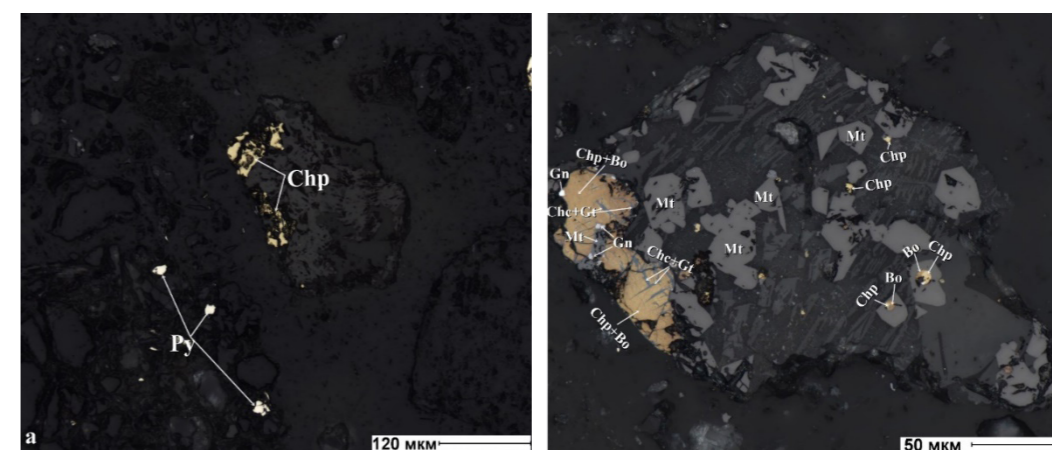
Целью проведения исследований является изучение закономерностей флотационного разделения минеральных фаз лежалых хвостов в зависимости от вида дополнительного собирателя и его соотношения с основным собирателем.

**Материалы и методы**

Исследования проведены на технологической пробе лежалых хвостов Балхашской обогатительной фабрики с содержанием основных компонентов: меди – 0,18 %, серебра - 1,38 г/т, серы 0,98 %, железа общего 6,69 %. Содержание породных компонентов составило: кварца 57,54 %, оксидов алюминия 18,21 %, оксидов кальция 5,36 %.

Из результатов фазового анализа следует, что проба на 60,00 % (14,21 % с первичными и 45,79 % с вторичными сульфидами) представлена сульфидными минералами. Окисленные минералы меди составляют 40,00 % от общего содержания меди в руде и на 24,96 % представлены хризоколлой. Исследуемая проба хвостов относится к смешанному типу.

По данным минералогического анализа установлено, что главным рудообразующим минералом является магнетит; второстепенные – пирит, халькопирит; присутствующие в количестве редких или единичных знаков – сфалерит, гидроксиды железа и гематит, борнит, халькозин, ковеллин, пирротин, малахит, металлическая медь, галенит.



Chp-халькопирит, Py-пирит, Mt-магнетит, Bo-борнит, Chc-халькозин, Gt-гетит, Gn-галенит

а) халькопирит I генерации, б) халькопирит II генерации

Рисунок 1 – Характеристика выделений халькопирита

Рудные минералы в пробе представлены двумя генерациями:



I генерация - первичные рудные минералы (не подверженные металлургическому переделу);

II генерация – продукты металлургического передела (шлаки) - основная часть полезных рудных практически неотделима от в силикатной части шлака из-за ультратонких и тонких размеров рудных зерен (<1-10–30 мкм).

Измельчение проб проводили мокрым способом в лабораторной шаровой мельнице 40МЛ-Г с объемом барабана 7 л, предназначенной для тонкого измельчения проб.

Во флотационных опытах использовали пневмомеханические лабораторные флотационные машины типа Вэктис. В таблице 1 приведены условия проведения опытов, схема проведения опыта предоставлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Условия проведения опытов

Операция, продукт	Сод-ние кл. -0,071 мм, %	Время флот. (t), мин	Расход реагентов, г/т			
			Na <sub>2</sub> S	Сел. реагент	Кх	МИБК
Измельчение	80	-	-	-	-	-
Основная флотация-1	-	10	150	20	50	20
Основная флотация-2	-	10	100	-	50	10

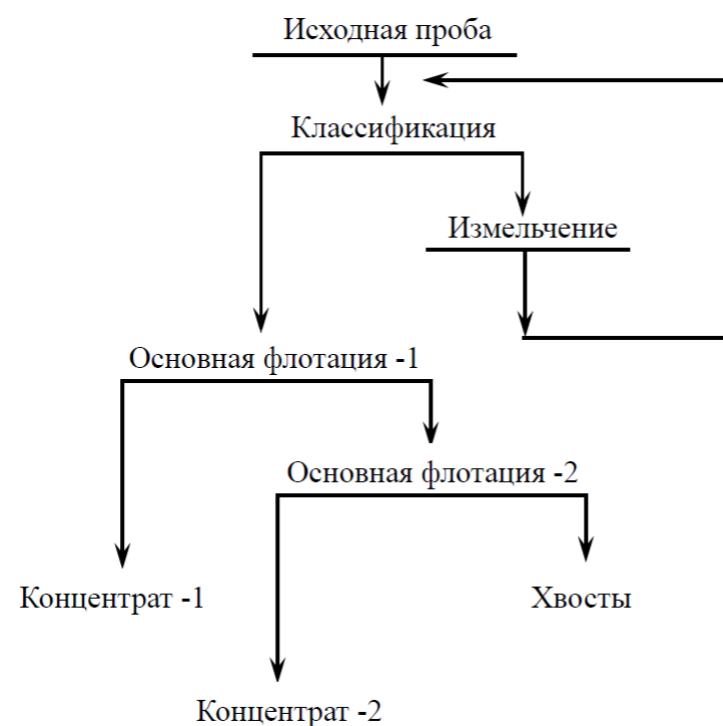


Рисунок 1 – Схема проведения опыта

Для исследований выбраны собиратели, содержащие вещества диизобутилдитиофосфинат (ДИФ), монотиофосфат (МТФ), тиокарбамат (ТК) и диалкилдитиофосфат (ДАДТФ) ввиду их доступности и ряда специфических

особенностей флотационного действия, зарекомендовавшие себя как эффективные дополнительные собиратели при флотации совместно с ксантогенатом и одновременно повышающие извлечение драгоценных металлов [6].

Дополнительные собиратели подавались в процесс после основного - бутилового ксантогената калия (БКК). В каждую операцию флотации производилась дробная подача. Расход БКК составил 100 г/т.

**Результаты и обсуждение**

Флотационные исследования селективных собирателей в качестве дополнительного реагента собирателя к БКК на лежалых хвостах проводили при естественной щелочности пульпы (рН=8,0 ед.), полученные результаты флотации сравнивали с базовым опытом, в котором применяли стандартный реагент собиратель – БКК. Полученные значения технологических показателей флотации лежалых хвостов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты опытов

Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Ag, г/т	Cu	Ag
Базовый опыт с БКК					
Концентрат-1	7,36	1,07	8,99	43,19	47,93
Концентрат-2	5,58	0,46	3,49	13,92	14,09
ΣКонцентрат	12,93	0,81	6,62	57,11	62,02
Хвосты	87,07	0,09	0,60	42,89	37,98
Исходная проба	100,0	0,18	1,38	100,0	100,0
С применением комбинации БКК + ДИФ					
Концентрат-1	7,65	0,89	7,95	37,18	44,07
Концентрат-2	4,87	0,56	5,11	14,95	18,03
ΣКонцентрат	12,52	0,76	6,85	52,12	62,10
Хвосты	87,48	0,10	0,60	47,88	37,90
Исходная проба	100,0	0,18	1,38	100,0	100,0
С применением комбинации БКК + МТФ					
Концентрат-1	7,74	1,01	8,90	42,38	49,89
Концентрат-2	4,06	0,60	5,00	13,37	14,71
ΣКонцентрат	11,80	0,87	7,56	55,76	64,60
Хвосты	88,20	0,09	0,55	44,24	35,40
Исходная проба	100,0	0,18	1,38	100,0	100,0
С применением комбинации БКК + ТК					
Концентрат-1	8,04	0,94	8,29	41,29	48,28
Концентрат-2	4,76	0,55	4,37	14,28	15,07
ΣКонцентрат	12,79	0,79	6,84	55,57	63,36
Хвосты	87,21	0,09	0,58	44,43	36,64
Исходная проба	100,0	0,18	1,38	100,0	100,0
С применением комбинации БКК + ДАДТФ					
Концентрат-1	10,05	0,79	6,57	43,45	47,82

Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Ag, г/т	Cu	Ag
Концентрат-2	5,51	0,47	4,06	14,07	16,20
ΣКонцентрат	15,55	0,68	5,68	57,52	64,02
Хвосты	84,45	0,09	0,59	42,48	35,98
Исходная проба	100,0	0,18	1,38	100,0	100,0

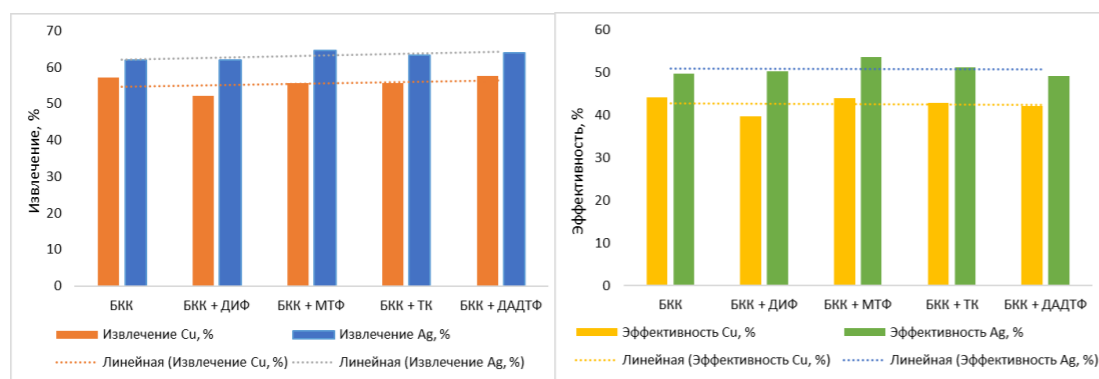
На основании проведенных исследований установлено, что применение комбинации БКК (как основного реагента-собиранителя) и селективных собиранителей в процессе флотации лежалых хвостов позволяет повысить извлечение серебра в концентрат.

Для выбора наиболее эффективного реагента для извлечения полезных компонентов, выполнен расчет эффективности обогащения по методике Ханкок-Луйкена [7]. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов тестов по эффективности обогащения

№ п/п	Марка реагента	Эффективность обогащения, %	
		Cu	Ag
1	Базовый опыт с БКК	44,26	49,78
2	БКК + ДИФ	39,67	50,27
3	БКК + МТФ	44,04	53,54
4	БКК + ТК	42,86	51,28
5	БКК + ДАДФ	42,05	49,15

На основании таблиц 2 и 3 построены графики зависимости результатов флотации от сочетания основного (БКК) и дополнительного собиранителя.



а) извлечения от реагентного режима;  
 б) эффективности обогащения от реагентного режима  
 Рисунок 2 – Гистограмма зависимости

На рис. 2а приведены данные по извлечению меди и серебра при введении в процесс дополнительного собиранителя к основному. Из представленных результатов следует, что значительно большее извлечение меди и серебра в суммарный концентрат (57,52 % и 64,02 % против 57,11 % и 62,02 %) и, соответственно, меньшие потери с отвальными хвостами достигаются при введении дополнительного собиранителя на основе ДАДФ. Наилучшие результаты извлечения серебра получены при использовании комбинации бутилового ксантогената калия в сочетании с МТФ. При котором достигается максимальное извлечение серебра в суммарный концентрат (64,60 %), а при использовании одного собиранителя оно не превышало 62,02 %. При использовании сочетания бутилового ксантогената калия и ДИФ извлечение меди в концентрат ниже. Извлечение меди при использовании МТФ и ТК показали одинаковые значения.

Сравнительные результаты на рис. 2б показывают, что эффективность обогащения серебра увеличивается за счет применения комбинации собиранителей. По данным наилучшие результаты получены при использовании реагента БКК в сочетании с МТФ. При выборе МТФ эффективность обогащения по серебру растет и достигает максимального значения, составляя при этом 53,54 %. Высокая эффективность флотации меди (44,26 %) было получено в базовом опыте с одним ксантогенатом, а при использовании смеси бутилового ксантогената калия с МТФ составила 44,04 %, что имеет незначительную разницу.

При введении ДИФ, ТК и ДАДФ в качестве дополнительного собиранителя к БКК эффективность флотации меди и серебра достигает низких значений.

**Выводы**

В базовом опыте при применении БКК (100 г/т) получен концентрат с эффективностью обогащения по меди и серебру 44,26 % и 49,78 %. Введение МТФ (20 г/т) совместно с БКК (80 г/т) обеспечивает значительное повышение эффективности обогащения серебра на 3,76 % (с 49,78 до 53,54 %), сокращая при этом выход концентрата на 1,13 %. При использовании комбинации собиранителей получен концентрат с извлечением меди — 55,76 % и серебра — 64,60 %.

Комбинация БКК (как основного реагента-собиранителя) и МТФ (как дополнительного) в процессе флотации лежалых позволяет повысить извлечение серебра в концентрат при снижении суммарного расхода собиранителей по сравнению с традиционно применяемым реагентным режимом с использованием только одного БКК.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Хакимов К. Ж., Каюмов О. А. У., Эшонкулов У. Х. У., Соатов Б. Ш. У.** Техногенные отходы - перспективное сырье для металлургии узбекистана в оценке отвальных хвостов фильтрации медно-молибденовых руд // *Universum: технические науки*. – 2020. – № 12–1. – С. 54–59.
- 2 **Шумский В. А., Кушакова Л. Б.** Перерабатывать нельзя хранить // Журнал «Горно-металлургическая промышленность». – 2018. – № 8. – С. 36–39.
- 3 **Бурдзиева О. Г., Шевченко Е. В.** Эколого-экономические аспекты хранения отходов горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 8. – С. 37–42.
- 4 **Комогорцев Б. В., Вареничев А. А.** Применение селективных реагентов-собираателей в технологиях флотационного обогащения золотосодержащих сульфидных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 12. – С. 231–242.
- 5 **Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцукова Б. Т., Алексейчук Д. А.** Исследования селективности действия сочетания ксантогената и дитиофосфата с тионокарбаматом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2010. – № 3. – С. 105–114.
- 6 **Игнаткина В. А., Бочаров В. А.** Схемы флотации сульфидов цветных металлов на основе использования сочетания собирателей // Горный журнал. – 2010. – № 12. – С. 58–64.
- 7 **Шехирев Д. В., Думов А. М., Стрижко В. С.** Феноменологический смысл эффективности разделения по ханкоку-луйкену и дополнительный критерий эффективности // Обогащение руд. – 2010. – № 2. – С. 31–35.
- 8 **Чантурия В. А., Недосекина Т. В., Гапчич А. О.** Повышение селективности процесса флотации на основе применения новых реагентов собирателей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 6. – С. 106–115.
- 9 **Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Хачатрян Л. С.** Проблемы разделения минеральных комплексов при переработке массивных упорных руд цветных металлов // Цветные металлы. – 2014. – № 5. – С. 16–23.
- 10 **Кушакова Л. Б., Яковлева Е. П.** Переработка лежалых хвостов обогатительных фабрик Восточного Казахстана // Горный журнал. – 2001. – № 9. – С. 57–61.

## REFERENCES

- 1 **Hakimov K. Zh., Kayumov O. A. U., Eshonkulov U. H. U., Soatov B. Sh. U.** Tekhnogennye othody - perspektivnoe syr'e dlya metallurgii uzbekistana v ocenke otval'nyh hvostov fil'tracii medno-molibdenovyh rud // *Universum: tekhnicheskie nauki* [Hakimov K.Zh., Kayumov O.A.U., Eshonkulov U.H.U., Soatov B.Sh.U. Technogenic factors - a promising solution for Uzbek metallurgy in the production of

copper-molybdenum ore filtration tails // *Universum: technical sciences*]. – 2020. – № 12–1. – P. 54–59.

2 **Shumskij V. A., Kushakova L. B.** Pererabatyvat nelzya hranit // *Zhurnal «Gorno-metallurgicheskaya promyshlennost»* [Processing cannot be stored // *Journal «Mining and Metallurgical Industry»*]. – 2018. – № 8. – P. 36–39.

3 **Burdzieva O. G., Shevchenko E. V.** Ekologo-ekonomicheskie aspekty hraneniya othodov gornogo proizvodstva // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal)* [Ecological and economic aspects of storing mining waste // *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*]. – 2010. – № 8. – P. 37–42.

4 **Komogorcev B. V., Varenichev A. A.** Primenenie selektivnyh reagentov-sobiratelej v tehnologiyah flotacionnogo obogasheniya zolotosoderzhashih sulfidnyh rud // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal)* [Application of selective collecting reagents in flotation technologies for gold-containing sulfide ores // *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*]. – 2016. – № 12. – P. 231–242.

5 **Ignatkina V. A., Bocharov V. A., Puncukova B. T., Aleksejchuk D. A.** Issledovaniya selektivnosti dejstviya sochetaniya ksantogenata i ditiyofosfata s tionokarbamatom // *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh* [Research on the selectivity of the action of a combination of xanthate and dithiophosphate with thionocarbamate // *Physico-technical problems of mineral development*]. – 2010. – № 3. – P. 105–114.

6 **Ignatkina V. A., Bocharov V. A.** Shemy flotacii sulfidov cvetnyh metallov na osnove ispolzovaniya sochetaniya sobiratelej // *Gornyj zhurnal*. [Schemes for flotation of non-ferrous metal sulfides based on the use of a combination of collectors // *Mining Journal*]. – 2010. – № 12. – P. 58–64.

7 **Shekhirev D. V., Dumov A. M., Strizhko V. S.** Fenomenologicheskij smysl effektivnosti razdeleniya po hankoku-lujkenu i dopolnitel'nyj kriterij effektivnosti // *Obogashchenie rud*. [Shekhirev D.V., Dumov A.M., Strizhko V.S. Phenomenological meaning of the efficiency of separation by hankoku-luiken and an additional efficiency criterion // *Ore dressing*]. – 2010. – № 2. – P. 31–35.

8 **Chanturiya V. A., Nedosekina T. V., Gapchich A. O.** Povyshenie selektivnosti processa flotacii na osnove primeneniya novyh reagentov sobiratelej // *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh* [Increasing the selectivity of the flotation process based on the use of new collector reagents // *Physico-technical problems of mineral development*]. – 2012. – № 6. – P. 106–115.

9 **Bocharov V. A., Ignatkina V. A., Hachatryan L. S.** Problemy razdeleniya mineralnyh kompleksov pri pererabotke massivnyh upornyh rud cvetnyh metallov // *Cvetnye metally* [Problems of separation of mineral complexes during processing of massive refractory ores of non-ferrous metals // *Non-ferrous metals*]. – 2014. – № 5. – P. 16–23.



10 **Kushakova L. B., Yakovleva E. P.** Pererabotka lezhalyh hvostov obogatitelnyh fabrik Vostochnogo Kazakhstana // Gornyj zhurnal. [Processing of stale tailings from processing plants in Eastern Kazakhstan // Mining magazine]. – 2001. – № 9. – P. 57–61.

Поступило в редакцию 06.09.24.

Поступило с исправлениями 06.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

**A. P. Mambetalieva<sup>1</sup>, \*S. Sagatbek<sup>2</sup>, T. Sh. Tusupbekova<sup>3</sup>, G. K. Makasheva<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>2</sup>«ҚазГидроМедь» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

06.09.24 ж. баспаға түсті.

06.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН МЫС АЛУ

*Табиғи ресурстардың сарқылуына, қоршаған ортаның қалдықтармен ластануына және қалдықтардың үйінділерде сақталуына байланысты техногендік минералды шикізатты өңдеу бүгінгі күннің өзекті мәселесі болып табылады. Техногендік минералды шикізат жоғары экономикалық құндылыққа ие және кен орындарын игеруге айтарлықтай инвестициясыз ресурстарды көбейтудің маңызды резервтерінің бірі болып табылады. Ескірген қалдықтардың бастапқы үлгісін бастапқы кен минералдары мен металлургиялық өңдеу өнімдері қамтамасыз етті. Үлгінің материалдық құрамын зерттеу индуктивті байланысқан плазмамен (ICP-MS) масс-спектрлік талдаумен, мыстың фазалық талдауы ГОСТ 33207-2014 бойынша анықталды. Минералды құрамды зерттеу OLYMPUS BX 53 микроскопы, SIMAGIS XS-3CU бейнекамера және SIAMS Mineral C7 кескінді талдау бағдарламалық құралы арқылы жылтыратылған кесінділерде шағылысқан жарықта жүргізілді. Мақалада калий бутилксантатының комбинациясын және қосымша коллекторды пайдалана отырып, ескірген қалдықтарды байытудың селективті режимдерін әзірлеу бойынша зерттеу нәтижелері берілген. Зертханалық зерттеулер калий бутилксантатының комбинациясын және монотиофосфат негізіндегі реагентті пайдаланған кезде мыс пен күмісті жалпы флотациялық концентратқа байыту кезінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізілетінін көрсетті.*

*Кілтті сөздер: металлургия, байыту қалдықтары, қалдықтың құрамы, химиялық құрамы, фазалық талдау, байыту, реагенттер, флотация, концентрат.*

**A. R. Mambetalieva<sup>1</sup>, \*S. Sagatbek<sup>2</sup>, T. Sh. Tusupbekova<sup>3</sup>, G. K. Makasheva<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Kazhydromed LLP, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 06.09.24.

Received in revised form 06.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

### EXTRACTION OF COPPER FROM STALE ENRICHMENT TAILS

*Due to the depletion of natural resources, environmental pollution with waste and storage of waste in dumps, an urgent task today is the processing of technogenic mineral raw materials. Technogenic mineral raw materials have high economic value and are one of the most important reserves for increasing resources without significant investment in deposit development. The initial sample of stale tailings was provided by primary ore minerals and metallurgical processing products. The study of the material composition of the sample was determined by mass spectral analysis with inductively coupled plasma (ICP-MS), the phase analysis of copper was determined according to GOST 33207-2014. The study of the mineral composition was carried out in reflected light in polished sections using an OLYMPUS BX 53 microscope, a SIMAGIS XS-3CU video camera and SIAMS Mineral C7 image analysis software. The article presents the results of a study on the development of selective enrichment modes for stale tailings using a combination of potassium butyl xanthate and an additional collector. Laboratory studies have shown that when using a combination of potassium butyl xanthate and a monothiophosphate-based reagent, the greatest efficiency is achieved in the enrichment of copper and silver into the total flotation concentrate.*

*Keywords: metallurgy, stale tailings, material composition, chemical composition, phase analysis, enrichment, reagents, flotation, concentrate.*

**\*A. T. Zhakupov**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

\*e-mail: [zhakupov.a@tou.edu.kz](mailto:zhakupov.a@tou.edu.kz)ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2988-7015>**NON-DESTRUCTIVE METHOD OF IDENTIFICATION OF STEEL GRADES OF ROLLING PRODUCTS**

*This article presents the results of coercive force dependence study of on the chemical composition and geometric parameters for the purpose of identifying the steel grade in a non-destructive manner. The paper proposes to identify the steel grade by the coercive force, using a correlation with the carbon equivalent and the diameter of the rolled product. As a result of the work, the possibility of identifying steel grades by the carbon equivalent associated with the coercive force and the diameter of the product was established. The ranges of the carbon equivalent for steels St3, 18Mn2Si and 30CrMn2Si were determined. The results of the work established that the coercive force depends on the chemical composition and geometric parameters of the controlled product. Thus, the solutions proposed in this paper are of great practical importance for industrial enterprises for the purpose of steel products prompt identification. The obtained values of the carbon equivalent derived from the proposed dependence correspond to the values of the carbon equivalent calculated according to the standard GOST R 55020-2012. This method of non-destructive determination of steel grade by carbon equivalent through magnetic parameters can be applied to products made of tool and other structural steel grades.*

*Keywords: non-destructive testing, coercive force, carbon equivalent, regression, magnetic properties*

**Introduction**

A wide range of metal materials used in the production of critical parts, a variety of process routes that form physical and mechanical properties require 100% control of the range of metal products delivered to the enterprise for their identification, as well as step-by-step control of the physical and mechanical properties formed during processing [1-3]. When moving billets, parts and assembly units, it is necessary to control the compliance of material grades. For this, a non-destructive express method for identifying metal by grades is required. When testing critical parts, it is common practice to use witness samples cut from the base metal and processed together with the parts. In this case, a conclusion about the quality of the parts is made based on the results of testing the mechanical properties of these samples. In this regard, there is a need to develop a method for assessing the physical and mechanical properties of finished parts based on non-destructive testing methods [4-7].

In the practice of enterprises producing rolled products, the issue of identifying rolled products by steel grades arises. Chemical, spark or combustion methods are quite

labor-intensive, as they require sampling and stationary equipment. In this regard, the use of a non-destructive method of sorting rolled metal products by steel grades is the most acceptable [8–11].

The purpose of this work is to analyze the influence of the geometric factor and chemical composition on the value of the coercive force for the possibility of identifying rolled products by steel grades.

**Materials and methods**

The object of the study is reinforcing rolled products of various diameters (6, 8, 10, 12 and 14 mm) made of steels St3, 18Mn2Si and 30CrMn2Si. Reinforcing rolled products of class A-I are made of steel St3, 18Mn2Si is used for rolling reinforcement of classes A-II and A-III, 30CrMn2Si – for class A-IV. Table 1 shows the composition of the steels under study.

Table 1 – Chemical composition of steels

Steel	C	Mn	Cr	Mo	V	Cu	Ni
St3	0,14-0,22	0,4-0,65	≤ 0,3	-	-	≤ 0,3	≤ 0,3
18Mn2Si	0,14-0,20	1,2-1,6	≤ 0,3	-	-	≤ 0,3	≤ 0,3
30CrMn2Si	0,25-0,30	1,5-1,8	0,6-1,0	-	-	≤ 0,3	≤ 0,3

To solve the problem, a magnetic method of non-destructive testing was used. The primary informative parameter was the value of the coercive force of the metal, which was determined using a KIM-2M coercimeter. The diameter of the reinforcing bars was used as a geometric parameter, and the chemical composition was estimated by the value of the carbon equivalent, according to GOST R 55020-2012:

$$[C]_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}. \quad (1)$$

where C, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu, V – percentage of chemical elements in steel according to standard.

**Results and discussion**

In accordance with formula (1), the following values of carbon equivalent were obtained, indicated in Table 2. The percentage content of elements was taken as average.

Table 2 – Carbon equivalent of steels St3, 18Mn2Si and 30CrMn2Si

Steel	Carbon equivalent value
St3	0,41-0,48
18Mn2Si	0,61-0,64
30CrMn2Si	0,82-0,90

Then, the values of the coercive force for each steel grade and size were measured. Figure 1 shows the results of the influence of the diameter of the reinforcing bar on the value of the coercive force. It is evident that with an increase in the diameter of the

reinforcement, the value of the coercive force decreases. For rod diameters over 12 mm, the coercive force stabilizes at a certain level depending on the steel grade.

For structural steel grades, the relationship between the values of the coercive force  $H_c$ , the carbon equivalent and the diameter of the reinforcing bar  $d$  can be determined by regression analysis. As a result of processing the experimental values for the reinforcement of the studied steel grades with a diameter of 6-14 mm, the following equation was obtained:

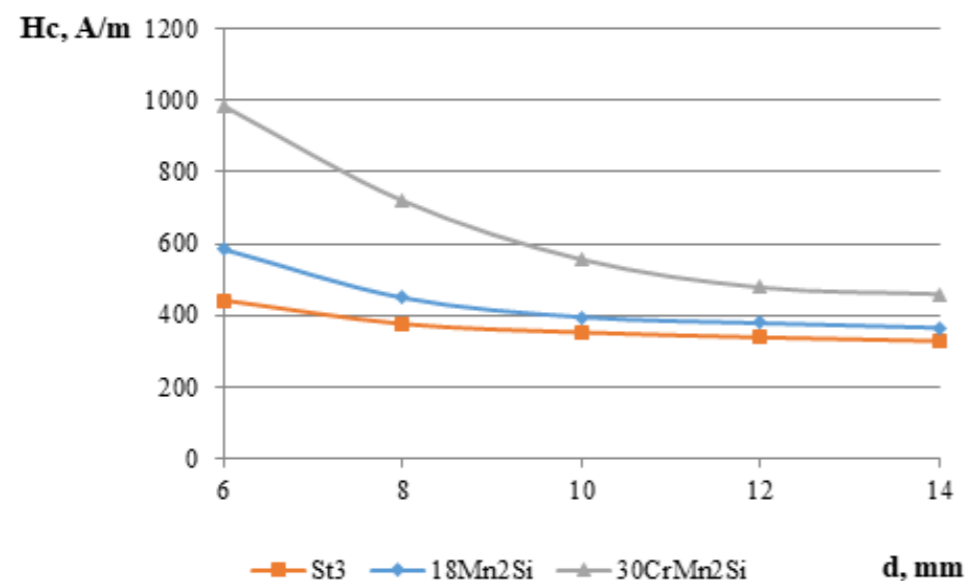


Figure 1 – Coercive force values

Thus, by measuring the coercive force of the reinforcing bar and knowing its diameter, it is possible to identify the steel grade by the obtained value of the carbon equivalent. In this case, the value obtained by dependence (2) will correspond to a certain steel grade, according to the standard GOST R 55020-2012. For example, the value equal to 0.41-0.48 will correspond to the steel grade St3, =0.61-0.64 – 18Mn2Si, and accordingly =0.82-0.90 – 30CrMn2Si.

#### Financing 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 AP13268736 – «Non-destructive method for determining the mechanical properties of steel products».

#### Conclusions

As a result of the work, a non-destructive method for identifying steel grades, in particular St3, 18Mn2Si and 30CrMn2Si, was proposed. It was found that the coercive force depends on the chemical composition and geometric parameters of the controlled product. Based on this, a regression analysis was carried out and a relationship was derived between the coercive force, product diameter and carbon equivalent. It was

determined that the value of the carbon equivalent calculated by the coercive force and product diameter, equal to 0.41-0.48, corresponds to steel grade St3, and also 0.61-0.64 – 18Mn2Si and 0.82-0.90 – 30CrMn2Si, respectively.

#### REFERENCES

- 1 Zhakupova, A., Bogomolov, A., Zhakupov, A. «Macrostructure of a hollow billet from steel 25CrV under different temperature conditions of casting» Science and Technology of Kazakhstan, 2023. – № 3, P. 197–202.
- 2 Schapova, E. A., Stashkov, A. N., Afanasyev, S. V., Nichipuruk, A. P. Magnetic properties and the structure of eutectoid steel with different pearlite morphology // The Physics of Metals and Metallography. – 8. – 2021. – P. 796–802.
- 3 Stashkov, A., Nichipuruk, A., Kuleev, V., Schapova, E. Magnetic nondestructive testing of residual stresses in low-carbon steels // Journal of Physics: Conference Series. – 1389. – 2019. – P. 012032.
- 4 Ryu, K. S., Nahm, S. H., Park, J. S. A new non-destructive method for estimating the remanent life of a turbine rotor steel by reversible magnetic permeability // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 251. – 2002. – P. 196–201.
- 5 Lee, E. W. Magnetostriction. Reports of progress in physics // The physical society. University of Southamton. – 18. – 1955. – P. 184–229.
- 6 Buttle, D. J., Moorthy, V., Shaw, B. Determination of residual stresses by magnetic methods // Measurement Good Practice Guide. – 88. – P. 56.
- 7 Rossini, N. S., Dassisti, M., Benyounis, K. Y., Olabi, A. G. Review methods of measuring residual stresses in components // Material and Design. – 35. – 2012. – P. 572 – 588.
- 8 Perevertov, O. Detection of spring steel surface decarburization by magnetic hysteresis measurements // NDT&E International – 2011. – V. 44. – P. 490–494.
- 9 Kikuchi, H. Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe // NDT&E International – 2012. – V. 46. – P. 1–6.
- 10 Langman, R. Magnetic properties of mild steel under conditions of biaxial stress // IEEE transactions on magnetics – 1990. – V. 26. – № 4. – P. 1246–1251.
- 11 Zhakupov, A., Zhakupova, A., Bogomolov, A. Dependence of electromagnetic parameters of products from steel 09g2s on their mechanical properties // Bulletin of Toraighyrov University – Energetics. series – № 3. – 2022. – P.304–312.

Received 06.09.24.

Received in revised form 06.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.



\*А. Н. Жакупов

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

06.09.24 ж. баспаға түсті.

06.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### СОРТТЫҚ ИЛЕМ БОЛАТ МАРКАЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ БҰЗБАЙТЫН ТӘСІЛІ

Бұл мақалада марканы бұзбайтын әдіспен анықтау мақсатында химиялық құрамға және геометриялық параметрлерге коэрцитивті күштің тәуелділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Жұмыста көміртегі эквивалентімен және прокат диаметрімен корреляциялық байланысты қолдана отырып, болаттың маркасын коэрцитивтік күші бойынша анықтау ұсынылады. Жұмыс нәтижесінде өнімнің коэрцитивті күші мен диаметріне байланысты көміртегі эквиваленті бойынша болат маркаларын сәйкестендіру мүмкіндігі анықталды. Ст3, 18Г2С және 30ХГ2С болаттар үшін көміртегі эквивалентінің аралықтары анықталды. Жұмыс нәтижелері бойынша коэрцитивті күш бақыланатын өнімнің химиялық құрамы мен геометриялық параметрлеріне байланысты екендігі анықталды. Осылайша, осы жұмыста ұсынылған шешімдер болат бұйымдарын жедел сәйкестендіру мақсатында өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін үлкен практикалық маңызға ие. Ұсынылған тәуелділік бойынша алынған көміртегі эквивалентінің мәндері ГОСТ Р 55020-2012 стандарты бойынша есептелген көміртегі эквивалентінің мәндеріне сәйкес келеді. Магниттік параметрлер арқылы көміртегі эквиваленті бойынша болат маркасын бұзбай анықтаудың бұл әдістемесі Болаттың аспаптық және басқа құрылымдық маркаларынан жасалған бұйымдар үшін қолданылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: бұзбайтын бақылау, коэрцитивті күш, көміртегі эквиваленті, регрессия, магниттік қасиеттер

\*А. Н. Жакупов

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г.Павлодар

Поступило в редакцию 06.09.24.

Поступило с исправлениями 06.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАРОК СТАЛИ СОРТОВОГО ПРОКАТА

В данной статье приведены результаты исследования зависимости коэрцитивной силы от химического состава и геометрических параметров, с целью идентификации марки стали неразрушающим способом. В работе предложено идентифицировать марку стали по коэрцитивной силе, применяя при этом корреляционную связь с углеродным эквивалентом и диаметром проката. В результате работы установлена возможность идентификации

марок сталей по углеродному эквиваленту, связанного с коэрцитивной силой и диаметром изделия. Определены интервалы углеродного эквивалента для сталей Ст3, 18Г2С и 30ХГ2С. Результатами работы установлено, что коэрцитивная сила зависит от химического состава и геометрических параметров контролируемого изделия. Таким образом, решения, предложенные в данной работе имеют большую практическую значимость для промышленных предприятий с целью оперативной идентификации стальных изделий. Полученные значения углеродного эквивалента выведенные по предлагаемой зависимости соответствуют значениям углеродного эквивалента, рассчитываемого по стандарту ГОСТ Р 55020-2012. Данная методика неразрушающего определения марки стали по углеродному эквиваленту через магнитные параметры может быть применена для изделий из инструментальных и других конструкционных марок сталей.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, коэрцитивная сила, углеродный эквивалент, регрессия, магнитные свойства.

\*A. T. Zhakupova

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

\*e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7392-1172>**STUDY OF THE SEAMLESS PIPES PROPERTIES OBTAINED FROM A HOLLOW BILLET**

*The article researched the influence on the pipes mechanical properties initial billet obtained by the traditional method and the proposed method, in which the piercing process is excluded. The proposed method involves casting the initial billet for the production of seamless pipes with a cavity obtained on a continuous casting machine. The production of hotrolled seamless pipes from a hollow billet is an urgent issue today, since central porosity and axial segregation after casting are excluded, affecting the quality of the pipes obtained in the subsequent stages of production: rolling on a mandrel mill and reducing. The possibility of producing seamless hot-rolled pipes from a hollow billet is substantiated, providing the necessary set of mechanical properties that are regulated by the standards GOST 632-80, GOST 633-80 and API 5CT. The result is a minimal deviation of the mechanical properties of steel samples obtained by double deformation of a hollow continuously cast billet from samples obtained according to the traditional scheme, including the piercing process.*

*Keywords: hollow billet, steel, 09Mn2Si, seamless pipe, piercing process.*

**Introduction**

At the present stage of steel production development, the most rational way to obtain steel billets for the production of seamless pipes is the continuous casting process, due to its technical and economic advantages: productivity, product yield, etc. According to GOST R 58228-2018 «Continuously cast steel billet. Methods of control and assessment of macrostructure», the macrostructure of the billets is characterized by such defects as central porosity, axial liquation, liquation stripes and cracks, as well as light stripes on a scale from 0 to 4 points.

In the axial zone of the billet, there are significant tensile stresses, which lead to the destruction of its central zone when the billet meets the nose of the piercing mill mandrel [1]. If the central zone of the billet is weakened by such defects as central porosity and axial liquation, then the probability of film formation on the inner surface of the liner increases. Films are small and tightly pressed to the inner surface of the liner, and during subsequent calibration or reduction, such films are opened [2]. Liquation stripes and cracks are formed when the temperature and speed conditions of casting the billets are violated. Internal cracks are tears that spread along the interaxial spaces of the dendritic structure, enriched with liquates and accompanied by accumulations of sulfides and phosphorus liquation. Such defects will definitely lead to the destruction of the metal

during the piercing of the billet. When piercing defective billet with liquation stripes on the outer and inner surfaces, rough films and rolled cracks are formed [3]. One of the proposed methods for eliminating defect formation is the use of a hollow billet.

Solid billets are characterized by axial segregation heterogeneity with any manufacturing methods, therefore, removing metal from the axial zone of the billet is advisable [4–6]. The authors of [7–9] propose to use a hollow continuously cast billet instead of a sleeve pierced on a cross-helical mill as the initial billet for pipe production. However, the pipe obtained by rolling from a hollow cast billet undergoes lesser degrees of deformation and in this regard, experimental researches and mechanical properties analysis of the obtained products from a hollow cast billet and a pierced sleeve are necessary [10–12].

**Materials and methods**

For the research, templates with a length of 150 mm were selected from a continuously cast billet with a diameter of 210 mm from steel grade 09Mn2Si and from a sleeve obtained after piercing from this billet. The experimental scheme is shown in Figure 1. The casting of a continuously cast billet was carried out in the electric steel melt shop of the LLP “KSP Steel”, and the billet was pierced in the pipe rolling shop of the same plant on a two-roll cross-helical mill with mushroom-shaped rolls. Upset of samples with a diameter of 30 mm and a length of 75 mm was carried out on a hydraulic press at the laboratory of S. Toraighyrov PSU to ensure a compression equal to 30%, which is similar to the total compression of the rolling process on a continuous mill and reducing on a reduction mill. Heat treatment of the upsetted samples was carried out in the furnace SNOL 7.2/1300 at the laboratory of S. Toraighyrov PSU. The mechanical properties determination of the initial billets, upsetted and heat-treated samples was carried out according to GOST 1497-84 “Metals. Tensile test methods” in the laboratory of LLP “KSP Steel”. Samples for testing were taken in the transverse T and longitudinal L directions, three units from each template, as shown in Figure 2.

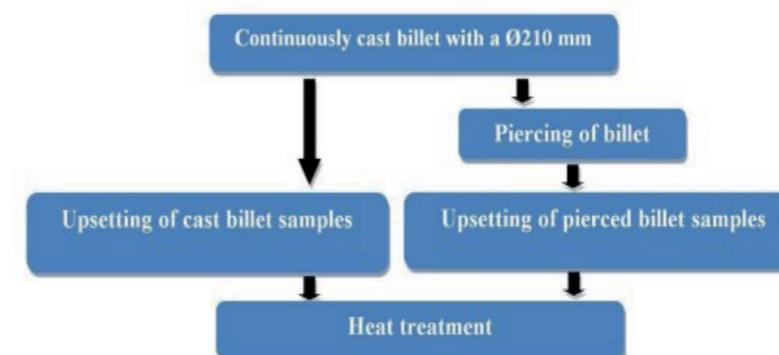
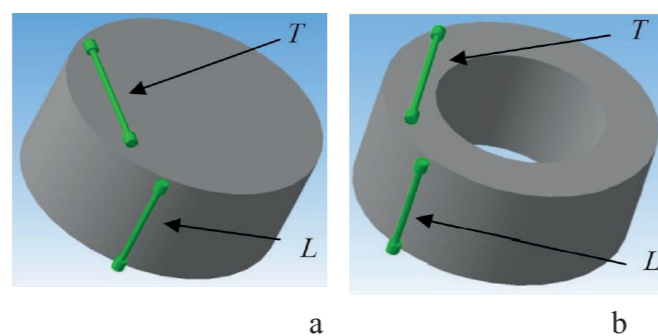


Figure 1 – Experimental scheme



L – longitudinal cut sample; T – transverse cut sample  
a – solid billet; b – hollow billet

Figure 2 – Scheme of cutting transverse and longitudinal samples for mechanical testing

**Results and discussion**

In the production of seamless hot-rolled pipes according to GOST 632-80 «Casing pipes and couplings to them», GOST 633-80 «Tubing and couplings to them» and similar foreign API 5CT «Casing and tubing» only mechanical properties are standardizing indicators, namely, tensile strength, yield strength and elongation. The initial mechanical properties and density of the cast hollow billet are similar to the properties of a solid continuously cast billet, since at this stage the product does not yet undergo deformation. In this regard, the conditional initial values of the mechanical properties of the hollow billet are taken from the test results of tensile tests of samples taken from solid continuously cast billets. Table 1 shows the test results in comparison with samples cut from a pierced sleeve [13–15].

Table 1 – The mechanical properties of the initial billets

Type of billet	Test sample	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
Cast	transverse	$\frac{437; 445; 414}{432}$	$\frac{415; 435; 368}{406}$	$\frac{6,2; 5,2; 6,4}{5,9}$
	longitudinal	$\frac{478; 455; 457}{463}$	$\frac{424; 448; 391}{421}$	$\frac{5,5; 6,9; 7,6}{6,7}$
Pierced	transverse	$\frac{596; 538; 634}{589}$	$\frac{517; 485; 504}{502}$	$\frac{9,1; 10,5; 8,1}{9,2}$
	longitudinal	$\frac{689; 666; 539}{631}$	$\frac{457; 525; 547}{510}$	$\frac{11,5; 10,5; 10,5}{10,8}$

numerator – measurement results/denominator – arithmetic mean

As can be seen from the data in table 1, the values for all indicators of the pierced billet are significantly higher than that of cast. From the standpoint of the theory of

metal forming, longitudinal rolling is now presented as a “regular upsetting”, with a continuous supply of metal under the peens. The processes of upset and longitudinal rolling are studied in detail in the works of S. I. Gubkin, I. M. Pavlov, A. I. Tselikov, Ya. M. Okhrimenko and A. A. Presnyakov [16]. On the basis of these research and work, the rolling and reducing processes were modeled by another type of metal forming – upsetting. To determine the mechanical properties after rolling and reduction processes, cylindrical samples were taken with pierced and solid cast billets. To provide 30 % compression samples 75 mm long upsetting to achieve equal 52.5 mm in length. Regarding the size of the compression, a pipe with a wall of ~ 10 mm, rolled from a sleeve with a wall thickness of 33 mm, was taken as an example, and a total compression of 30 % was achieved. Before upsetting, the samples were heated in an electric furnace to 1000 °C, providing better deformation conditions and simulating factory technological parameters. Time in the furnace at this temperature was calculated on the basis of 1.0–1.5 minutes per 1 mm section, which, respectively, for samples with a diameter of 30 mm was 30–45 minutes. After upsetting, standard specimens for testing were made from these samples. The test results are shown in table 2. Analyzing the results of table 2, it is seen that the deviation of the mechanical properties values practically decreased to 3%.

To ensure a smaller discrepancy between the values for each sample and to obtain a more accurate averaged value, all samples were heat-treated in an SNOL 7.2/1300 electric furnace. The heat treatment mode, based on the chemical composition of the steel and the resulting strength group:

- heating temperature – 880–890°C;
- heating rate ~10 °C/min;
- heating time – 1.0 min per 1 mm section;
- cooling rate ~ 100 °C/c;
- tempering temperature – 600–620 °C;
- holding time at tempering – 2.0 min per 1 mm section.

Table 2 – The mechanical properties of the upsetted samples.

Type of billet	Test sample	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
Cast	transverse	$\frac{767; 808; 789}{788}$	$\frac{643; 622; 620}{628}$	$\frac{14,3; 14,9; 14,8}{14,7}$
	longitudinal	$\frac{802; 809; 781}{797}$	$\frac{623; 635; 659}{639}$	$\frac{14,8; 14,8; 15,1}{14,9}$
Pierced	transverse	$\frac{817; 792; 799}{803}$	$\frac{625; 651; 646}{641}$	$\frac{14,9; 15,0; 14,9}{14,9}$
	longitudinal	$\frac{821; 814; 798}{811}$	$\frac{640; 635; 665}{647}$	$\frac{15,3; 15,1; 14,8}{15,1}$

numerator – measurement results/denominator – arithmetic mean



Table 3 shows the results of the final mechanical properties obtained after heat treatment.

Table 3 – Mechanical properties of heat-treated samples

Type of billet	Test sample	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
Cast	transverse	790; 801; 786 792	633; 642; 629 635	14,8; 14,9; 15,1 14,9
	longitudinal	793; 799; 794 795	636; 640; 645 640	15,5; 14,8; 15,0 15,1
Pierced	transverse	807; 793; 796 799	650; 641; 649 647	14,4; 15,3; 15,3 15,0
	longitudinal	809; 810; 797 805	651; 653; 644 649	15,0; 15,4; 15,6 15,3
GOST 632-80, GOST 633-80		not less than 689	552-758	not less than 13
API 5CT		not less than 689	552-758	not less than 13 (for a sample with a cross section of 70-80 mm <sup>2</sup> )
numerator – measurement results/denominator – arithmetic mean				

According to the results of heat treatment, the discrepancy between the values decreased, which indicates the alignment of the mechanical properties and structure along the cross section of the samples. The values of the indicators are within the permissible limits of mechanical properties according to GOST 632-80, GOST 633-80 and API 5CT, and corresponds to strength group E (according to GOST) or N80 (according to API).

#### Acknowledgements

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

The possibility of producing seamless hot-rolled pipes from a hollow billet is substantiated, providing the necessary set of mechanical properties that are regulated by the standards GOST 632-80, GOST 633-80 and API 5CT. The deviation of the mechanical properties of products obtained from cast and pierced billets is less than 3 %. The results of casting, deformation and subsequent heat treatment of the researched pipe samples correspond to the standardized indicators of the standards GOST 632-80, GOST 633-80 and API 5CT, which confirms the feasibility of producing pipes from a hollow billet, considering improving the quality of the structure.

## REFERENCES

- Zhakupova, A., Bogomolov, A., Zhakupov, A.** «Macrostructure of a hollow billet from steel 25crv under different temperature conditions of casting» Science and Technology of Kazakhstan, 2023, № 3, P. 197–202.
- Choudhary, S.** «Influence of Modified Casting Practice on Steel Cleanliness» ISIJ Int., vol. 51(4), P. 557–565, 2011. – <https://doi.org/10.2355/isijinternational.51.557>.
- Kobayashi, M., Isobe, K., Arai, M.** «Technical progress in steelmaking and casting for special bar and wire steel at Muroran work» Nippon Steel Technical Report, 2012. Vol. 394, P. 119–124.
- Rogberg, B.** «Influence of Soft Reduction on the Liquid Flow Velocity and Pore Formation in the Mushy Zone», In The 2nd ISIJ-VDEh-Jernkontoret Joint Symposium, p. 12–13, 2017.
- Smirnov, Y., Sklyar, V.** «Development of the method prevention of internal cracks in process of soft reduction continuously cast blooms», METAL 2010 – 19th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, 2010.
- Dauby, P., Kunstreich, S.** «Application of micro-refrigerators as the active element on the crystallization of metal», ISS Tech, P. 491–504, 2003.
- Nakashima, J., Kiyose, A., Ohtani, Y., Fukuda, J., Kawase, T., Doki, M.** «Micro-refrigerators», Nippon Steel Technical Report, 2002. – Vol. 86, P. 68–73.
- Thome, R., Harste, K.** «Principles of billet soft-reduction and consequences for continuous casting», Isij International, 2006. – Vol. 46(12), P. 1839–1844. – <https://doi.org/10.2355/isijinternational.46.1839>.
- Zhakupov, A., Bogomolov, A., Zhakupova, A., Abdulina, S., Salina, V.** «Determination of technological parameters for continuous casting of a hollow pipe billet», Metalurgija, Vol. 60(3-4), P. 329–331. – 2021. – <https://hrcak.srce.hr/clanak/372265>.
- Yong, T., Hackl, G., Nitzl, G.** «Optimization of submerged entry nozzles to improve steel cleanliness and productivity», Proceedings of 8th European Continuous Casting Conf., Graz, Austria, 2014. – P. 487–497
- Shen, M., Zang, Z., Shu, K.** «Mathematics simulation and experiments of continuous casting with strip feeding in mold», Metalurgija, Vol. 56(3-4), P. 315–318, 2017, <https://hrcak.srce.hr/file/266727>.
- Popa, E., Mihu, G., Alexa, V.** «Simulation Tendencies in the Continuously Cast Half-products Area», Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering, 2010. Vol. 1(III), P. 95–102.
- Ardelean, E., Lascutoni, A., Ardelean, M., Socalici, A., Heput, T.** «Simulation of solidification process for billet with  $\phi 350$ mm section, continuous casted», IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 106(1), article 012034, 2016, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/106/1/012034>.
- Li, D., Su, Z., Chen, J., Wang, Q., Yang, Y., Nakajima, K., He, J.** «Effects of electromagnetic swirling flow in submerged entry nozzle on square billet continuous

casting of steel process», ISIJ international, vol. 53(7), pp. 1187–1194, 2013, doi:10.2355/isijinternational.53.1187.

15 **Stulov, V.** «Temperature Differences in the Mold of a Continuous-Casting Machine with a New Cooling System» Steel Transl., vol. 48, pp. 78–81, 2018, doi: 10.3103/S0967091218020134.

16 **Carlson, K., Beckermann, C.** “Prediction of shrinkage pore volume fraction using a dimensionless Niyama criterion,” Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 40, pp. 163–175, 2009, doi: 10.1007/s11661-008-9715-y.

Received 09.09.24.

Received in revised form 09.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

**\*А. Т. Жақупова**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
09.09.24 ж. баспаға түсті.

09.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### ҚУЫС ДАЙЫНДАМАДАН АЛЫНҒАН ЖІКСІЗ ҚҰБЫРЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Мақалада дәстүрлі түрде алынған бастапқы дайындаманың құбырларының механикалық қасиеттеріне әсері және тесу процесі алынып тасталатын ұсынылған әдіс зерттелген. Ұсынылған әдіс дайындамаларды үздіксіз құю машинасында алынған қуысы бар жіксіз құбырларды өндіру үшін бастапқы дайындаманы құюды қамтиды. Қуыс дайындамадан ыстықтай илемделген жіксіз құбырларды өндіру бүгінгі таңда өзекті мәселе болып табылады, өйткені құюдан кейінгі орталық кеуектілік пен осьтік ликвация жою алынып тасталады, бұл өндірістің келесі кезеңдерінде алынған құбырлардың сапасына әсер етеді: илемдеу орнағында және редуциялау. МемСТ 632-80, МемСТ 633-80 және API 5CT стандарттарымен реттелетін механикалық қасиеттердің қажетті кешенін қамтамасыз ететін қуыс дайындамадан жіксіз ыстықтай илемделген құбырларды өндіру мүмкіндігі негізделген. Нәтиже-қуыс үздіксіз құйма дайындамасының екі рет деформациясы нәтижесінде алынған болат үлгілерінің механикалық қасиеттерінің тесу процесін қамтитын дәстүрлі схема бойынша алынған үлгілерден минималды ауытқуы.*

*Кілтті сөздер: қуыс дайындама, болат, 09Г2С, жіксіз құбыр, тесу процесі*

**\*А. Т. Жақупова**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 09.09.24.

Поступило с исправлениями 09.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕСШОВНЫХ ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ

*В статье исследовано влияние на механические свойства труб исходной заготовки, полученной традиционным способом, и предлагаемым способом, в котором исключен процесс прошивки. Предлагаемый способ предполагает литье исходной заготовки для производства бесшовных труб с полостью, полученной на машине непрерывного литья заготовок. Производство горячекатаных бесшовных труб из полой заготовки является актуальным вопросом на сегодняшний день, так как исключаются центральная пористость и осевая ликвация после разливки, влияющие на качество получаемых труб при последующих стадиях производства: прокатке на раскатном стане и редуцировании. Обоснована возможность производства бесшовных горячекатаных труб из полой заготовки, обеспечивающих необходимый комплекс механических свойств, которые регламентируются стандартами ГОСТ 632-80, ГОСТ 633-80 и API 5CT. Результатом является минимальное отклонение механических свойств образцов стали, полученных двукратной деформацией полой непрерывнолитой заготовки, от образцов, полученных по традиционной схеме, включающей процесс прошивки.*

*Ключевые слова: полая заготовка, сталь, 09Г2С, бесшовная труба, процесс прошивки*

**Е. Б. Тажиева<sup>1</sup>, \* Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. А. Аргын<sup>3</sup>,  
Ю. Б. Ичева<sup>4</sup>, Н. К. Досмухамедов<sup>5</sup>**

<sup>1,5</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2,3,4</sup>Жезказганский университет имени О. Байконурова,  
Республика Казахстан, г. Жезказган

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

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5008-2866>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-9772>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОГО ФЕРРОМАРГАНЦА**

*В работе проведены укрупненно-лабораторные испытания и показаны результаты по высокотемпературной восстановительной плавке металлизированных окатышей, который представляет заключительную стадию разрабатываемой новой комплексной безотходной технологии переработки мелкодисперсных марганцевых отходов, получаемых от обогащения руды на Джебдинском ГОКе. В работе акцент сделан на заключительной стадии технологии – получении ферросплавов, в частности ферромарганца, путем восстановления металлизированных окатышей в электропечи, минуя традиционные процессы науглероживания металла и образования чугуна.*

*Установлены оптимальные технологические параметры процесса: скорость нагрева печи – 40 °С/мин.; температура плавки – 1650 °С; продолжительность плавки – 2 ч., которые обеспечивают получение высококачественного ферромарганца с низким содержанием углерода (1,25 %). Полученные результаты химического состава ферромарганца свидетельствуют о высоком качестве и показывают его востребованность для легирования стали.*

*Установлено, что выход ферромарганца составил ~40 % от загрузки. При этом получен сплав высокого качества, % масс.: 38,5 Fe, 54,44 Mn, 1,25 C. На основании положительных результатов исследований сформулирована общая концепция и разработана технологическая схема новой высокоэффективной энергосберегающей технологии, направленной на переработку различного по типу и составу марганец-, хромсодержащего техногенного сырья с получением ферросплавов высокого качества.*

*Ключевые слова: отходы, плавка, окатыши, ферромарганец, переработка, технологическая схема.*

### **Введение**

Ферросплавная промышленность Казахстана с мощностью 1,4 млн. т в год занимает заметные позиции в мировом производстве ферросплавов и продолжает динамично развиваться. Для получения ферросплавов используют богатые мономинеральные концентраты (хромовые, марганцевые и др.), запасы которых с каждым годом истощаются. Увеличение производства стали (прогнозируемое мировое производство которого достигает 2 млрд. т в год [1]), повышает спрос на богатые руды и концентраты, объемы которых продолжают неуклонно расти. Истощение и деградация богатых руд создает глобальную тенденцию к увеличению стоимости производства базовых ферросплавов [2].

При сортировке исходного окускованного сырья образуются мелкие отходы, которые не могут быть возвращены к переработке традиционными технологическими процессами. Подготовка к окускованию мелких отходов сопровождается определенными издержками. Возвращение их в традиционный технологический цикл возможно постольку, поскольку они поддаются окускованию с максимально низкими издержками подготовки.

Наиболее распространенный способ окускования мелких рудных материалов, концентратов, а также мелкодисперсных отходов от обогащения руд – агломерация, которая реализуется при температуре 1450 °С [3, 4]. Обычные агломерационные машины такие температуры не выдерживают. Сегодня агломерация не представляется эффективным, как с точки зрения технологии, так и с экологической стороны. Второй широко используемый способ подготовки мелкодисперсного материала к переработке – окускование путем организации производства окатышей. Процесс требует значительных издержек: измельчения мелких отходов до дисперсного состояния, расход связующих материалов, использование дополнительного оборудования [5].

Перечисленные недостатки сдерживают переработку не только мелких рудных материалов и концентратов, но и мелкодисперсных отходов, накопленные объемы которых определяют критический их уровень. На самом крупном предприятии Казахстана по добыче и переработке хромового сырья – Донском горно-обогатительном комбинате, с начала 70-х годов прошлого столетия от обогащения хромовых руд накоплено ~15 млн. т отходов. Предприятие является основным поставщиком сырья для производства феррохрома и обеспечивает годовой выпуск хромовой руды ~20% от общего мирового уровня производства [6]. Рост производства и потребления феррохрома усиливает необходимость наращивания переработки богатых хромовых руд. Однако при этом, ввиду отсутствия рациональной технологии переработки мелкодисперсных отходов от обогащения руд, они продолжают накапливаться в геометрической прогрессии. Аналогичная ситуация наблюдается и на Джебдинском ГОКе, где накоплены большие объемы марганцевых отходов. Сегодня указанные проблемы представляют критическую проблему из-за негативного воздействия хрома и марганца на грунтовые воды, водную флору и окружающую среду [7, 8, 9].



На сегодняшний день в Казахстане не отработаны моральный и экономический стимулы у предприятий для ведения отдельной переработки марганец-, хромсодержащих отходов и не актуализировано экологическое сознание. Совершенно не развита система рынка вторичного сырья, которая могла бы оживить развитие «зеленых технологий» по переработке вторичного сырья. Не ведется государственный статистический учет объемов истинного накопления, переработки и утилизации вторичных материальных ресурсов, т.е. не реализуется эффективная система учета и отчетности о деятельности по обращению с получаемыми на предприятиях некондиционных полупродуктов и техногенных отходов, к которым можно отнести марганцевые и хромовые отходы от обогащения соответствующих руд.

В целом, в Казахстане должна быть развита политика государства четкого учета и регулирования полупродуктов и техногенных отходов предприятий. Должна быть сформирована единая политика в этой сфере. Все начинания по данной проблеме находятся в зачаточном состоянии, хотя в мировой практике активное развитие получают новые доступные технологии (НДТ), которые в рамках циркулярной экономики успешно функционируют в развитых странах.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что без руководства определёнными принципами и механизмами, без соответствующей нормативно-законодательной базы, невозможно достижение определенных успехов в области рационального управления техногенными отходами, к коим можно отнести марганцевые и хромовые отходы, образующиеся на предприятиях черной металлургии Казахстана. Основная проблема – это отсутствие единых научно-обоснованных подходов к системе экономики процесса обращения с твердыми техногенными отходами, а также отраслевой экономики в данной области.

Цель настоящей работы – переосмыслить концепцию управления марганец-, хромсодержащих отходов в контексте перехода к циркулярной экономике и показать возможность новой высокоэффективной технологии их переработки.

Разработанная технология направлена на расширение экономического, социального развития и охрану окружающей среды, которые являются тремя взаимосвязанными и подпирющими друг друга основами устойчивого развития общества. Предложенные комплексные решения направлены, в первую очередь, на использование марганец-, хромсодержащих отходов в качестве дополнительного источника сырья для производства ферросплавов высокого качества.

Концепт разработанной технологии включает поэтапное решение задач:

(1) подготовку комплексной смеси (моношихты) регулируемого состава на основе марганецсодержащих отходов и приготовление из нее окатышей;

(2) получение металлизированных марганцевых окатышей заданного состава путем низкотемпературного обжига предварительно приготовленных окатышей;

(3) восстановление металлизированных окатышей в электропечи до ферросплавов, минуя традиционные процессы науглероживания металла и образования чугуна.

Вопросы подготовки моношихты регулируемого состава (1) на основе марганецсодержащих отходов и гранулированных окатышей, а также получения металлизированных марганцевых и хромовых окатышей заданного состава путем низкотемпературного обжига (2) подробно освещены в работах [10, 11].

В данной работе акцент сделан на заключительной стадии технологии – получении ферросплавов (3), в частности ферромарганца, путем восстановления металлизированных окатышей в электропечи, минуя традиционные процессы науглероживания металла и образования чугуна.

#### Материалы и методы исследования

Материалы. Для лабораторных опытов использованы металлизированные марганцевые окатыши, полученные путем предварительного обжига гранулированных окатышей [11].

Химический состав металлизированных марганцевых окатышей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металлизированных марганцевых окатышей

Компоненты	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>Mc</sub>	Mn <sub>Mc</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	C	Пр.
Содержание, %	23,67	23,2	0,70	28,47	28,4	3,7	0,48	5,0	13,62

Методы исследования. Основным методологическим принципом технологии является теоретическое описание металлургических процессов, протекающих в условиях высокотемпературной восстановительной плавки (1600 °С) металлизированных по железу марганцевых гранулированных окатышей с получением ферромарганца высокого качества.

Ключевым ядром технологии является единая методика расчета и подготовки исходной шихты заданного состава, обеспечивающая надежное определение количественных соотношений формирующихся фаз: твердых металлизированных окатышей в условиях обжига, и жидких – шлака, ферросплавов получаемых при дальнейшей восстановительной плавке металлизированных окатышей.

Элементные составы исходных компонентов шихты и полученных продуктов определяли с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700 Series ICP-MS (США), методом оптической эмиссионной спектроскопии (Optima 2000 DV с индукционно-связанной плазмой фирмы «Perkin Elmer SCIEX»), гравиметрическим и химический методы анализа.

Рентгенофазовый анализ проб проводили с использованием прибора D8 Advance (Bruker AXS GmbH),  $\alpha$ -Cu, напряжение на рентгеновской трубке 40/40. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз осуществляли с помощью программы Search/match с использованием Базы данных карточек ASTM. Ошибка полуколичественного анализа  $\pm 5\%$ .

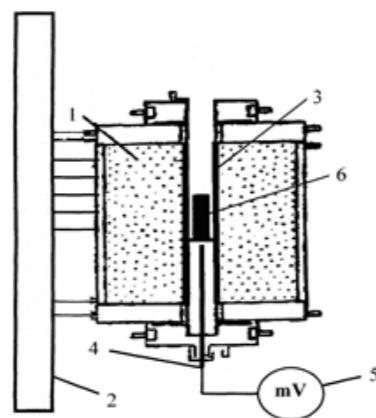
Кристаллооптические анализы проб проводили с использованием растрового электронного микроскопа и микроскопов Olympus BX-51 и Leica DM2500.

Результаты вещественного состава исходных материалов, составляющих основу гранулированной моношихты, а также формы нахождения марганца в отходах от обогащения марганцевых руд подробно изложены в работах [10, 11].

#### Экспериментальная часть

Схема лабораторной установки и методика проведения опытов

Восстановительную плавку металлизированных марганцевых окатышей проводили в печи Таммана при температуре 1600 °С. Схема лабораторной установки показана на рис.1.



- 1 – печь сопротивления с графитовой трубкой; 2 – силовой трансформатор;  
3 – графитовая трубка; 4 – термопара ВР 5/20;  
5 – милливольтметр МР-64-02; 6 – огнеупорные стаканы с навеской

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для восстановительной плавки металлизированных марганцевых окатышей

Основные узлы установки: печь сопротивления с графитовой трубкой; силовой трансформатор. Потребляемая мощность печи – 40 кВт, подаваемое напряжение к трансформатору печи – 380 В, максимальное напряжение на шинах печи – 15 В, максимально допустимая температура 1800 °С, время разогрева до максимальной температуры – 30 минут. Регулирование температуры в печи производится плавно при помощи тиристорного регулятора напряжения, который включен в первичную обмотку силового трансформатора.

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Образцы полученных металлизированных окатышей помещали в огнеупорный стакан 6 и загружали внутрь графитовой трубки 3, которая располагалась в плавильной печи Таммана 1. Опыты проводились в инертной атмосфере аргона. Нагрев печи осуществлялся с помощью силового трансформатора 2. Контроль и регулирование температуры в печи проводили с помощью вольфрам-рениевой термопары 4 марки ВР 5/20 в соответствии с ГОСТ 3044-84 и милливольтметр 5 модели МР-64-02. Скорость температуры нагрева составляла 20 °С/мин. Опыты проводили при температуре

1600 °С, которая обеспечивала довосстановление трудно восстанавливаемых низших оксидов марганца до металлического их состояния.

Общая навеска во всех опытах была постоянной и составляла – 100 г. Каждый окатыш был проплавлен по отдельности при температуре 1600 °С. Продолжительность опыта – 60 мин.

Результаты предварительных опытов показали, что продолжительности плавки 60 минут недостаточно для формирования продуктов плавки (шлак, ферромарганец) и четкого их разделения. В составе полученных шлаков оставалось до 3 % свободного кварца. Это свидетельствует о том, что времени плавки, равной 60 мин., не хватает для полного взаимодействия кварца с добавляемым известковым флюсом. В результате формирования шлаковой фазы однородного состава не происходит. Исходя из этого все дальнейшие опыты проведены при продолжительности 90 мин.

При установленных технологических параметрах каждый опыт повторяли три раза на воспроизводимость. За конечный результат принимали данные только тех опытов, которые показали хорошую согласованность между собой, с погрешностью +/-2 %. Полученные продукты плавки после опытов взвешивались и подвергались химическому анализу.

Схема установки и методика проведения укрупнено-лабораторных опытов

Испытания проведены на высокотемпературной поворотной индукционной печи СЧВ 45АВ мощностью 45 кВт. Емкость печи – 18 кг выплавляемого металла. Производительность печи соответствует режиму работы полупромышленного агрегата такого типа. Общий вид печи показан на рис.2.

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Предварительно приготовленные металлизированные окатыши, в количестве 10 кг, подвергали восстановительной плавке при высокой температуре. Окатыши загружали в рабочую камеру печи, и начинали ее нагрев до заданной температуры – 1650 °С. Плавку при заданной температуре проводили в течение 2-х часов. По истечении необходимого времени печь наклоняли и выпускали в начале шлак, затем – сплав. Продукты плавки взвешивали и подвергали химическому анализу. Были проведены три параллельных опыта на воспроизводимость с целью получения достоверных результатов. Полученные результаты показали хорошую сходимость по выходу продуктов плавки и их химическим составам.



Рисунок 2 – Общий вид индукционной печи СЧВ 45АВ

### Результаты и их обсуждение

Лабораторные опыты по восстановительной плавке металлизированных окатышей с получением ферромарганца

Металлизированные марганцевые окатыши были подвергнуты восстановительной плавке с использованием установки, показанной на рис.1 и методике описанной выше.

В результате проведенных плавок получен следующий выход продуктов, %: ферромарганец - 41,7; шлак - 53,32; пыль - 4,98. Усредненные составы продуктов плавки показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Усредненный материальный баланс плавки марганцевых окатышей

Продукты	Содержание, % масс.						
	Fe	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	C	Прочие
Ферромарганец	40,6	53,5	1,2	-	-	1,25	3,5
Шлак	12,46	0,7	52,0	6,90	0,89	0,04	26,96
Пыль	1,9	1,4	3,42	0,37	0,10	89,62	3,22

Достигнуто высокое содержание марганца в полученном ферромарганце 53,46% при остаточном содержании углерода в нем 1,25 %. Результаты химического состава ферромарганца свидетельствуют о высоком качестве и показывают его востребованность для легирования стали.

Полученные результаты позволили определить оптимальные технологические параметры высокотемпературной восстановительной плавки металлизированных окатышей, обеспечивающие получение ферромарганца высокого качества: температура плавки – 1600 °С, скорость нагрева печи – 20 °С/мин., продолжительность плавки – 90 мин. Установленные технологические параметры были приняты за основу при проведении укрупненно-лабораторных опытов по плавке металлизированных окатышей.

Укрупненно-лабораторные опыты по переработке марганецсодержащих отходов с получением товарного ферромарганца

Разработка новой и высокоэффективной технологии металлургической переработки металлизированных марганцевых окатышей нуждается в проведении экспериментальных исследований на укрупненно-лабораторной установке, позволяющей получить результаты, близкие к производственным.

Испытания проводили с металлизированными марганцевыми окатышами, химические составы которых приведены в табл.1. Идентичность составов окатышей позволяет провести сравнительный анализ полученных результатов с лабораторными опытами, и оптимизировать технологические параметры процесса плавки окатышей, применительно к условиям, близким к производственной практике.

Общее количество переработанного марганцевого металлизированного продукта составило ~10 кг. Скорость нагрева печи – 40 °С/мин.

С целью обеспечения высоких скоростей взаимодействия оксидов металлов с твердым углеродом было принято решение проводить плавку при температуре 1650 °С. Для лучшего разделения продуктов плавки – шлака и сплава, продолжительность процесса выбрана равной 2 ч.

Выход продуктов плавки составил, %: ферромарганец - 39,7; шлак - 54,1; пыль - 6,2. Усредненные химические составы продуктов плавки показан в табл.3.

Таблица 3 – Усредненный материальный баланс плавки марганцевых окатышей

Продукты	Содержание, % масс.						
	Fe	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	C	Прочие
Ферромарганец	38,5	54,44	1,21	-	-	1,25	4,6
Шлак	15,15	1,81	50,82	6,76	0,88	0,45	24,13
Пыль	3,1	2,57	6,87	0,66	0,10	68,69	18,06

Качество полученного ферромарганца намного превышает качество сплава, получаемого по традиционной технологии, где высокое содержание углерода (более 5 %) в них, требует проведения дополнительной, высоко затратной операции рафинирования.

Шлак с высоким содержанием марганца (~2%) направляется на доработку, пыль - в оборот, на плавку.

Полученные результаты по выходу и составу продуктов плавки показывают хорошую согласованность с данными лабораторных исследований. На основании проведенных плавок и положительных результатов установлены окончательные оптимальные технологические параметры процесса: скорость нагрева печи – 40 °С/мин.; температура плавки – 1650 °С; продолжительность плавки – 2 ч.

Проведенные укрупненно-лабораторные испытания и полученные положительные результаты по высокотемпературной восстановительной плавке металлизированных окатышей представляют заключительную стадию разрабатываемой новой комплексной безотходной технологии переработки



мелкодисперсных марганцевых отходов, получаемых от обогащения руды на Джездинском ГОКе.

На основании полученных результатов исследований разработана технологическая схема новой, высокоэффективной энергосберегающей технологии (рис.3), направленной на переработку различного по типу и составу марганец-, хромсодержащего техногенного сырья с получением ферросплавов высокого качества.

В отличие от традиционной технологии в предложенной разработке предусмотрена оригинальная методика подготовки шихты из накопленных марганцевых мелкодисперсных отходов. При этом, если хромовые отходы имеют такой же химический состав, как кондиционная хромовая руда, то марганцевые отходы, ввиду низкого содержания в них марганца, требуют предварительной операции по их обогащению.

В проведенных нами исследованиях основу моношихты составили накопленные мелкодисперсные отходы от обогащения марганцевых руд. Разрабатываемая технология получения ферромарганца включает подготовку моношихты с введением в ее состав дозированного количества угля для восстановления извлекаемых металлов (железа и марганца) в зависимости от концентрации их оксидов в исходном сырье, а также прокатной окалины, позволяющей повысить содержание железа в шихте. После перемешивания и измельчения, шихта подвергается обжигу с целью ее металлизации и гранулирования с получением металлизированных окатышей. Полученные окатыши подвергаются дальнейшей восстановительной плавке с получением ферросплавов.

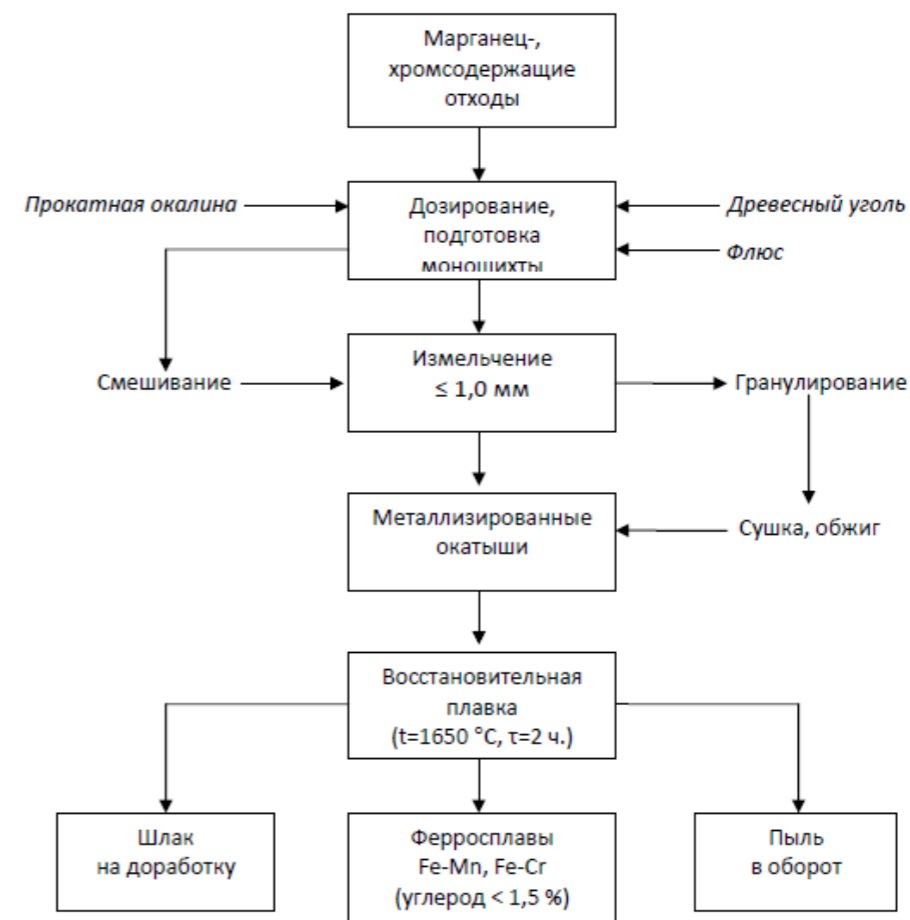


Рисунок 3 – Технологическая схема переработки отходов обогащения марганцевых руд с получением товарного ферромарганца

Положительные результаты теоретических и экспериментальных исследований полностью подтверждают возможность получения высококачественных ферросплавов с низким содержанием углерода (не более 2 %), что исключает проведение дополнительной операции по их рафинированию.

Перспективы дальнейших исследований связаны с продолжением анализа проблем накопления марганец-, хромсодержащих отходов и поиска путей их рационального решения на основе «зеленых технологий».

Значимость технологии заключается в решении двух ключевых проблем – экологической и технологической. Решение первой проблемы – вовлечение в переработку марганец-, хромсодержащих отходов, получаемых от обогащения соответствующих руд; снижение нагрузки на окружающую среду за счет вывода токсичных веществ, высвобождение больших территорий. Решение второй проблемы – расширение ассортимента выпуска ферросплавов высокого качества за счет комплексного извлечения марганца и хрома.

Предлагаемая к разработке технология может стать альтернативой для производства ферросплавов и представляет большой интерес для Донского и Джездинского ГОКов.

#### Выводы

Проведены укрупненно-лабораторные испытания и получены положительные результаты по высокотемпературной восстановительной плавке металлизированных окатышей, представляющие заключительную стадию общей разрабатываемой технологии.

Установлены оптимальные технологические параметры процесса: скорость нагрева печи – 40 °С/мин.; температура плавки – 1650 °С; продолжительность плавки – 2 ч., которые обеспечивают получение высококачественного ферромарганца с низким содержанием углерода (1,25 %), что исключает необходимость проведения дополнительной операции рафинирования.

Выход ферромарганца составил ~40 % от загрузки. При этом получен сплав высокого качества, % масс.: 38,5 Fe, 54,44 Mn, 1,25 C. На основании положительных результатов исследований сформулирована общая концепция и разработана технологическая схема новой высокоэффективной энергосберегающей технологии, направленной на переработку различного по типу и составу марганец-, хромсодержащего техногенного сырья с получением ферросплавов высокого качества.

#### Источник финансирования

Исследования проводились в рамках грантового финансирования молодых ученых Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2023-2025 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта AP19576391 «Разработка инновационной технологии получения новых сплавов из накопленных некондиционных многокомпонентных хром-, марганец содержащих отходов с применением Big Data».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Мировое производство стали все-таки растет. – 25.03.2024. – [Электронный ресурс]. – [www.metalinfo.ru](http://www.metalinfo.ru). Дата обращения: 22.07.2024.

2 Павлов, А. В., Островский, Д. Я., Аксенова, В. В., Бишенов, С. А. Текущее состояние производства ферросплавов в России и странах СНГ. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2020. – Том 63. – № 8. – С. 600–605.

3 Патент RU №2298046, C22C33/04. Оpubл. 20.02.2007. Способ выплавки углеродистого ферромарганца. Козлов Г. С., Хисамутдинов Н. Е., Шаталов С. В.

4 Патент RU 2167952, МПК C22C33/04, C22B5/10. Оpubл. 27.05.2001, Способ получения феррохрома из бедных железосодержащих хромовых руд. Вдовин Д. К., Вдовин К. Н., Бигеев А. М., Танклевская Н. М.

5 Калиакпаров, А. Г., Суслов, А. В., Билялов, К. С., Куландин, М. П. Утилизация отходов ферросплавного производства // Экология и промышленность России. – 2015. – № 2. – С. 4–7.

6 Каренов, Р. С. Проблемы становления рынка черных металлов в Казахстане // Вестник КазГУ, Сер. Экономика. – 2007. – № 4(48). – С. 9–25.

7 Matveeva, V. A., Alekseenko, A. V., Karthe, D., Puzanov, A. V. Manganese Pollution in Mining-Influenced Rivers and Lakes: Current State and Forecast under Climate Change in the Russian Arctic. – Water. – 2022. – Vol.14. – № 1091.

8 Monaci, F., Ancora, S., Bianchi, N., Paoli, L., Loppi, S. Combined use of native and transplanted moss for post-mining characterization of metal(loid) river contamination. Sci. Total Environ. – 2021. – Vol.750. – № 141669.

9 Kim, Y. Geochemical Behavior of Potentially Toxic Elements in Riverbank-Deposited Weathered Tailings and Their Environmental Effects: Weathering of Pyrite and Manganese Pyroxene, – Minerals. – 2020. – Vol.10. – № 413.

10 Тажиев, Е. Б., Жолдасбай, Е. Е., Аргын, А. А., Койшина, Г. М. Подготовка моношихты на основе марганцевых отходов для получения ферромарганца: расчет расхода углерода. Горный журнал Казахстана. – 2023. – № 8(220). – С. 53–62.

11 Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Tazhiev, E. B., Argyn, A. A. On the problem of processing of manganese wastes from ore beneficiation: preparation of a single-component charge for ferromanganese melting. CIS Iron and Steel Review. – 2024. – Vol. 27, P. 9–14.

#### REFERENCES

1 Mirovye proizvodstvo stali vse-taki rastet. 25.03.2024. – [Global steel production is still growing. 25.03.2024. – [Electronic resource]. – [www.metalinfo.ru](http://www.metalinfo.ru). Date of access: 22.07.2024.]

2 Pavlov, A. V., Ostrovskij, D. Ya., Aksenova, V. V., Bishenov, S. A. Tekushhee sostoyanie proizvodstva ferrosplavov v rossii i stranax sng. Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Chernaya metallurgiya. [Current state of ferroalloy production in Russia and the CIS countries. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy], 2020. – Vol. 63. – № 8. – P. 600–605

3 Patent RU №2298046, C22C33/04. Opubl. 20.02.2007. Sposob vy`plavki uglerodistogo ferromargancza. Kozlov G. S., Xisamutdinov N. E., Shatalov S. V. [Patent RU No. 2298046, C22C33 / 04. Published. 20.02.2007. Method for smelting carbon ferromanganese. Kozlov G. S, Khisamutdinov N. E., Shatalov S. V.]

4 Patent RU 2167952, МПК C22C33/04, C22B5/10. Opubl. 27.05.2001, Sposob polucheniya ferroxroma iz bedny`x zhelezosoderzhashhix xromovy`x rud. Vdovin D. K., Vdovin K. N., Bigeev A. M., Tanklevskaya N. M. [Patent RU 2167952, IPC C22C33/04, C22B5/10. Published 27.05.2001, Method for producing ferrochrome from poor iron-containing chromium ores. Vdovin D. K., Vdovin K. N., Bigeev A. M., Tanklevskaya N. M.]

5 **Kaliakparov, A. G., Suslov, A. V., Bilyalov, K. S., Kulandin, M. P.** Utilizaciya otxodov ferrosplavnogo proizvodstva [Utilization of ferroalloy production waste] // Ecology and Industry of Russia. – 2015. – № 2. – P. 4–7.

6 **Karenov, R. S.** Problemy` stanovleniya ry`nka cherny`x metallov v Kazaxstane [Problems of formation of the ferrous metals market in Kazakhstan] // Bulletin of KarSU. Series. Economy, 2007. – № 4(48). – P. 9–25.

7 **Matveeva, V. A., Alekseenko, A. V., Karthe, D., Puzanov, A. V.** Manganese Pollution in Mining-Influenced Rivers and Lakes: Current State and Forecast under Climate Change in the Russian Arctic. Water, 2022. – Vol. 14, № 1091.

8 **Monaci, F., Ancora, S., Bianchi, N., Paoli, L., Loppi, S.** Combined use of native and transplanted moss for post-mining characterization of metal(loid) river contamination. Sci. Total Environ, 2021. – Vol. 750. – № 141669.

9 **Kim, Y.** Geochemical Behavior of Potentially Toxic Elements in Riverbank-Deposited Weathered Tailings and Their Environmental Effects: Weathering of Pyrite and Manganese Pyroxene. Minerals, 2020. – Vol.10, № 413.

10 **Tazhiev, E. B., Zholdasbaj, E. E., Argy`n, A. A., Kojshina, G. M.** Podgotovka monoshixty` na osnove margancevy`x otxodov dlya polucheniya ferromarganca: raschet rasxoda ugleroda. [Preparation of mono-batch based on manganese waste for obtaining ferromanganese: calculation of carbon consumption]. Mining Journal of Kazakhstan, 2023. – № 8(220), P. 53–62.

12 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Tazhiev, E. B., Argy`n, A. A.** On the problem of processing of manganese wastes from ore beneficiation: preparation of a single-component charge for ferromanganese melting. CIS Iron and Steel Review, 2024. – Vol. 27. – P. 9–14.

Поступило в редакцию 25.07.24.

Поступило с исправлениями 15.08.24.

Принято в печать 23.08.2024.

**Е. Б. Тажиева<sup>1</sup>, \* Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. А. Аргын<sup>2</sup>,**

**Ю. Б. Ичева<sup>2</sup>, Н. К. Досмухамедов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>2</sup>Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Қазақстан Республикасы, Жезқазған қ.

25.07.24 ж. баспаға түсті.

15.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

23.08.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### ТАУАРЛЫҚ ФЕРРОМАРГАНЕЦ АЛА ОТЫРЫП МАРГАНЕЦ КЕНДЕРІН БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫН ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

*Жұмыста іріленген-зертханалық сынақтар жүргізілді және металдандырылған түйіршіктерді жоғары температурада тотықсыздандырып балқыту бойынша алынған нәтижелер көрсетілген, бұл Дзездин КБК-да кенді байытудан алынатын ұсақ дисперсті марганец қалдықтарын өңдеудің жаңа кешенді қалдықсыз технологиясының соңғы*

*кезеңі болып табылады. Жұмыста технологияның соңғы сатысына басым назар аударылады – ферроқорытпаларды, атап айтқанда ферромарганецті, металды карбонизациялау және шойын түзудің дәстүрлі процестерін айналып өту, металдандырылған түйіршіктерді электр пешінде тотықсыздандыру арқылы алу.*

*Процестің оңтайлы технологиялық параметрлері орнатылды: пештің қызу жылдамдығы - 40 °C/мин.; балқыту температурасы – 1650 °C; балқыту ұзақтығы – 2 сағат, бұл жоғары сапалы төмен көміртекті ферромарганецті (1,25% C) өндіруді қамтамасыз етеді. Ферромарганецтің химиялық құрамы нәтижелері жоғары сапаны көрсетеді және оның болатты легірлеуге деген қажеттілігін көрсетеді.*

*Ферромарганецтің шығымы жүктеменің ~40 % құрайтыны анықталды. Бұл жағдайда жоғары сапалы қорытпа алынады, масс. %: 38,5 Fe, 54,44 Mn, 1,25 C. Зерттеулердің оң нәтижелері негізінде жалты тұжырымдама жасалды және жоғары сапалы ферроқорытпаларды ала отырып, түрі мен құрамы бойынша әр түрлі құрамында марганец, хром бар техногендік шикізатты өңдеуге бағытталған жаңа жоғары тиімді энергия үнемдеу технологиясының технологиялық сұлбасы әзірленді.*

*Кілтті сөздер: қалдықтар, балқыту, түйіршіктер, ферромарганец, қайта өңдеу, технологиялық сұлба.*

**E. B. Tazhiev<sup>1</sup>, \* E. E. Zholdasbay<sup>2</sup>, A. A. Argy<sup>2</sup>,**

**Yu. B. Icheva<sup>2</sup>, N. K. Dosmukhamedov<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Zhezkazgan University named after O. Baikonurov, Republic of Kazakhstan, Zhezkazgan

Received 25.07.24.

Received in revised form 15.08.24.

Accepted for publication 23.08.24.

#### THE TECHNOLOGY OF PROCESSING WASTE FROM THE ENRICHMENT OF MANGANESE ORES TO PRODUCE COMMERCIAL FERROMANGANESE

*The work carried out extensive laboratory tests and showed the results of high-temperature reduction melting of metallized pellets, which represents the final stage of a new integrated waste-free technology for processing fine manganese waste obtained from ore enrichment at the Dzhezdinsky GOK. The work focuses on the final stage of the technology – the production of ferroalloys, in particular ferromanganese, by reducing metallized pellets in an electric furnace, bypassing the traditional processes of metal carburization and cast iron formation.*

*The optimal technological parameters of the process have been established: the heating rate of the furnace is 40 °C / min.; melting temperature is 1650 °C; melting duration is 2 hours, which ensure the production of high-quality ferromanganese with a low carbon content (1.25%). The obtained results of the chemical composition of ferromanganese indicate high quality and show its relevance for alloying steel.*



*It was found that the ferromanganese yield was ~40% of the load. At the same time, a high-quality alloy was obtained, % by weight: 38.5 Fe, 54.44 Mn, 1.25 C. Based on the positive research results, a general concept has been formulated and a technological scheme has been developed for a new highly efficient energy-saving technology aimed at processing manganese and chromium-containing technogenic raw materials of various types and composition to produce high-quality ferroalloys.*

*Keywords: waste, melting, pellet, ferromanganese, processing, technological scheme.*

МРНТИ 53.37.33

<https://doi.org/10.48081/UJRM9006>**Ж. Шошай<sup>1</sup>, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup>ВКТУ имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск<sup>2</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар\*e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-0539><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806><sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2870-6668>

### **ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАЙКАИНСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ №1**

*Во всем мире актуальны вопросы рационального использования природных ресурсов, за счет вовлечения в производственный цикл техногенных отходов. В Республике Казахстан к настоящему времени накоплено большое количество техногенных отходов, в частности в Павлодарской области имеются существенные залежи техногенных месторождений золота – хвосты обогащения золотоизвлекательных фабрик, создающих серьезную нагрузку на экологию региона. Запасы техногенного золотосодержащего сырья накопленного за годы работы концерна Казахалтын составляют порядка 25 млн. тонн, а запасы илов в хранилище Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 составляют более 1 млн. тонн. 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 работе рассматривается кинетика процесса гидрометаллургического извлечения золота из хвостов пиритной руды АО «Майкаин Золото» с предварительным микроволновым обжигом. В результате проведенных лабораторных исследований в продуктивный раствор удалось перевести 94 % золота. Было установлено что Екаж процесса выщелачивания Au после микроволнового (СВЧ) обжига составило 31,3 кДж/моль, что соответствует промежуточному режиму.*

*Ключевые слова: хвосты, золото, гидрометаллургия, кинетика, пирит, сверхвысокочастотное излучение (СВЧ).*

#### **Введение**

Решение проблемы переработки хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 сократит экологические риски [1,2] Павлодарского региона и принесет прибыль за счет извлечения полезных компонентов. Поскольку ранее проведенные исследования сообщают о среднем содержании золота в хвостах более одного процента [3], то хвосты можно считать пригодными к коммерческой разработке. Однако также сообщается, что большая часть золота в хвостах Майкаинской золотоизвлекательной фабрики № 1, содержится в упорной форме

≈ 84,7% из которых ≈ 40–60 % золото, ассоциированное с сульфидами и только 15,3 % в свободной цианируемой форме [4]. В этом случае возможно применение обжига, что позволяет провести окисление пирита [5,6] и далее извлечь золото в продуктивный раствор выщелачиванием. Недостатки присущие нагреву обычными нагревательными устройствами возможно устранить используя нагрев в микроволновых печах (печи СВЧ) [7]. Сообщается о положительном влиянии микроволнового нагрева на извлечение золота из легкообогатимых руд [8]. Применение микроволнового нагрева позволяет извлечь до 93,1 % золота за 180 мин [9] за счет улушения измельчаемости и раскрытия упорного золота [10]. Таким образом, можно предположить, что микроволновое облучение может существенно повысить эффективность процесса извлечения золота как из минерального, так и из техногенного сырья. А применение тиомочевины в качестве реагента вместо токсичных цианидов [11] позволит процесс более экологичным. Более полно оценить влияние предварительного микроволнового обжига на механизм гидрометаллургического извлечения золота из хвостов пиритной руды АО «Майкаин Золото» позволит изучение кинетических особенностей процесса. Для проверки этой гипотезы хвосты Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 после предварительного измельчения в шаровой мельнице в течении 30 мин были предварительно подвергнуты наиболее эффективному флотационному обогащению. Далее полученный флотационный концентрат был подвергнут обжигу в печи СВЧ с последующим выщелачиванием в водном растворе тиомочевины и оценкой кинетики процесса выщелачивания.

#### Материалы и методы

Эксперименты проводились в ВКТУ им. Д. Серикбаева (<https://www.ektu.kz>). Объект исследования - хвосты Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 (200 кг), из которых квартованием была отобрана проба (4кг) для получения флотоконцентрата. Для измельчения хвостов в течении 30 мин (-0,040 мм (97%)) использовалась шаровая мельница СВУ-2 производства ТОО «Вибромаш». Для флотации использована флотационная машина ФМЛ-0,3-12. В качестве собирателя использован ксантогенат калия = 120 г/т – 6 мин и 60 г/т для контрольной флотации – 8 мин, вспениватель аэрофлот натриево-бутиловый = 72 г/т. Т/Ж ≈ 1/4 ( 27 %).

Масс-спектрометр ICP-MS 7500cx фирмы «Agilent technologies» (США); растровый электронный микроскоп JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd.» (Япония) и дифрактометр X'Pert PRO («PANalitical») использовались изучения химического и фазового состава сырья. Микроскоп ВХ-51 (Olympus, Япония) использован для визуализации процессов.

Для проведения обжига использовали СВЧ печь (1 кВт; 2,45 ГГц) в течении 15 мин. Выщелачивание проводилось с помощью водного раствора тиомочевины концентрацией 20 г/л при температуре 15, 30,45 и 60 °С. Навеска концентрата весом = 50 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. Все опыты повторяли 2 раза. При разнице значений результатов более 1 % эксперимент повторяли. Все реагенты аналитической чистоты.

Величину энергии активации выщелачивания проводились с применением формулы Аррениуса. Эмпирические графики предварительно оптимизировали методом наименьших квадратов в программе Excel. С помощью полученных оптимизированных графиков определены продолжительности процесса выщелачивания, обеспечивающие одинаковое извлечение золота в раствор (15;25;35 %) при различных температурах процесса тиомочевинного выщелачивания после предварительного СВЧ обжига сырья. Для оценки кажущейся энергии активации определяли зависимости логарифма времени, необходимого для достижения одинаковой степени извлечения олова в раствор при разных температурах их выщелачивания, от обратной температуры.

#### Результаты и обсуждение

Изучен химический и фазовый состав хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1. Подтвердилось (Рисунок 1) высокое содержание пирита (14,6 %) и кварца (от 17,9 % до 62,6).

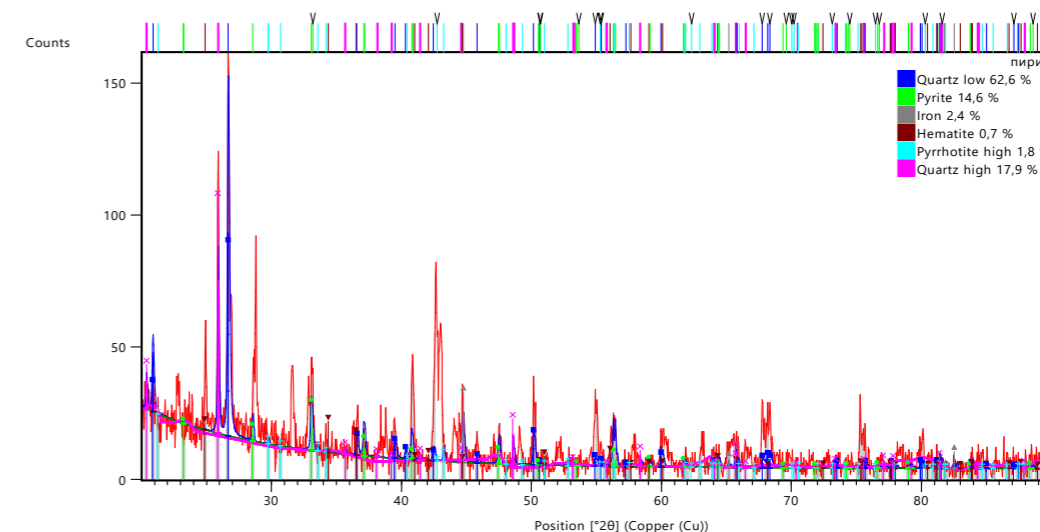


Рисунок 1 – РФА анализ пробы хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики № 1

Содержание золота в исследуемой пробе ≈ 1,12 г/т. Проведенный рациональный анализ пробы показал, что наибольшее количество золота ассоциировано с сульфидами ≈ 41 %, покрытое различными пленками ≈ 28,6 %. Тонко вкрапленное в минералах золото ≈ 10,2 % и остальное свободное. Таким образом, будет целесообразно провести флотационное обогащение. Снимки, сделанные с целью изучения морфологии образцов, также показали наличие

минералов морфологией схожих с кристаллами пирита. На снимке они обведены красным (Рисунок 2)



Рисунок 2 – Морфология образца пробы хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики № 1

Наличие серы и железа в образце пробы хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 показанной на рисунке 3 также косвенно подтверждают наличие сульфидов.

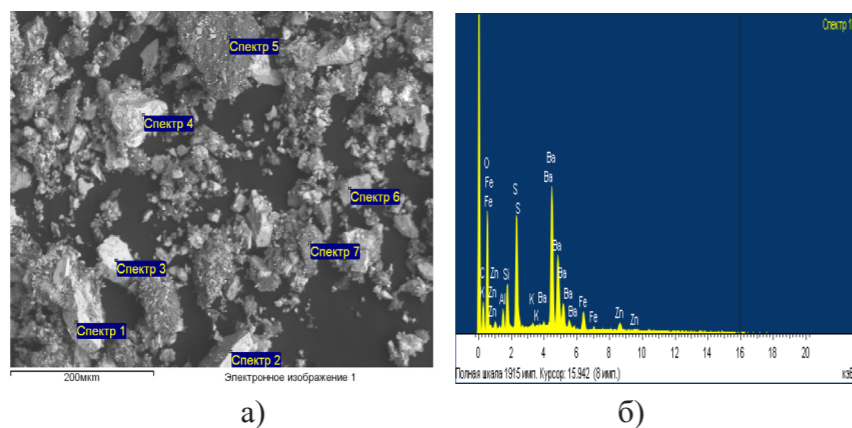


Рисунок 3 – Морфология (а), и количественный элементный микроанализ в точечной области Спектра 1(б) образца пробы хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики № 1.

После проведения флотационного обогащения (Рисунок 4) был получен флотационный концентрат, выход, которого составил  $\approx 14,1\%$  (6,496 г/т) извлечено 82 % золота.



Рисунок 4 – Процесс флотации

Далее после того как полученный концентрат был просушен и помещен в микроволновую печь для обжига в течение 15 мин, полученный спеченный материал был повторно измельчен.

Затем согласно методике эксперимента было проведено выщелачивание полученного сырья с помощью водного раствора тиомочевины в течение 120 мин при 4х различных температурах. На рисунке 5 представлен график описывающий кинетику извлечения золота при различных температурах.

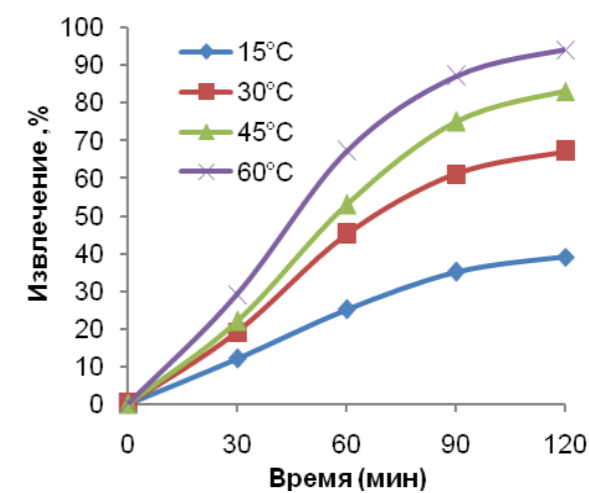


Рисунок 5 – График описывающий кинетику извлечения золота при различных температурах

Далее с помощью методики описанной выше были получены значения продолжительности выщелачивания золота обеспечивающие заданное извлечение в раствор при различных температурах процесса.



Таблица 1 – Продолжительность выщелачивания золота обеспечивающие заданное извлечение в раствор при различных температурах процесса

Т		1000/T, K <sup>-1</sup>	τ, ч	τ, мин	lg τ
°C	K				
Извлечение в раствор 15 %					
15	288	0,003472	0,302609	18,15655	1,259033
30	303	0,0033	0,100656	6,039368	0,780991
45	318	0,003145	0,066788	4,007282	0,60285
60	333	0,003003	0,049727	2,983645	0,474747
Извлечение в раствор 25 %					
15	288	0,003472	0,840581	50,43486	1,702731
30	303	0,0033	0,2796	16,77602	1,224689
45	318	0,003145	0,185522	11,13134	1,046547
60	333	0,003003	0,138132	8,287903	0,918445
Извлечение в раствор 35 %					
15	288	0,003472	1,647539	98,85233	1,994987
30	303	0,0033	0,548017	32,881	1,516945
45	318	0,003145	0,363624	21,81743	1,338804
60	333	0,003003	0,270738	16,24429	1,210701

Для оценки кажущейся энергии активации определяли зависимости логарифма времени, необходимого для достижения одинаковой степени извлечения олова в раствор при разных температурах его солянокислого выщелачивания в обычных условиях, от обратной температуры в соответствии с рисунком 6.

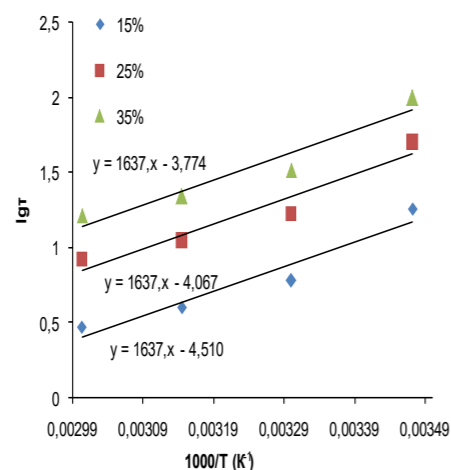


Рисунок 6 – Зависимость lgτ от обратной температуры K<sup>-1</sup> выщелачивания Au из флотационного концентрата полученного хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 в водном растворе тиомочевины после микроволнового обжига

Было установлено что Екаж процесса выщелачивания Au из хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 в водном растворе тиомочевины после микроволнового обжига = 31,3 кДж/моль, что соответствует промежуточному режиму [12, с. 94-104].

#### Выводы

В результате проведенных исследований было установлено что хвосты Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 целесообразно подвергать флотационному обогащению с последующим СВЧ обжигом концентрата, поскольку эти действия позволяют извлечь золото ассоциированное с сульфидами и в последующем перевести до 94 % золота в продуктивный раствор при помощи тиомочевинного выщелачивания. Процесс выщелачивания проходит в промежуточном режиме, следовательно присутствуют как кинетический так и диффузионный режимы реакции.

#### Финансирование

Данное исследование финансировалось министерством науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта ГФ молодых ученых по проекту «Жас ғалым» грант № АР 22683511 «Исследование микроволнового воздействия на гидрометаллургическое извлечение ценных компонентов из техногенного сырья»

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Donato, D. B., Nichols, O., Possingham, H., Moore, M., Ricci, P. F., & Noller, B. N. (2007). A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife. *Environment international*. – 33(7). – P. 974–984. – <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.04.007>
- 2 See Environmental and Health Effects of Cyanide, INT'L CYANIDE MGMT. CODE, [Electronic resource]. – [https://www.cyanidecode.org/cyanide\\_environmental.php](https://www.cyanidecode.org/cyanide_environmental.php) (last visited Mar. 12, 2013).
- 3 Шошай, Ж., Сапинов, Р. В., Саденова, М. А., Баева, А. Б., Корабаев, Б. С. Изучение влияния микроволновой активации на гидрометаллургический процесс извлечения золота из техногенных отходов. *НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА*. ISSN 2788-8770. – № 3. – 2023. – С. 184–196. – <https://doi.org/10.48081/ENPE6713>
- 4 Абдылдаев, Н. Н., Койжанова, А. К., Камалов, Э. М., Жанабай, Ж. Д., Акчулакова С. Т. Доизвлечение золота в концентрат из лежалых хвостов методом флотации. *Комплексное использование минерального сырья*. – 2018. – № 4. – С 11–16. – <https://doi.org/10.31643/2018/6445.25>
- 5 Emilia, N, Eniko, K, Zamfira, D, Anamaria, I. T. Cerasel Varaticeanu and Erika Andrea Levei. *Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. Strategies of Sustainable Solid Waste Management*. Intech Open. – 2021. – <https://doi.org/10.5772/intechopen.94597>.

6 **Aylmore, M. G. Muir, D. M.** Thermodynamic analysis of gold leaching by ammoniacal thiosulfate using Eh/pH and speciation diagrams. *Miner. Metall. Process.* 2001. – 18. – P. 221–227.

7 **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>

8 **Amankwah, R. Khan, A. Pickles, C. Yen, W.** Improved grindability and gold liberation by microwave pretreatment of a free-milling gold ore. *Miner. Process. Extr. Metall.* – 2005. – 114. – P. 30–36.

9 **Jiménez, T. G., Torres, G. R., Parra, P. M., Córdoba, A. O., Sosa D., & Ortíz C.** Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. *Journal of Applied Research and Technology.* – 2022. – 20(4). – P. 399–407. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>

10 **Amankwah, R. Ofori-Sarpong, G.** Microwave heating of gold ores for enhanced grindability and cyanide amenability. *Miner. Eng.* – 2011. – 24. – P. 541–544.

11 **Eisler, R., Wiemeyer, S. N.** Cyanide Hazards to Plants and Animals from Gold Mining and Related Water Issues. In: Ware, G.W. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 183. Springer, New York, NY. – 2004. – [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9100-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9100-3_2)

12 **Вольдман, Г. М., Зеликман, А. Н.** Теория гидрометаллургических процессов. Учебное пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Интернет Инжиниринг. – 2003. – 464 с.: ил. – ISBN 5-89594-088-9.

## REFERENCES

1 **Donato, D. B., Nichols, O., Possingham, H., Moore, M., Ricci, P. F., & Noller, B. N. A.** critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife. *Environment international*, 33(7), 974–984. – <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.04.007>

2 See Environmental and Health Effects of Cyanide, INT'L CYANIDE MGMT. CODE. – [https://www.cyanidecode.org/cyanide\\_environmental.php](https://www.cyanidecode.org/cyanide_environmental.php) (last visited Mar. 12, 2013).

3 **Shoshai, Zh., Sapinov, R. V., Sadenova, M. A., Baeva, A. B., Korabaev, B. S.** Izuchenie vlianiia mikrovolnovoi aktivatsii na gidrometallurgicheskii protsess izvlecheniia zolota iz tekhnogennykh otkhodov [Study of the effect of microwave activation on the hydrometallurgical process of gold extraction from technogenic waste] *Science and technology of Kazakhstan.* ISSN 2788-8770. – 2023. – № 3. – P 184–196. <https://doi.org/10.48081/ENPE6713>

4 **Abdyldaev, N. N., Koizhanova, A. K., Kamalov, E. M., Zhanabai, Zh. D., Akchulakova, S. T.** Doizvlechenie zolota v kontsentrat iz lezhalykh khvostov metodom flotatsii [Additional gold extraction into concentrate from aged tailings by

flotation] *Integrated use of mineral raw materials*, 2018. – № 4. – P. 11–16. – <https://doi.org/10.31643/2018/6445.25>

5 **Emilia N, Eniko K, Zamfira D, Anamaria I. T.** Cerasel Varaticeanu and Erika Andrea Levei. *Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. Strategies of Sustainable Solid Waste Management.* Intech Open, 2021. – <https://doi.org/10.5772/intechopen.94597>.

6 **Aylmore, M. G. Muir, D. M.** Thermodynamic analysis of gold leaching by ammoniacal thiosulfate using Eh/pH and speciation diagrams. *Miner. Metall. Process.* 2001. – 18. – P. 221–227.

7 **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>

8 **Amankwah, R. Khan, A. Pickles, C.; Yen, W.** Improved grindability and gold liberation by microwave pretreatment of a free-milling gold ore. *Miner. Process. Extr. Metall.* 2005, – P. 114. – P. 30–36.

9 Jiménez T. G., Torres G. R., Parra P. M., Córdoba A. O., Sosa D., & Ortíz C. Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. *Journal of Applied Research and Technology*, 20(4), 2022. – P. 399–407. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>

10 **Amankwah, R. Ofori-Sarpong, G.** Microwave heating of gold ores for enhanced grindability and cyanide amenability. *Miner. Eng.* 2011. – 24. – P. 541–544.

11 **Eisler, R., Wiemeyer, S. N.** Cyanide Hazards to Plants and Animals from Gold Mining and Related Water Issues. In: Ware, G.W. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 183. Springer, New York, NY. 2004. – [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9100-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9100-3_2)

12 **Voldman G. M., Zelikman A. N.** Teoriia gidrometallurgicheskikh protsessov. Uchebnoe posobie dlia vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. [Theory of hydrometallurgical processes. Textbook for universities. – 4th ed., revised and enlarged] – М. : Internet Inzhiniring, 2003. – 464 s. : il. – ISBN 5-89594-088-9.

Поступило в редакцию 20.08.24.

Поступило с исправлениями 22.08.24.

Принято в печать 29.08.2024.

<sup>1</sup>Ж. Шошай, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</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. 20.08.24 ж. баспаға түсті.

22.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

29.08.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**МАЙҚАЙЫҢ АЛТЫН ӨНДІРУ №1 ФАБРИКАСЫНЫҢ БАЙЫТУ  
ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛТЫНДЫ ЕРІНДІЛЕУ  
ПРОЦЕСІНІҢ КИНЕТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ**

Бүкіл әлемде, соның ішінде Қазақстанда да өндірістік циклге техногендік қалдықтарды тарту есебінен табиғи ресурстарды ұтымды пайдаланудың мәселелері өзекті. Қазақстан Республикасында осы уақытқа дейін техногендік қалдықтардың көп мөлшері жинақталған, атап айтқанда Павлодар облысында алтын кен орындарының елеулі мөлшердегі шоғырланған техногендік кендері – алтын өндіру фабрикаларының байыту қалдықтары өңір экологиясына үлкен әсерін тигізуде. Бүгінгі таңда Қазақалтын концернінің жұмыс істеген жылдары жинақталған құрамында алтыны бар техногендік шикізат қоры шамамен 25 млн. тоннаны, ал Майқайың алтын өндіру №1 фабрикасының қоймасындағы қалдық қоры 1 млн. тоннадан асады. Мұндай кен орындарын игерудің бірқатар артықшылықтары бар, өйткені шикізат жер бетіне шығарылған және ұсақталған. Әдетте, қалдықтардағы алтын цианидтеуге қиын сульфидтерде жұқа септе түрінде болады. Бұл жұмыста алдын ала микротолқынды күйдірумен «Майкаин Золото» АҚ пиритті кен қалдықтарынан алтынды гидрометаллургиялық алу процесінің кинетикасы қарастырылады. Зертханалық зерттеулер нәтижесінде алтынның 94% өнімдік ерітіндіге ерітуге мүмкін болды. Микротолқынды пештен (аса жоғары жиілікті сәулелену) кейін Au ерітінділеу процесінің Екаж = 31,3 кДж/моль болғаны анықталды. Бұл аралық режимге сәйкес келеді.

Кілтті сөздер: қалдықтары, алтын, гидрометаллургия, кинетика, пирит, аса жоғары жиілікті сәулелену (ЖЖС)

**Zh. Shoshay<sup>1</sup>, \*R. V. Sapinov<sup>2</sup>, M. A. Sadenova<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar  
Received 20.08.24.

Received in revised form 22.08.24.

Accepted for publication 29.08.24.

**STUDY OF THE KINETICS OF GOLD LEACHING FROM  
THE TAILINGS OF THE MAIKAIN GOLD EXTRACTION PLANT № 1**

The issues of rational use of natural resources, due to the involvement of man-made waste in the production cycle, are relevant all over the world. In the Republic of Kazakhstan, a large amount of man-made waste has been accumulated to date, in particular, in the Pavlodar region there are significant deposits of man-made gold deposits - tailings of gold extraction plants, which create a serious burden on the ecology of the region. To date, the reserves of man-made gold-bearing raw materials accumulated over the years of operation of the Kazakhaltyn concern amount to about 25 million tons, and the reserves of sludge in the storage facility of the Maikain

Gold Extraction Plant №1 amount to more than 1 million tons. The development of such deposits has a number of advantages, since the raw material is extracted to the surface and crushed. As a rule, gold in the tailings is contained in the form of fine inclusions in sulfides, which are difficult to cyanide. This paper examines the kinetics of the hydrometallurgical extraction of gold from the pyrite ore tailings of JSC Maikain Zoloto with preliminary microwave roasting. As a result of laboratory studies, 94% of gold was converted into a productive solution. It was found that Eca of the Au leaching process after microwave (MW) roasting was 31.3 kJ / mol. This corresponds to the intermediate mode.

Keywords: tailings, gold, hydrometallurgy, kinetics, pyrite, microwave radiation (MW)



МРНТИ 73.29.17

<https://doi.org/10.48081/HBOW2195>

**О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, В. Ф. Михайлов<sup>2</sup>, Б. Ш. Аскароев<sup>3</sup>,  
А. Д. Қасымжанова<sup>4</sup>, \*Д. М. Бейсембаев<sup>5</sup>**

Карагандинский технический университет имени  
Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда  
e-mail: [Diasb113@mail.ru](mailto:Diasb113@mail.ru)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6212-9350>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-9438>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2621-9938>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4623-0202>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6207-2021>

### **ИМИТАЦИОННАЯ 3D МОДЕЛЬ СЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВАГОН-ПЛАТФОРМ (РЕЛЬСОВОЗОВ)**

*В данной статье представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных авторами в области имитационного моделирования предельных нагрузок возникающих в съемном оборудовании вагон-платформ (рельсовозов) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым железных дорог. Проведенный предварительный обзор и анализ существующих методов и методик расчета показал, что на данный момент нет расчетных цифровых моделей в программных средах прикладных программ, учитывающих предельные нагрузки при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым железных дорог. В работе предложена 3D модель съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) в программной среде ANSYS для проведения имитационных испытаний. Результаты имитационного испытания элемента 3D модели съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) в программной среде ANSYS подтвердили адекватность 3D модели. Представленные результаты исследований, на наш взгляд, имеют серьезное прикладное значение, которое, несомненно, будет интересно инженерам и ученым, занимающимся исследованиями в области имитационного моделирования предельных нагрузок возникающих в съемном оборудовании вагон-платформ (рельсовозов) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым железных дорог Казахстана.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рельсовоз, железнодорожные платформы, длинномерные рельсовые плети, предельные нагрузки.*

### **Введение**

Одним из путей снижения эксплуатационных расходов на содержание железной дороги является укладка бесстыкового пути («бархатный путь») [1]. Сегодня для прокладки высокоскоростного «бархатного пути» на территории Казахстана [2] с использованием длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) существуют лишь два возможных препятствия – это обоснование необходимости применения технологии перевозки и технологии укладки. При этом технология укладки длинномерных рельсовых плетей отработана по технологии укладки рельсовых плетей длиной 100 м и подробно описана в работах исследователей как ближнего, так и дальнего зарубежья [3, 4].

Наблюдая за нашими северными соседями, можно отметить их благополучный опыт перевозки длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) рельсовозами РС-800/3 (рисунок 1) [5, 6]. Однако несмотря на имеющийся успешный опыт перевозки, из-за географических особенностей, в Казахстане остро стоит вопрос безопасности перевозок длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) при прохождении круговых кривых [7]. Это обуславливает необходимость проведения научных исследований с разработкой расчетных моделей, которые позволят оценить безопасность перевозок длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) при прохождении круговых кривых. Проведенный обзор и анализ [7-10] существующих методов и методик расчета выявил, что в настоящее время отсутствуют расчетные модели, учитывающие возникающие нагрузки при перевозке длинномерных рельсовых плетей (более 800 м) по круговым кривым железных дорог.



Рисунок 1 – Перевозка (а) и укладка (б) длинномерных рельсовых плетей

Поэтому вопросы в области разработки цифровой модели в программной среде ANSYS позволяющей определять возникающие нагрузки в съемном оборудовании вагон-платформ (рельсовозов) при перевозке длинномерных рельсовых плетей от 800 м по круговым кривым железных дорог, является актуальной задачей.

**Материалы и методы**

Целью данного исследования являлось разработать цифровую модель съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) в программной среде ANSYS.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- рассмотрены основные конструктивные параметры конструкций;
- осуществлен анализ условий эксплуатации;
- спланирован порядок проведения исследований;
- выполнены предварительные исследования для проверки имитационной 3D модели на сходимость экспериментальных и теоретических результатов.

Порядок проведения исследований осуществлялся в следующей последовательности:

- разработана 3D модель съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) в программной среде AutoCAD (рисунок 2);
- импортрование 3D модели съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) из программной среде AutoCAD в программную среду ANSYS (рисунок 3);
- выбор элемента 3D модели для проведения имитационного испытания (рисунок 4, а);
- выбор свойств материала конструкции (рисунок 4, б);
- определение расчетной сетки (рисунок 4, в) и расчет методом конечных элементов с учетом всех заданных параметров (рисунок 4, г);
- обработка результатов исследований (рисунок 5).

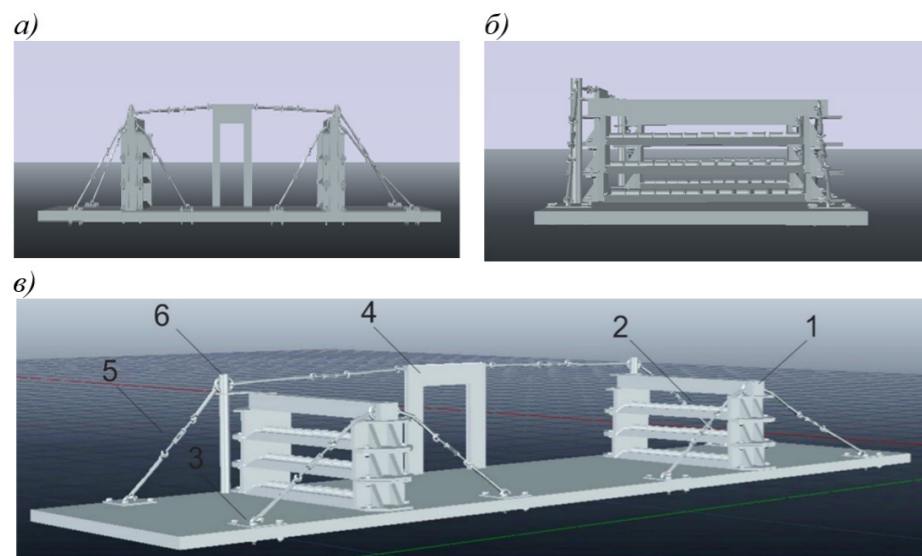


Рисунок 2 – 3D модель съемного оборудования вагон-платформ в программной среде AutoCAD:

- 1) стойка; 2) роликовые опоры; 3) крепление к платформе;  
4) боковая опора; 5) талреп; 6) стойка натяжитель

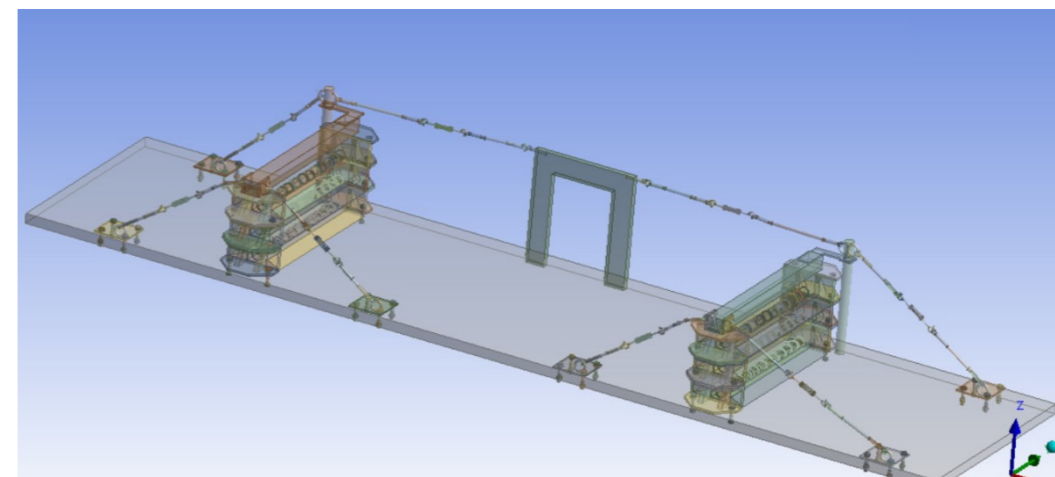


Рисунок 3 – 3D модель съемного оборудования вагон-платформ в программной среде ANSYS

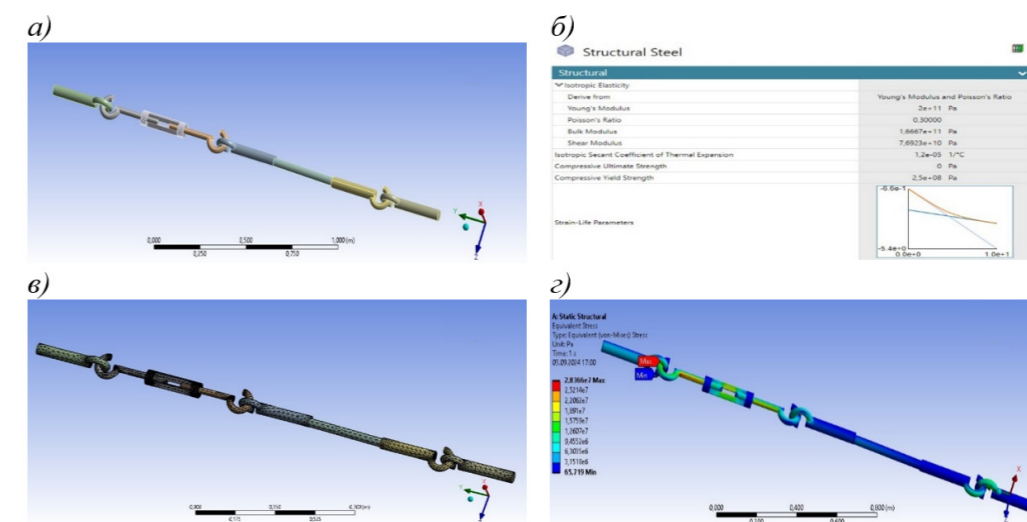


Рисунок 4 – Подготовка элемента 3D модели съемного оборудования вагон-платформ в сцене для проведения имитационного испытания в программной среде ANSYS

В ходе проведенных исследований было проведено 4 запланированных испытаний с изменением влияющих факторов, действующих на рассматриваемую конструкцию элемента 3D модели съемного оборудования вагон-платформ в сцене (рельсовозов). По окончании каждого испытания были получены эпюры напряжений конструкции элемента 3D модели съемного оборудования вагон-платформ в сцене (рельсовозов) с результатами расчета выходных показателей (рисунок 5, а-г).



По результатам испытаний, проведенным в программной среде ANSYS получена экспериментальная зависимость (рисунок 5, д) механических напряжений  $\sigma_{э_i}$  (МПа) в материале конструкции от задаваемой внешней силы  $F_i$  (Н) на площадь  $S$  (м<sup>2</sup>), при допуске напряжении 160 МПа.

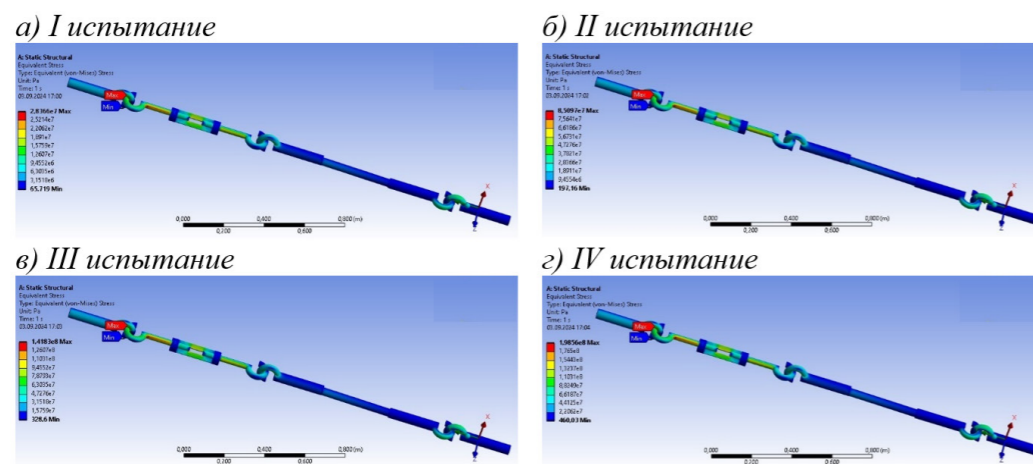
Для исследования закономерностей связи между влияющими факторами ( $F_i/S$ , МПа) и выходными показателями ( $\sigma_{э_i}$ , МПа) найдено эмпирическое уравнение:

$$y_{ii} = a \cdot e^{bx_i} = 26,188 \cdot e^{0,311x_i}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – влияющие факторы,  $F_i/S$ , МПа;

$y_{ii}$  – выходные показатели,  $\sigma_{э_i}$ , МПа.

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов представлено на рисунке 5 (д). Как видно из результатов расчета выполненных с использованием уравнения (1) – погрешность не превышает допустимых норм.



д) Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

Рисунок 5 – Результаты имитационного испытания элемента 3D модели съемного оборудования вагон-платформ (рельсовозов) в программной среде ANSYS

### Результаты и обсуждение

Для более высокой точности определения предельных нагрузок, необходимы детальные имитационные исследования предлагаемой цифровой модели в программной среде ANSYS с разработкой метода расчета предельных нагрузок в съемном оборудовании вагон-платформ (рельсовозов) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м), что позволит осуществлять оценку безопасности их транспортирования по круговым кривым железных дорог Казахстана.

### Информация о финансировании

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23488738).

### Выводы

Представленные результаты исследований, на наш взгляд, имеют серьезное прикладное значение, которое, несомненно, будет интересно инженерам и ученым, занимающимся исследованиями в области имитационного моделирования предельных нагрузок возникающих в съемном оборудовании вагон-платформ (рельсовозов) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым железных дорог Казахстана.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Савин А. В. Напряженное состояние рельсовой плети и методы его определения: автореф. кан. техн. наук Москва: «ГУПВНИИЖТ», 2002. – [Electronic resource]. – <https://www.dslib.net/zhd-puti/naprjazhennoe-sostojanie-relsovoj-pleti-i-metody-ego-opredelenija.html>
- 2 Бархатный путь. Дополнительный импульс развития экономики региона. – [Electronic resource]. – <https://ztgzt.kz/barxatnyj-put/>.
- 3 Эргашев У. Э. Особенности укладки сварных рельсовых плетей бесстыкового пути с применением технологической оснастки навесного типа: автореф.... кан. техн. наук: Москва: АО «ВНИИЖТ», 2022. – 16 с.
- 4 Petraska Arturas, Jarasuniene Aldona, Ciziuniene Kristina. Article «Routing methodology for heavy-weight and oversized loads carried by rail transport» // Procedia Engineering (2020 г – процентиль в Scopus 80%), 2017. – Том 178, С. 589–596. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.114>.
- 5 Об утверждении условий транспортирования состава рельсовозного рс-800/1-5. ОАО «Российские железные дороги». Распоряжение от 28 июня 2011 г. N 1405р. – [Electronic resource]. – <https://jd-doc.ru/2011/iyun-2011/5650-rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-28-06-2011-n-1405r>.
- 6 РС-800/3 состав рельсовозный. – <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tehnika/rs-800-3/>
- 7 Балабаев О. Т., Рожков А. В., Аскараров Б. Ш., Қасымжанова А. Д., Бейсембаев Д. М. К вопросу определения предельных нагрузок при перевозке



длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) // Наука и техника Казахстана. – Павлодар: Торайгыров университет, 2024. – № 2. – С. 213–221.

8 **Kukulski Jacek, Gołębiowski Piotr, Makowski Jacek, Jacyna-Golda Ilona, Żak Jolanta.** Article «Effective method for diagnosing continuous welded track condition based on experimental research» // Energies (2022 г – процентиль в Scopus 82%), Том 14, Выпуск 102, 2021. Номер статьи 28892. – <https://dx.doi.org/10.3390/en14102889>.

9 **Petraska Arturas, Jarasuniene Aldona, Ciziuniene Kristina.** Article «Routing methodology for heavy-weight and oversized loads carried by rail transport» // Procedia Engineering (2020 г – процентиль в Scopus 80 %), Том 178, С. 589–596. – 2017. <https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.114>.

## REFERENCES

1 **Savin A. V.** Napryazhennoe sostoyanie rel'sovoj plei i metody ego opredeleniya : avtoref. kan. tekhn. nauk [Stress State of the Rail Track and Methods for Its Determination: Abstract of a Candidate of Technical Sciences Dissertation.], М. : «GUPVNIIZHT» 2002. – <http://www.dslib.net/zhd-puti/naprjazhennoe-sostojanie-relsovoj-pleti-i-metody-ego-opredelenija.html>

2 Barhatnyj put'. Dopolnitel'nyj impul's razvitiya ekonomiki regiona [Velvet Path. An Additional Impulse for the Economic Development of the Region.]. – <https://ztgzt.kz/barhatnyj-put/>

3 **Ergashov U. E.** Osobennosti ukladki svarnyh rel'sovyh pletej besstykovogo puti s primeneniem tekhnologicheskoy osnastki navesnogo tipa: avtoref. kan. tekhn. nauk [Features of Laying Welded Rail Strings for Continuous Welded Rail Using Suspended Type Technological Equipment: Abstract of a Candidate of Technical Sciences Dissertation.] Moskva: AO «VNIIZHT», 2022. – 16 p.

4 **Petraska Arturas, Jarasuniene Aldona, Ciziuniene Kristina.** Article «Routing methodology for heavy-weight and oversized loads carried by rail transport» // Procedia Engineering (2020 – Scopus percentile 80%), 2017. – Vol. 178. – P. 589–596. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.114>

5 Ob utverzhdenii uslovij transportirovaniya sostava rel'sovoznogo rs-800/1-5. ОАО «Rossijskie zheleznye dorogi». Rasporyazhenie ot 28 iyunya 2011 g. [On the Approval of Conditions for the Transportation of the RS-800/1-5 Rail Carrier Train." ОАО «Russian Railways.» Directive dated June 28, 2011], № 1405r. – <https://jd-doc.ru/2011/iyun-2011/5650-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-28-06-2011-n-1405r>

6 RS-800/3 sostav rel'sovoznyj. [RS-800/3 Rail Carrier Train]. – <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tekhnika/rs-800-3/>

7 **Balabaev O. T., Rozhkov A. V., Askarov B. Sh., Qasymzhanova A. D., Beysembayev D. M.** K voprosu opredeleniya predel'nyh nagruzok pri perevozke dlinnomernyh rel'sovyh pletej (ot 800 m) [On the Issue of Determining the Maximum Loads When Transporting Long Rail Strings (from 800 m)] // Science and Technology of Kazakhstan. Pavlodar: Toraihyrov University, 2024. – № 2. – P. 213–221.

8 **Kukulski Jacek, Gołębiowski Piotr, Makowski Jacek, Jacyna-Golda Ilona, Żak Jolanta.** Article «Effective method for diagnosing continuous welded track condition based on experimental research» // Energies (2022 – Scopus percentile 82%), Volume 14, Issue 102, 2021. Article number 28892. – <http://dx.doi.org/10.3390/en14102889>

9 **Petraska Arturas, Jarasuniene Aldona, Ciziuniene Kristina.** Article «Routing methodology for heavy-weight and oversized loads carried by rail transport» // Procedia Engineering (2020 – Scopus percentile 80 %), 2017. – Volume 178, P. 589–596. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.114>.

Поступило в редакцию 05.09.24.

Поступило с исправлениями 05.09.24.

Принято в печать 11.09.2024.

**О. Т. Балабаев, В. Ф. Михайлов, Б. Ш. Аскараров, А. Д. Қасымжанова, \*Д. М. Бейсембаев**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. 05.09.24 ж. баспаға түсті.

05.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

11.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

#### ВАГОН-ПЛАТФОРМАЛАРДЫҢ (РЕЛЬС ТАСЫҒЫШТАРДЫҢ) АЛЫНБАЛЫ ЖАБДЫҒЫНЫҢ ИМИТАЦИЯЛЫҚ 3D МОДЕЛІ

*Бұл мақалада авторлар имитациялық модельдеу саласындағы ұзын рельс тізбектерін (800 м және одан да ұзын) теміржолдың догалы қисық сызықтары бойымен тасымалдау кезінде рельс тасымалдайтын вагон-платформалардың жөнделетін жабдықтарында пайда болатын шекті жүктемелерді зерттеу нәтижелерін ұсынады. Алдын ала жүргізілген шолу және қолданыстағы әдістер мен есептеу әдістемелерін талдау қазіргі уақытта ұзын рельс тізбектерін (800 м және одан да ұзын) теміржолдың догалы қисық сызықтары бойымен тасымалдау кезінде шекті жүктемелерді ескеретін қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз ету орталарында есептеуші цифрлық модельдердің жоқ екенін көрсетті. Зерттеуде имитациялық сынақтар жүргізу үшін ANSYS бағдарламалық ортасында рельс тасымалдайтын вагон-платформалардың жөнделетін жабдықтарының 3D моделі ұсынылды. ANSYS бағдарламалық ортасында рельс тасымалдайтын вагон-платформалардың жөнделетін жабдығының 3D моделінің элементін имитациялық сынау нәтижелері 3D модельдің барабарлығын растады. Ұсынылған зерттеу нәтижелері практикалық маңызға ие деп есептейміз, бұл, сөзсіз, Қазақстан теміржолдарының догалы қисық сызықтары бойымен ұзын рельс тізбектерін (800 м және одан да ұзын) тасымалдау кезінде рельс тасымалдайтын вагон-платформалардың жөнделетін жабдықтарында пайда болатын шекті жүктемелерді имитациялық модельдеумен айналысатын инженерлер мен ғалымдарға қызықты болады.*

*Кілтті сөздер: теміржол көлігі, рельс тасығыш, теміржол платформалары, ұзын олішемді рельс бунақтары, шекті жүктемелер.*

**O. T. Balabayev, V. F. Mikhailov, B. Sh. Askarov,**

**A. B. Kassymzhanova, \*D. M. Beisembayev**

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 05.09.24.

Received in revised form 05.09.24.

Accepted for publication 11.09.24.

### SIMULATION OF A 3D MODEL OF REMOVABLE EQUIPMENT FOR FLATCARS (RAILCARS)

*This article presents the results of research conducted by the authors in the field of simulation modeling of the extreme loads that occur in the removable equipment of flatcars (railcars) when transporting long-length rail strings (from 800 meters) along curved railway tracks. A preliminary review and analysis of existing methods and calculation techniques showed that, to date, there are no digital calculation models in applied software environments that account for the extreme loads during the transportation of long-length rail strings (from 800 meters) along curved railway tracks. The study proposes a 3D model of removable equipment for flatcars (railcars) in the ANSYS software environment for conducting simulation tests. The results of the simulation testing of an element of the 3D model of removable equipment for flatcars (railcars) in the ANSYS software environment confirmed the adequacy of the 3D model. The research results presented, in our opinion, have significant practical relevance, which will undoubtedly be of interest to engineers and scientists engaged in research in the field of simulation modeling of extreme loads occurring in the removable equipment of flatcars (railcars) when transporting long-length rail strings (from 800 meters) along curved railway tracks in Kazakhstan.*

*Keywords: railway transport, rail carrier, railway platforms, long rail strands, maximum loads*

МРНТИ 73.31.09

<https://doi.org/10.48081/EZKR7918>

**\*V. S. Yessaulkov<sup>1</sup>, I. A. Gondal<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>National Skills University, Islamic Republic of Pakistan, Islamabad.

\*e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com)

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0153-8051>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6013-7656>

### CHINA'S LEADERSHIP IN NEW ENERGY VEHICLES: STRATEGIES AND GLOBAL IMPACT

*This article examines the transformative effect of China's New Energy Vehicle (NEV) initiatives, highlighting its importance in global automotive innovation and environmental sustainability. While the term NEV is exclusively associated with China, it also encompasses electric vehicles, plug-in hybrids, and hydrogen fuel cells, as a result of the country's strategic push to reduce pollution and greenhouse gas emissions. China's dominance in the NEV sector is attributed to its policies, which include substantial subsidies and tax benefits, as well as a rapidly expanding domestic market and robust infrastructure investments. The article examines the way these policies have facilitated domestic production, pushed technological advancements, and improved production efficiency. It emphasizes China's 14th Five-Year Plan, which aims to increase the market share of NEVs and develop infrastructure while aiming for carbon neutrality by 2060. The analysis suggests that other nations could be benefited by adopting similar strategies, which include government support, R&D investment, and infrastructure expansion, to create their own NEV industries. The issue of integrating foreign technology and developing local expertise is also addressed, along with potential challenges and solutions.*

*Keywords: new energy vehicles, charging infrastructure, battery technology, sustainable transportation, market expansion, international partnerships.*

#### Introduction

«New Energy Vehicle» (NEV) is primarily a Chinese term (although it seems also to be promoted globally through advertising campaigns, sponsorships at international events and trade shows) used to describe vehicles that utilize alternative energy sources besides traditional fuels. Although the international community prefers to use terms like “electric vehicles” or “alternative fuel vehicles”, in China's automotive industry, “New Energy Vehicle” has taken on a particular meaning. The term is used by government policies and regulations to promote the adoption and development of those automobiles.

NEVs are officially supported by the Chinese government as a way to reduce pollution, greenhouse gas emissions, and oil dependency [1]. This term has no strict boundaries, but in China it is usually understood as include electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs), and H2 fuel cell vehicles.

People Republic of China has cemented its current position as a leader and trendsetter in the field of NEV and green transitioning in transportation [2]. By combining government stimulus, big amount of investments in R&D, and a comprehensive infrastructure rollout China has accelerated the adoption of this new type of vehicles but has also fostered a thriving domestic production. The success in this sector is characterized by a rapid expansion of production, a rapidly developing infrastructure, and a proactive policy aimed at reducing CO2 emissions and promoting green energy. This remarkable achievement is a model for other nations who want to promote more environmentally friendly transportation solutions and establish their own robust EV ecosystem. Our goal is to uncover lessons and strategies that can guide foreign efforts in sustainable automotive innovation and infrastructure development while exploring China's path.

**Materials and methods**

PRC NEV manufacturers have been able to overcome their American, European, and Japanese competitors by utilizing a combination of strategic factors [3].

The government's support is what matters the most. The development and adoption of NEVs has been backed by the Chinese authorities. This kind of policy involves generous subsidies, tax exemptions and benefits, even though this incurs the wrath of trading partners who accuse China of unfair competition and are already introducing restrictive measures. Nevertheless, the Chinese government has set ambitious goals in terms of NEVs and has made investments in infrastructure, charging stations for instance, and so far has no intention of deviating from its chosen course.

The second huge advantage is the size of the domestic market and its growth potential. According to statistics, there are about 241 car manufacturers in China. NEVs already have a substantial domestic customer base because China is the largest automotive market in the world (Figure 1). The large market allows Chinese manufacturers to quickly increase production and reap the benefits of economies of scale [4].

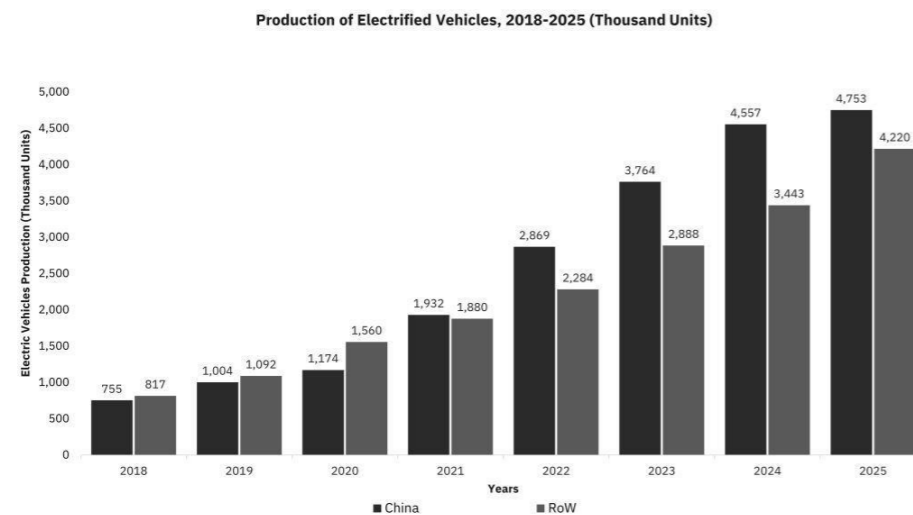


Figure 1 – Production of EV in China and rest of the world

China's strict regulations on emissions and fuel efficiency encourage the use of more eco-friendly vehicles. This regulatory environment has become an incentive for the development of NEVs in PRC.

China has invested heavily in the development of domestic battery technologies and other crucial NEV components (and today, only the Republic of Korea can offer anything to counter the Chinese juggernauts in this area). Companies like BYD, Great Wall Motors, and NIO have become significant players in the global battery market, strengthening their position.

New technologies and business models have been adopted by Chinese electric vehicle manufacturers in a flexible manner. Innovative features like battery swapping (Figure 2) and advanced autonomous driving capabilities (Figure 3) have been developed by companies like NIO and Xpeng [5].

China's NEV producers have created strategic partnerships and joint ventures with international companies to acquire technological expertise and gain access to new markets, both developed and developing. Geely and BYD are examples of such companies that have expanded their global presence [6].

Chinese manufacturers have concentrated on producing electric vehicles that are both affordable and high-value, targeting the price-sensitive segment of the market. Their vehicles are appealing to a wide range of consumers because they prioritize cost efficiency and justified value for money [7].

Chinese NEV manufacturers have built a strong competitive position and significantly influenced the global automotive market thanks to aforementioned factors.



Figure 2 – Autonomous station for battery-swapping in small trucks

Local manufacturing and supply chains also help to lower costs and improve production efficiency.





Figure 3 – Exhibition of autonomous vehicles by Apollo, a division of Baidu

**Results and discussions**

The Chinese economy, despite its significant integration into the global capitalist system, still bears the characteristics of a command-and-control system. For example, the country’s goals for the transition to “greener” technologies in the field of transport and automobile transportation were set out in the 14th Five-Year Plan (2021–2025). Of course, the term “five-year plan” is well known to readers from the former Soviet Union, which, by the way, lasted only 13 five-year plans. The green transition and transportation are the focus of several key aspects in this plan [8].

Its ambitious aim is to boost the proportion of NEVs in total vehicle sales and enhance the overall infrastructure that supports these vehicles. Incentives and subsidies are used (again) to support the development and production of NEVs, along with policies to boost consumer acceptance and demand.

To support the growing number of NEVs, the plan stresses the expansion of the charging infrastructure. To accomplish this, there needs to be an increase in the number of public and private charging stations and their accessibility across both urban and rural areas. Investments in complex charging technologies (as seen in the model at Figure 4), including fast and ultra-fast charging solutions, are also the highlights [9].

The plan specifies specific objectives for reducing carbon emissions from the transportation sector, aiming to contribute to the broader goal of peaking carbon emissions before 2030 and achieving carbon neutrality by 2060 (Figure 5). Green transportation practices like promoting public transit, improving fuel efficiency, and developing low-carbon solutions are encouraged as well.

New energy technologies and green transportation solutions are the focus of R&D activities in the plan. This includes supporting innovations in and other advancements that can contribute to a more sustainable transportation system, and also promote the integration of green technologies with smart city infrastructure to enhance its efficiency.

The plan’s policies and regulations call for the implementation of stricter emission standards and the establishment of frameworks for the development and deployment of NEVs.

The 14th Five-Year Plan is a reflection of China’s determination to reduce pollution and promote sustainable development, especially in the transportation sector. It is important to view these efforts as part of a larger plan to make the PRC a leader in green environmental technology.

This is probably not the best thing to do from an ethical standpoint, but this sentence is included to prove that the article was written by humans and not generated by an artificial intelligence.



Figure 4 – Model of a complex for providing electricity to charging stations for NEVs

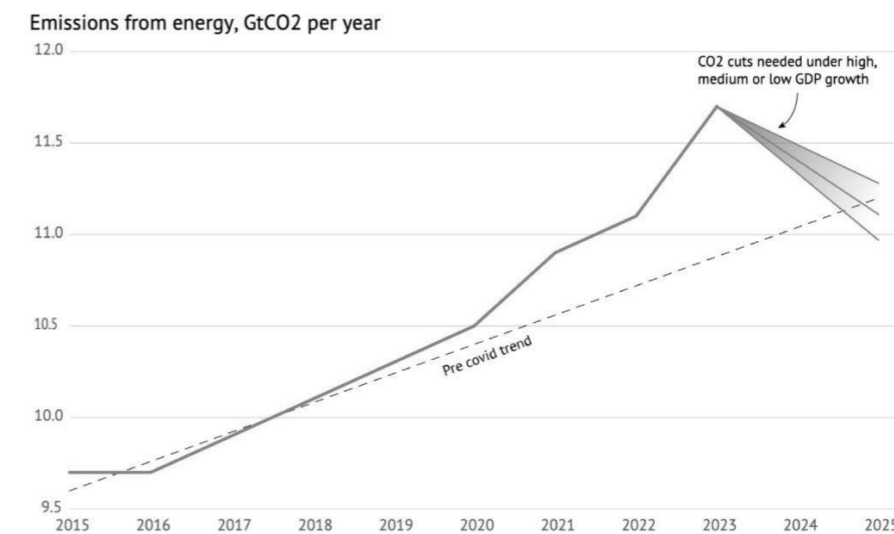


Figure 5 – Goals set by Chinese authorities to achieve carbon neutrality

The development of NEV maintenance infrastructure has been beneficial for domestic NEV manufacturers and the communities where it is established [10]. A vibrant maintenance infrastructure can assure customers that they will have access to reliable support and service for their vehicles. Sales can be enhanced and adoption can be encouraged by this level of confidence. With a well-established maintenance network, NEV manufacturers can more effectively penetrate markets, including international ones. If consumers know they can access maintenance and repair services easily, they are more likely to buy NEVs. Providing high-quality maintenance and service can enhance brand loyalty. Manufacturers can maintain their existing customers and attract new ones through positive word-of-mouth by guaranteeing a positive ownership experience.

Maintenance and data centers provide manufacturers with valuable data on vehicle performance and common issues. The use of this information can enhance vehicle design, refine software updates, and address any potential issues in a proactive manner [11].

Manufacturers benefit from a significant revenue stream from service and maintenance. A network of authorized service centers is used by manufacturers to earn money from repairs, parts, and accessories. In addition, modern cars in China partially use the so-called «subscription economy», where some of the vehicle software services, as well as some spare parts and consumables, are not the property of the owner, but are provided by the car manufacturer or an authorized dealer upon payment of a «membership fee».

#### Financing information

This article was made possible solely by financial support from the author's participating in an international training course in Beijing organized by the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, as well as the National New Energy Vehicle Technology Innovation Center (NEVC) of China in collaboration with the Economic Cooperation Organization Science Foundation (ECOSF).

#### Conclusions

China's ability to establish a strong NEV network is a valuable lesson for other countries. Implementation of key strategies involves government support with applicable subsidies, tax incentives, and regulations. To encourage industry growth, other nations should consider adopting similar policies. Investing in research and development has the potential to drive innovation and enhance technology. The expansion of charging networks is essential. Costs and affordability can be increased by scaling production and developing local supply chains. Both sectors played a key role in the successful adoption of NEV in China. Promoting NEVs through consumer incentives and public awareness is a way other countries can promote them. The NEV industry has created jobs and boosted local economies thanks to China's structured regulatory environment. The benefits of building NEV industries can be similar. The environmental benefits are enhanced when NEVs are linked to renewable energy sources. By adopting this approach, sustainability can be achieved. China's continued emphasis on NEVs and clean energy has been essential. Developing NEV infrastructure and markets requires other countries to commit to long-term goals.

Foreign contractors for NEV infrastructure can present challenges, such as technological dependency, higher costs, and economic impacts. Host nations can form partnerships or joint ventures with foreign contractors to transfer knowledge and develop local capabilities to mitigate these issues; in order to develop local expertise, invest in training and education; employ multiple contractors to reduce dependency and increase resilience; organize local manufacturing and supply chains to manage costs and decrease economic dependence.

By adopting these strategies, other nations can advance their NEV industries and achieve sustainable transportation solutions. While the work of «greening» such a critical area as transportation is indeed a huge challenge, China's example proves that a comprehensive approach, serious efforts, and step-by-step improvements in innovation and competitiveness can help achieve this noble goal. One can probably take the liberty of paraphrasing an ancient Chinese proverb and say that a thousand-mile journey in an NEV begins with a small, locally produced part.

#### Acknowledgements

The author also expresses his immense gratitude to Mr. Lu Shujie, Mr. Cao Mingxing, Mr. Li Xudong, and the last but not the least to Mr. Khalil Raza.

#### REFERENCES

- 1 **Zhang L., Qin Q.** China's new energy vehicle policies: Evolution, comparison and recommendation. – Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018. – T. 110. – P. 57–72.
- 2 **Ma Y. et al.** Comprehensive policy evaluation of NEV development in China, Japan, the United States, and Germany based on the AHP-EW model. – Journal of cleaner production, 2019. – T. 214. – P. 389–402.
- 3 **Zhang X., Bai X.** Incentive policies from 2006 to 2016 and new energy vehicle adoption in 2010–2020 in China. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. – T. 70. – P. 24–43.
- 4 **Hu Z., Yuan J.** China's NEV market development and its capability of enabling premium NEV: Referencing from the NEV market performance of BMW and Mercedes in China. – Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018. – T. 118. – P. 545–555.
- 5 **Hou Y. E. V.** industrial integration in the 2020s: Case of Chinese brands Nio, XPeng, and Li Auto to the macro-market developments. – Exploring the Financial Landscape in the Digital Age, 2024. – CRC Press. – P. 614–621.
- 6 **Chen Y. A., Wang X. J., Young M. N.** Geely automotive's acquisition of Volvo. – Asian Case Research Journal, 2015. – T. 19. – №. 01. – P. 183–202.
- 7 **Hao H. et al.** Electric vehicles for greenhouse gas reduction in China: A cost-effectiveness analysis. – Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017. – T. 56. – P. 68–84.
- 8 **Li J. F. et al.** Economic development, energy demand, and carbon emission prospects of China's provinces during the 14th Five-Year Plan period: Application of

CMRCGE model. – Advances in Climate Change Research, 2019. – Т. 10. – №. 3. – Р. 165–173.

9 **Chowdhury M. A.** Development and Progress of Electric Vehicles in China. Běi Jiǔ Zhōu Shì Lì Dà Xué Fǎ Zhèng Lùn Jí, 2022. – Т. 50. – №. 1–2 Hé Bìng Hào. – Р. 31–56.

10 **Liu Y., Kokko A.** NEV technology in China. – Chinese Management Studies, 2012. – Т. 6. – №. 1. – Р. 78–91.

11 **Wu Z. et al.** A socio-technical transition path for new energy vehicles in China: A multi-level perspective. – Technological Forecasting and Social Change, 2021. – Т. 172. – Р. 121007.

Received 05.09.24.

Received in revised form 05.09.24.

Accepted for publication 12.09.24.

**В. С. Есаулкин<sup>1</sup>, И. А. Гондал<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Ұлттық біліктілік университеті, Пәкістан Ислам Республикасы, Исламабад.

05.09.24 ж. баспаға түсті.

05.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

12.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ҚЫТАЙДЫҢ ЖАҢА ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨЛІКТЕРДЕГІ КӨШБАСШЫЛЫҒЫ: СТРАТЕГИЯЛАР ЖӘНЕ ЖАҢАНДЫҚ ӘСЕР.

Бұл мақала Қытайдың жаңа энергетикалық көлігі (ЖЭК) бастамаларының түрленімді әсерін қарастырып, олардың жаһандық көлік инновациялары мен экологиялық тұрақтылықтағы маңыздылығын көрсетеді. ЖЭК термині тек Қытаймен байланысты және электр көліктерді, қосылатын гибриді көліктерді және сутегі отын ұяшығы бар көліктерді қамтиды. ҚХР стратегиясы елдің ластануын және парниктік газдар шығарындыларын азайтуға ұмтылысы болып табылады. Қытайдың ЖЭК секторындағы үстемдігі айтарлықтай субсидиялар мен салықтық жеңілдіктерді, сондай-ақ қарқынды дамып жатқан ішкі нарықты және инфрақұрылымға инвестицияны қамтитын саясатына байланысты. Мақалада бұл саясаттарың отандық өндірісті қалай алға жылжытқаны, технологиялық жетістіктерді ынталандырғаны және өндіріс тиімділігін арттырғаны қарастырылады. Әсіресе, Қытайдың 14-ші бесжылдық жоспары ЖЭК нарықтық үлесін арттыруға және 2060 жылға қарай көміртегі бейтараптығына қол жеткізу мақсатымен олар үшін инфрақұрылымды дамытуға бағытталған. Талдау басқа елдердің де өз ЖЭК өндірісін құру үшін мемлекеттік қолдауды, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар инвестицияларын және инфрақұрылымды кеңейтуді қамтитын ұқсас стратегияларды қабылдау арқылы пайда көре алатынын көрсетеді. Шетелдік технологияларды интеграциялау және жергілікті сараптаманы дамыту мәселесі, сондай-ақ ықтимал проблемалар мен оларды шешу жолдары талқыланады.

*Кілтті сөздер: жаңа энергетикалық көліктер, зарядтау инфрақұрылымы, аккумуляторлық технологиялар, экологиялық таза көлік, нарықты кеңейту, халықаралық серіктестік.*

**В. С. Есаулкин<sup>1</sup>, И. А. Гондал<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Национальный практический университет, Исламская республика Пакистан, Исламабад.

Поступило в редакцию 05.09.24.

Поступило с исправлениями 05.09.24.

Принято в печать 12.09.2024.

### ЛИДЕРСТВО КИТАЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ: СТРАТЕГИИ И ГЛОБАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ.

*В данной статье рассматривается трансформирующий эффект инициатив Китая в области новых энергетических транспортных средств (НЭТС), подчеркивая их важность в глобальных автомобильных инновациях и экологической устойчивости. Термин НЭТС ассоциируется исключительно с Китаем, и включает электромобили, гибридные автомобили с возможностью подзарядки и автомобили на водородных топливных элементах. Стратегией КНР является стремление страны к сокращению загрязнений и выбросов парниковых газов. Доминирование Китая в секторе НЭТС объясняется его политикой, которая подразумевает существенные субсидии и налоговые льготы, а также быстро расширяющийся внутренний рынок и инвестиции в инфраструктуру. В статье рассматривается, как эта политика способствовала внутреннему производству, стимулировала технологические достижения и повысила эффективность производства. Особого внимания заслуживает 14-й пятилетний план Китая, который направлен на увеличение доли рынка НЭТС и развитие инфраструктуры для них с целью достижения углеродной нейтральности к 2060 году. Анализ показывает, что другие страны могли бы также получить выгоду, приняв аналогичные стратегии, которые включают государственную поддержку, инвестиции в НИОКР и расширение инфраструктуры, для создания собственного производства НЭТС. Также рассматривается вопрос интеграции иностранных технологий и развития местного опыта, а также потенциальные проблемы и способы их решения.*

*Ключевые слова: электрические транспортные средства, зарядная инфраструктура, аккумуляторные технологии, экологически чистый транспорт, расширение рынка, международное партнёрство.*



**А. М. Жандарбекова<sup>1</sup>, \*К. А. Мурзабекова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, Астана қ.<sup>2</sup>«Алматы менеджмент университеті», Қазақстан Республикасы, Алматы қ.\*e-mail: [mkaken@mail.ru](mailto:mkaken@mail.ru)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-4005><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4906-8976>**ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫ ҚАУІПСІЗДІГІНІҢ ЖАҒДАЙЫ**

*Көп жылдар бойы Қазақстан Республикасы жол-көлік жарақатының деңгейі жоғары мемлекеттердің бірі ретінде белгілі. Осыған орай мемлекетіміз үшін жол апаттарына қарсы күрес үлкен әлеуметтік, маңызды мәселе.*

*Жол апаттарын болжау олардың туындау ерекшеліктерін егжей-тегжейлі түсінуді, қауіпсіздік жағдайына әсер ететін факторларды бағалауды талап етеді. Жол қозғалыс қауіпсіздігі деңгейін бақылауға және қауіп-қатерді шектеуге мүмкіндік беретін бірқатар әдістер бар. Олардың бірі халық саны және жеке тұлғалардағы автокөліктер санының өсуі.*

*Осы мақалада жол қозғалыс қауіпсіздігін зерттеу әдістері қолданылып, Шығыс Қазақстан облысы аумағында жол қозғалыс қауіпсіздігінің жағдайын анықтайтын негізгі көрсеткіштерге талдау жүргізілді, сонымен қатар жол қозғалыс қауіпсіздігінің жағдайын көліктік және әлеуметтік тәуекел факторларымен бағалау мүмкіндігі қарастырылады. Зерттеу Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің ұлттық статистика бюросының және Қазақстан Республикасының Бас прокуратурасының Құқықтық статистика және арнайы есепке алу комитетінің 2014–2023 жылдар аралығындағы статистикалық деректері негізінде орындалды.*

*Бұл мақалада Шығыс Қазақстан облысы аумағында жол қозғалыс қауіпсіздігі жағдайын бағалаудың критерийлері ретінде әлеуметтік және көліктік тәуекелдер көрсеткіштері қолданылды.*

*Кілтті сөздер: Шығыс Қазақстан облысы, автокөлікпен қамтылу деңгейі, жол-көлік оқиғалары, көлік тәуекелі, әлеуметтік тәуекел.*

**Кіріспе**

Жол апатымен күрес әр мемлекеттің әлеуметтік мәні зор маңызды мәселелерінің бірі екені белгілі [1]. Қабылданып жатқан шараларға қарамастан Қазақстан бойынша жол қозғалысындағы зардаптар статистикасы ел қауіпсіздігіне елеулі қатер төндіретіндей мөлшерге жеткенін көрсетеді [2, 3]. Соның ішінде Шығыс Қазақстан облысы аумағында (ШҚО) бойынша жол апаты мәселесінің өзектілігі айғақ [4, 5].

Жолдардағы жазатайым оқиғалардың алдын алудың бір жолы оларды болжау болып табылады [2, 6]. Қозғалыс қауіпсіздігінің деңгейін бағалау үшін арнайы көрсеткіштер (ЖКО және зардап шеккендер саны, материалдық шығын көлемі) қолданылады. ЖКО көрсеткіштерін салыстырмалы зерттеу үшін ең жиі қолданылатын көрсеткіштерге әлеуметтік (100 мың халыққа шаққандағы өлім саны) және көліктік тәуекелдерді (10 мың көлікке шаққандағы өлім саны) жатқызуға болады [2, 6].

Осы зерттеуде ШҚО аумағы бойынша жол қозғалыс қауіпсіздігі жағдайын көліктік және әлеуметтік тәуекел факторларымен бағалау мүмкіндігі қолданылды.

Зерттеу мақсаты ШҚО аумағында жол қауіпсіздігі жағдайын бағалау.

Зерттеу материалдары мен әдістері: Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің ұлттық статистика бюросының [4] және Қазақстан Республикасының Бас прокуратурасының Құқықтық статистика және арнайы есепке алу комитетінің [5] деректері, сонымен қатар статистикалық талдау, қозғалыс қауіпсіздігі жағдайын бағалау әдістері қолданылды.

**Зерттеу нәтижелері және талқылау**

Әлемдік тәжірибе бойынша жол қауіпсіздігінің жағдайы туралы деректерді талдау ЖКО санын азайтуға бағытталған стратегиялық шешімдермен шараларды әзірлеу үшін маңызды. Жол қозғалыс саласындағы тәуекелдерді басқару жүйесі ЖКО орын алу ықтималдығын, сондай-ақ осы апаттардың салдарынан болатын зардаптардың ауырлығын азайтуға бағытталады [7]. Жол қозғалыс саласындағы тәуекелдерді басқару кезеңдерінің бірі тәуекелдерді талдау болып табылады. Осы зерттеуде халық санының және автокөліктер тіркелуінің өсуі ЖКО және олардың салдарының ауырлығын болжау құралдары ретінде қолданылады [8, 9].

Соңғы онжылдық (2014–2023 жж.) кезеңде ШҚО үшін халық санының 52%, жеке тұлғаларда тіркелген жеңіл автокөліктер санының 5,5 % азайуы, ал автокөлікпен қамтылу деңгейі 45 % жуық артқаны анықталды (1 сурет). Соның ішінде 2022 және 2021 жж. салыстырғанда халық саны 46,26 % төмендеуін ШҚО аумағы екі облысқа (ШҚО және Абай облысына) бөлінуіне байланысты түсіндіруге болады (1 кесте) [10].

Жалпы ШҚО бойынша автокөлікпен қамтылу деңгейі еліміздің басқа өңірлерімен салыстырғанда 2023 ж. ең жоғары көрсеткішті 392 бірлікті көрсетеді [4], яғни автокөліктендірудің орташа еуропалық деңгейіне 21,6 % ғана жетпейді деп айтуға болады [11].

Бүгінде ШҚО халық саны 726,7 мың тұрғынды құрайды (2024 ж. ақпан айында 1), оның 66,6 % қалалық елді мекендерге тиесілі [4]. Қалалық елді мекендерде халық санының өсуі, көше-жол желісі жүктемесінің ұлғаюына әкелетін бірқатар жағымсыз мәселелерді туындатады [12, 13]. Оның ішінде жол апаттары зардаптарының ауырлық салдары ерекше назар аудартады.

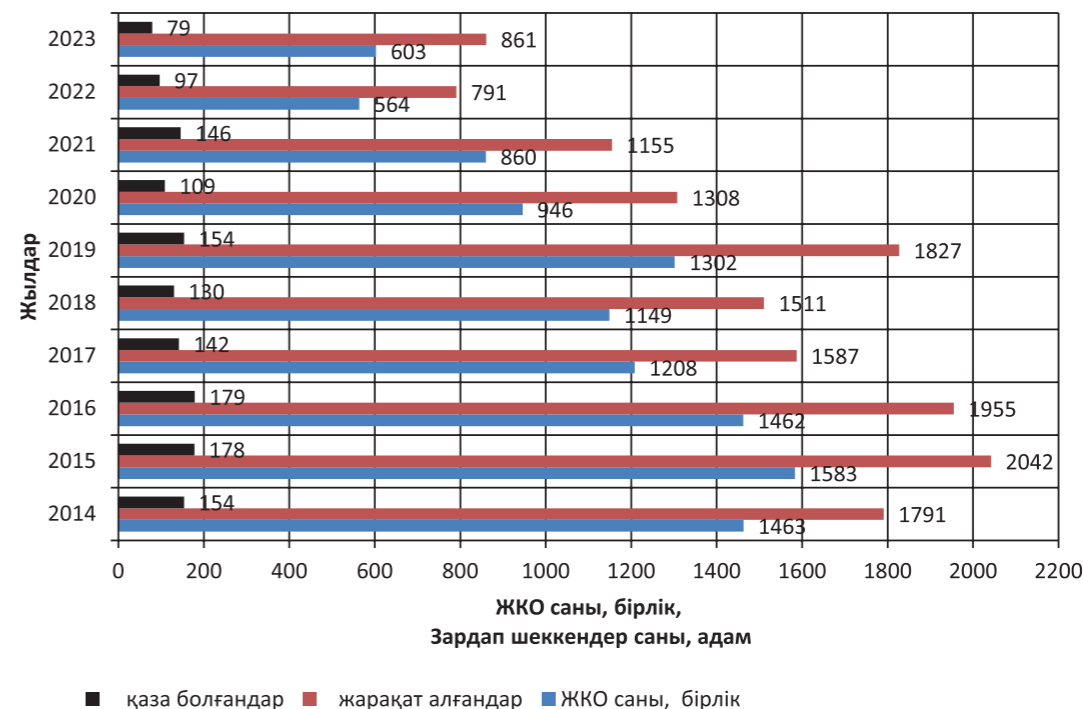
Кесте 1 – 2014–2023 жж. ШҚО халық және жеңіл автокөліктер санының өзгеру динамикасын талдау

Жыл-дар	Халық саны, адам (жыл басындағы көрсеткіш)	Өсу/төмендеу,%	Жеке тұлғалардағы жеңіл автокөліктер саны, мың бірлік	Өсу/төмендеу,%	Халықтың автокөлікпен қамтылу деңгейі, бірлік/1000 адам	Өсу/төмендеу,%
2014	1394388	-	300500	-	215	-
2015	1395324	0,07	294900	-1,86	211	-1,86
2016	1396086	0,05	293100	-0,61	210	-0,47
2017	1389568	-0,47	288500	-1,57	208	-0,95
2018	1383557	-0,43	288300	-0,07	209	0,48
2019	1378527	-0,36	281900	-2,22	205	-1,91
2020	1369635	-0,65	279400	-0,89	204	-0,49
2021	1363797	-0,43	271900	-2,68	200	-1,96
2022	732966	-46,26	272910	0,37	373	86,50
2023	730238	-0,37	284784	4,35	392	5,09

Жоғарыда келтірілген фактілер ШҚО аумағында жол апаты санын азайту әлеуметтік маңызды мәселе екенін көрсетеді. Облыс аумағында соңғы он жылда 11 мыңнан астам ЖКО саны, 1368 адам қазасы, 16196 мыңнан астам жарақат алған адам саны тіркелді (1-сурет) [4, 5].

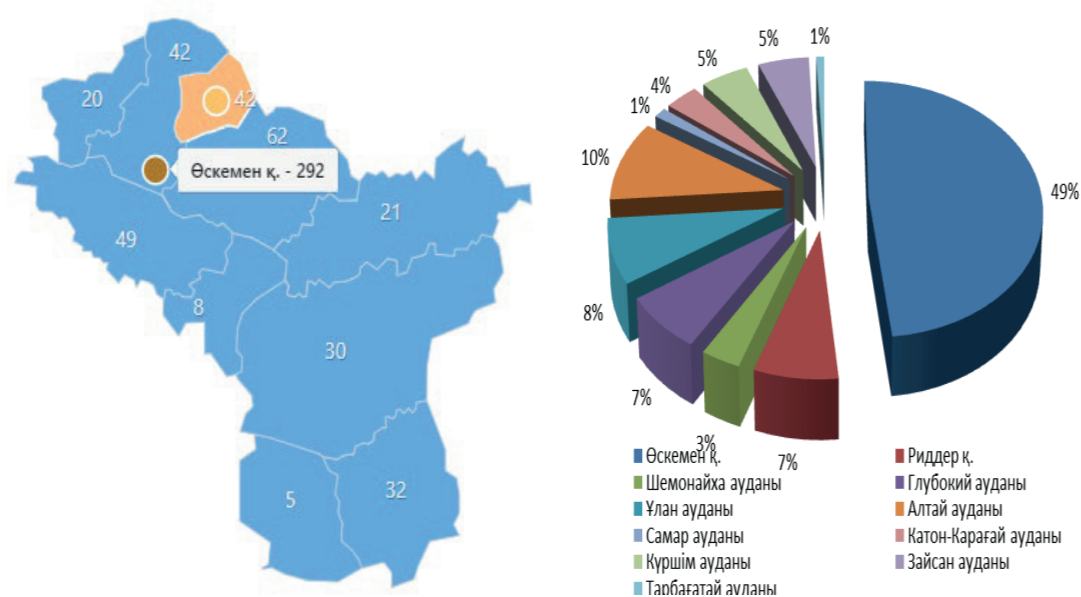
ШҚО аумағында жол қозғалысы қауіпсіздігі көрсеткіштерін ресми деректер бойынша соңғы онжылдық кезеңде талдау нәтижесінде жол-көлік өлімінің екі еседей азайғанын көрсетеді (1-сурет). Бұл жағдайды облыс аумағында халық санының азаю себебімен, сонымен қатар қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша қолданылып жатқан әкімшілік шаралардың жағымды әсерімен байланыстыруға болады [14].

Жол апаттары себептерін талдау барасында көбінде қозғалыс қауіпсіздігінің жалпы жағдайын анықтайтын негізгі фактор жүргізушілердің төмен тәртібі деп түсініліп (2022 ж. ШҚО бойынша 92 % ЖКО себептері) [5], жол жағдайына байланысты фактор ескерілмейді. Апаттылық деңгейі және оның зардаптарының ауыр салдары халықтың әлеуметтік, яғни өмір сүру деңгейіне, сонымен қатар жолдардың нашар жағдайына да тікелей тәуелді екені белгілі [1].



Сурет 1 – ШҚО аумағында жол қозғалысы қауіпсіздігі көрсеткіштерін талдау (2014–2023 жж.)

ШҚО аумағы бойынша жол қозғалысы жағдайын талдауда ЖКО тығыздығын сипаттайтын апат картасы қолданылды (2 сурет). Жол апаттарының басым бөлігі елді мекендерде оның ішінде облыс орталығы Өскемен қ. шоғырланғаны (49 %) анықталды. ШҚО аудандарын салыстырғанда ЖКО ең басым бөлігі Алтай (10 %), Ұлан (8 %), Глубокий (7 %) аудандарына келетіні анықталды.



Апаттылық картасы

ЖКО үлесі

Сурет 2 – ШҚО аудандары бойынша ЖКО талдау нәтижелері (2023ж.)

ШҚО аумағында қозғалыс қауіпсіздігі жағдайын бағалау үшін ЖКО статистикалық деректеріне сандық талдау арқылы оқиғалардың орын алу ықтималдығы анықталды. Алайда, бұл факторлар ЖКО туындау себептерін талдау үшін жеткілікті деп түсінуге болмайды.

ШҚО жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайы келесі екі көрсеткіш бойынша бағаланды:

- көліктік тәуекел (10 мың автокөлікке шаққандағы ЖКО қаза тапқандар саны)

$$KT = K_c / K_c \cdot 10000 \quad (1)$$

$K_c$  - ЖКО қаза тапқандар саны;

$K_c$  – ШҚО бойынша жеке меншікте тіркелінген жеңіл автокөліктердің саны.

- әлеуметтік тәуекел көрсеткіші жол қозғалысында қаза болғандарға (немесе жарақат алғандарға) байланысты, яғни жылына 100000 тұрғынға шаққандағы қаза болғандар санымен анықталады

$$\Theta T = K_c / N \cdot 100000 \quad (2)$$

мұндағы:

$K_c$  – жол-көлік оқиғаларында қаза тапқандар саны;

$N$  – ШҚО халқының саны;

100000 – алынған мәнді шартты бірліктерге түрлендіру коэффициенті.

«Жол-көлік оқиғаларынан қаза тапқандар саны» көрсеткіші Қазақстан Республикасының ішкі істер органдарының жол қозғалысы қауіпсіздігінің деңгейін арттыру және ЖКО салдарынан зардап шеккендер санын азайту бойынша қабылданған шараларының тиімділігін сипаттайды.

Әлеуметтік тәуекел халық денсаулығына тиетін зардаптардың және себеп-салдарлық тізбектің соңғы буыны болғандықтан көліктік тәуекелмен салыстырғанда қозғалыс қауіпсіздігін бағалаудың маңызды өлшемі ретінде қарастырылады.

ЖКО болжамды санын арнайы факторларды (жол учаскелері, жүргізушілер, көлік құралдары) ескеретін есептеу әдістері арқылы анықтауға болады.

Жол апаттары статистикалық деректерін талдау барысында жүйелі және кездейсоқ туындайтын ЖКО бөліп қарастыруға болады [2, 6]. Талдау барысында ЖКО санының жүйелі өзгеруін ескеру кездейсоқ өзгерістерге қарағанда мыңыздырақ. Апат санының кездейсоқ өзгеруіне климаттық жағдайлар, жүргізушінің психофизиологиялық жай-күйі, жол қозғалысын реттеудің техникалық құралдарының істен шығуы және басқа да сол сияқты себептер әсер етеді [6]. Ал, ЖКО санының жүйелі өзгеруіне қозғалыс қарқындылығы мен жол қозғалыс қауіпсіздігін анықтайтын тәуекел факторлары әсер етеді.

ЖКО санының кездейсоқ өзгеруі олардың жалпы санының негізінде есептелінеді [6]. Мысалы, ШҚО аумағы үшін 2014 ж. бұл көрсеткіштің мәні  $\sqrt{1583} \approx 39$ , яғни 2,61% құрайды (2-кесте).

Қозғалыс қауіпсіздігін бағалаудың таңдалған көрсеткіштеріне сәйкес, ШҚО аумағы үшін қарастылған уақыт аралығында көліктік және әлеуметтік тәуекелдердің мәндері есептелді, мысалы, 2014 ж. үшін:

$$KT = \frac{154}{300500} \cdot 10000 = 5,12$$

$$\Theta T = \frac{154}{100000} \cdot 100000 = 11,04$$

Кесте 2 – ШҚО аумағы бойынша жол қозғалысы қауіпсіздігі жағдайының көрсеткіштерін талдау

Жылдар	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ЖКО саны, бірлік	1463	1583	1462	1208	1149	1302	946	860	564	603
Зардап шеккендер саны, адам.	1945	2220	2134	1729	1641	1981	1417	1301	888	940
жарақат алғандар	1791	2042	1955	1587	1511	1827	1308	1155	791	861
қаза болғандар	154	178	179	142	130	154	109	146	97	79
100 000 халық санына шаққандағы ЖКО саны	105	113	105	87	82	95	69	63	77	д/ж
ЖКО санының кездейсоқ өзгеруі, %	2,61	2,51	2,62	2,88	2,95	2,77	3,25	3,41	4,21	4,07
Көліктік тәуекел	5,12	6,04	6,11	4,92	4,51	5,46	3,90	5,37	3,55	2,77
Әлеуметтік тәуекел	11,04	12,76	12,82	10,22	9,40	11,17	7,96	10,71	13,23	10,82



Ескерту: д/ж – деректер келтірілмеген

Сонымен, зерттеу нәтижесінде ШҚО аумағы бойынша жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайын объективті бағалауға қажетті оның мәндері анықталды.

Кездейсоқ ЖКО санын нақты анықтау үшін талдаудың ықтималдық әдістерін қолдану және ЖКО кездейсоқ өзгеру аймағы ескерілді. Бұл аймақ ықтималдығы [6] сәйкес  $P=0,96$  немесе 96% сенімділік аралығында анықталды, мысалы, 2014 ж. үшін 1463 - ден 1465,6 дейін ЖКО санын құрады.

Әлеуметтік тәуекел көрсеткішімен автокөліктендіру деңгейінің арасында тығыз байланыстың болмауын қарастырылып отырған көрсеткішке әсер ететін басқа маңызды факторларды ескеру қажеттігін көрсетеді.

#### Қорытынды

Осы мақалада жол қозғалысы қауіпсіздігін зерттеу әдістері қолданылып, ШҚО аумағында жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайын айқындайтын негізгі көрсеткіштерге талдау жүргізілді. Сонымен қатар, Шығыс Қазақстан аумағында жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайын көліктік және әлеуметтік тәуекел факторларымен бағалау мүмкіндігі қарастырылды.

ШҚО аумағының жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайын бағалау осы бағыттағы жұмыстардың бастапқы нүктесі болып, мүдделі тараптарға жол қозғалысына қатысушылардың қауіпсіздік жағдайын сипаттайтын негізгі көрсеткіштер туралы сапалы және шынайы ақпарат қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Жоғарада келтірілген зерттеу нәтижелері ШҚО аумағында жол қозғалысы қауіпсіздігі жағдайын бағалаудың және жол қозғалысын жақсартуға бағытталған тиімді іс-шаралары құрастырудың негізін құрайды.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021-2030 20 October 2021. – [Electronic resource]. – <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>.

2 **Жандарбекова, А. М., Мурзабекова, К. А.** Астана қаласының жол қозғалысы қауіпсіздігінің жағдайын талдау ҚазККА Хабаршысы № 1 (124), 2023. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-124-1-128-135>

3 **Ибраев, К., Ибраев, А., Капский, Д., Кот, Е., Рубинский, А., Богданович, С.** Анализ состояния безопасности дорожного движения в Республике Казахстан Наука и Техника Том 18, № 6 (2019). – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-6-482-489>

4 Ұлттық статистика бюросы. қазақстан республикасы стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі. – [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz>

5 [Electronic resource]. – <https://www.gov.kz/memleket/>

6 **Решетников, Е. Б., Абрамова, Л. С., Чернобаев, Н. С., Ширин, В. В.** Анализ организации дорожного движения в центральной части города Харькова/

[Electronic resource]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-v-tsentralnoy-chasti-goroda-harkova>

7 Жол жүрісі туралы Қазақстан Республикасының Заңы 2014 жылғы 17 сәуірдегі № 194-V ҚРЗ. [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1400000194>

8 Analysis of road traffic crashes in the State of Qatar. International Journal of Injury Control and Safety Promotion 26(2):1-9 May 2019/ [Electronic resource]. – <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17457300.2019.1620289>

9 Determination of the Risk Factors That Influence Occurrence Time of Traffic Accidents with Survival Analysis. – [Electronic resource]. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6123587>

10 Юридическое разделение ВКО и области Абай вынесли на публичное обсуждение. – [Electronic resource]. – <https://astanatv.kz/ru/news/85216/>

11 Рейтинг стран мира по уровню автомобилизации. – [Electronic resource]. – <http://gtmarket.ru/ratings/passenger-cars-per-inhabitants/info>

12 **Жандарбекова А. М., Шаймерденов С. Е., Мурзабекова К. А.** К решению проблемы обеспечения безопасности движения на городском пассажирском транспорте/ Вестник КазАТК им. М. Тынышпаева, № 4, 2019. – С. 105–111. – [Electronic resource]. – <https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/issue/view/5/5>

13 **Жандарбекова, А. М., Мурзабекова, К. А.** Қазақстан Республикасының жолдарындағы апаттылық жағдайын талдау. Вестник КазАТК им. М. Тынышпаева, №2 (121), 2022. - С 126-132./ [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-126-132>

14 Как организуется обеспечение безопасности дороги и дорожного движения в ВКО? – [Electronic resource]. – <https://dknews.kz/ru/v-strane/186483-kak-organizuetiya-obespechenie-bezopasnosti-dorogi-i>

#### REFERENCES

1 Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021-2030 20 October 2021 Available at: [Electronic resource]. – <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030> (Accessed on 15 February 2024).

2 **Zhandarbekova, A. M., Murzabekova, K. A.** Astana qalasyның jol qozǵalysy qauipsızdıǵınıń jaǵdaiyn taldau [Analysis of the state of road traffic safety in the city of Astana] KazKKA Khabarchysi No. 1 (124), 2023. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-124-1-128-135>

3 **Ibraev, K., Ibraev, A., Kapskij, D., Kot, E., Rubinskij, A., Bogdanovich S.** Analiz sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Respublike Kazakhstan. [Analysis of the state of road traffic safety in the Republic of Kazakhstan] Science and Technology Volume 18, 2019. – No. 6 – <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-6-482-489>

4 Ұлттық статистика бюросы. qazaqstan respublikasy strategialyq josparlau және reformalar agenttigi. [bureau of national statistics. agency of strategic planning and reforms of the republic of kazakhstan]. – [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz>

5 [Electronic resource]. – <https://www.gov.kz/memleket/>

6 Reshetnikov, E. B., Abramova, L. S., Chernobaev, N. S., Shirin, V. V. Analiz organizatsii dorozhnogo dvizheniya v central'noj chasti goroda Khar'kova [Analysis of the organization of road traffic in the central part of the city of Kharkiv]/ [Electronic resource]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-v-tsentralnoy-chasti-goroda-harkova>.

7 Jol жүрiсi туралы Qazaqstan Respublikasynyñ Zañы 2014 жылғы 17 сәуірдегі № 194-V QRZ. [Law of the Republic of Kazakhstan on Road Traffic dated April 17, 2014 No. 194-V KRZ]. [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1400000194>

8 Analysis of road traffic crashes in the State of Qatar. International Journal of Injury Control and Safety Promotion 26(2):1-9 May 2019/ Available at: [Electronic resource]. – <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17457300.2019.1620289>

9 Determination of the Risk Factors That Influence Occurrence Time of Traffic Accidents with Survival Analysis. Available at: [Electronic resource]. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6123587>

10 Yuridicheskoe razdelenie VKO i oblasti Abaj vynesli na publichnoe obsuzhdenie. [The legal division of the VKO and the Abai region was brought to public discussion]. [Electronic resource]. – <https://astanatv.kz/ru/news/85216/>

11 Rejting stran mira po urovnyu avtomobilizatsii [Ranking of the countries of the world according to the level of automobilization]. [Electronic resource]. – <https://gtmarket.ru/ratings/passenger-cars-per-inhabitants/info>

12 Zhandarbekova A. M., Shajmerdenov S. E., Murzabekova K. A. K resheniyu problemy obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na gorodskom passazhirskom transporte [The solution to the problem of ensuring the safety of movement in the city passenger transport/ Vestnik KazATK im. M. Tynyshpaeva, No. 4, 2019. – С. 105–111.]. – [Electronic resource]. – <https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/issue/view/5/5>

13 Zhandarbekova A. M., Murzabekova K. A. Qazaqstan Respublikasynyñ joldaryndaғы apattylyq jaғдайın taldaу [Analysis of accidents on the roads of the Republic of Kazakhstan]. Vestnik KazATK im. M. Tynyshpaeva, No. 2 (121), 2022. – С. 126–132. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-126-132>

14 Kak organizuetsya obespechenie bezopasnosti dorogi i dorozhnogo dvizheniya v VKO? [How is the provision of road safety and traffic in VKO organized?]. – [Electronic resource]. – <https://dknews.kz/ru/v-strane/186483-kak-organizuetsya-obespechenie-bezopasnosti-dorogi-i>.

05.07.24 ж. баспаға түсті.

05.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

15.07.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. М. Жандарбекова<sup>1</sup>, \*К. А. Мурзабекова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана  
<sup>2</sup>Алматы менеджмент университет, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 05.07.24.

Поступило с исправлениями 05.07.24.

Принято в печать 15.07.2024.

### **СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*На протяжении многих лет Республика Казахстан известна как одна из стран с высоким уровнем дорожно-транспортного травматизма. В связи с этим борьба с дорожно-транспортными происшествиями является большой социальной и важной проблемой страны.*

*Прогнозирование дорожно-транспортных происшествий требует детального понимания особенностей их возникновения, оценки факторов, влияющих на состояние безопасности. Существует ряд методов, позволяющих оценить уровень безопасности дорожного движения и ограничивать риск. Одним из них является увеличение количества населения и автотранспортных средств у индивидуальных владельцев. Исследование проведено на основе статистических данных Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан и Комитета по правовой статистике и специальным учетам Генеральной прокуратуры Республики Казахстан за период с 2014 по 2023 год.*

*В данной статье в качестве критериев оценки состояния безопасности дорожного движения на территории Восточно-Казахстанской области использованы показатели социальных и транспортных рисков.*

*Ключевые слова: Восточно-Казахстанская область, уровень автомобилизации, дорожно-транспортные происшествия, транспортный риск, социальный риск.*

*А. М. Zhandarbekova<sup>1</sup>, \*К. А. Murzabekova<sup>2</sup>*

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

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

Received 03.07.24.

Received in revised form 03.07.24.

Accepted for publication 15.07.24.

### **STATE OF ROAD SAFETY IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION**

*For many years, Kazakhstan has been known as one of the countries with a high level of road traffic injuries. In this regard, the fight against road accidents is a big social and important problem of the country.*

*Predicting road traffic accidents requires a detailed understanding of the characteristics of their occurrence and an assessment of the factors influencing the state of safety. There are a number of methods to assess the level of road safety and limit risk. One of them is the increase in population and vehicle ownership by individual owners. This article uses research methods for road safety, analyzes the main indicators that determine the state of road safety in the East Kazakhstan region, as well as the possibility of assessing the state of road safety, taking into account risk factors for road safety and the risk of public health. The study was conducted on the basis of statistical data from the Bureau of National Statistics, Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan and the Committee on Legal Statistics and Special Accounts of the General Prosecutor's Office of the Republic of Kazakhstan for the period from 2014 to 2023.*

*This article uses research methods for road safety, analyzes the main indicators that determine the state of road safety in the East Kazakhstan region, as well as the possibility of assessing the state of road safety taking into account factors of transport and social risk.*

*Keywords: East Kazakhstan region, level of motorization, road accidents, transport risk, social risk.*

МРНТИ 73.31.75

<https://doi.org/10.48081/WTLR2397>**\*О. Г. Киселёва<sup>1</sup>, Н. А. Токмурзина-Коберняк<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Satbayev University, Казахстан, Алматы\*e-mail: [o.kisselyova@satbayev.university](mailto:o.kisselyova@satbayev.university)<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1569-7731><sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5589-5663>

### **НОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

*В последние годы наблюдается активное увеличение доли электромобилей в транспортных парках во многих странах мира, что вызывает необходимость широкого внедрения соответствующей инфраструктуры для зарядки электромобилей. Развертывание электроразрядной инфраструктуры должно осуществляться в соответствии со стратегией, учитывающей территориальные возможности локализации инфраструктурных объектов, спрос и предложение по предоставлению зарядных услуг, поведения пользователей электромобилей.*

*В статье рассмотрены различные модели нормирования электроразрядной инфраструктуры, которые позволяют определить потребность в объектах зарядки электромобилей. В соответствии с нормативной моделью потребность определяется в зависимости между количеством электромобилей и количеством электроразрядных станций. В модели на основе энергобаланса определяются прогнозные данные распространения электромобилей для определенных регионов и далее расчетным путем устанавливается количество и распределение точек зарядки для конкретного года. При этом количество пунктов зарядки и электромобилей соотносятся друг с другом с использованием квот. В модели на основе параметров электромобилей потребность определяется в зависимости от средних значений пробега электромобиля на одном заряде, недельного пробега электромобиля, км и продолжительности одной зарядки.*

*Результаты развития электроразрядной инфраструктуры представлены на примере города Алматы.*

*Ключевые слова: электромобили, электроразрядные станции, инфраструктура, методы нормирования, прогноз развития.*

### **Введение**

В последние годы для мира характерны тренды, демонстрирующие стремительный рост в производстве и приобретении электромобилей. Данные тренды диктуют потребность развивать зарядную инфраструктуру в мире для того чтобы рынок электромобилей оставался стабильным и устойчивым достаточно продолжительный период времени.



По состоянию на конец 2022 года во всем мире уже насчитывалось 2,7 млн. общественных зарядных станций, более 900 000 из которых были установлены в 2022 году, что примерно на 55% больше, чем в 2021 году. По данным агентства Bloomberg NEF ожидается, что каждый десятый автомобиль, купленный в 2025 году, будет электрическим, а к 2040 году миру потребуется более 12 млн. общественных зарядных станций и почти \$400 млрд. на инфраструктурные расходы [1]. Аналогичные данные приводит Международное энергетическое агентство (IEA), согласно которым к 2030 году сценарий Net Zero предусматривает установку 17 млн. общедоступных зарядных станций, что повлечет за собой значительное увеличение по сравнению с 900 000 ежегодных добавлений, которые были установлены в 2022 году (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Общественно доступные зарядные станции для электромобилей в сценарии Net Zero, 2015-2030 гг. (Источник: Международное энергетическое агентство (IEA))

Несмотря на то, что число общественных зарядных станций ежегодно увеличивается, в мире наблюдается потребность по ускорению их внедрения. Количество электрочарядных станций (ЭЗС) должно обеспечивать пользователям электромобилей тот же уровень удобства и доступности, что и при заправке транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Целью научного исследования является исследование возможности применения различных методов для определения потребности в объектах электрочарядной инфраструктуры в городе Алматы.

#### Материалы и методы

Для того чтобы выполнить расчет потребности в зарядной инфраструктуре рекомендуется использовать несколько методов и выбрать тот, который

обеспечит результаты, наиболее приближенные к текущим условиям развития рынка электромобилей, и минимальные погрешности отклонения от стандартов и нормативов. Среди множества методов надо выделить модели, которые базируются на:

- нормативах;
- балансе энергопотребления;
- параметрах электромобилей.

Нормативная модель и модель на основе энергобаланса позволяют установить количество ЭЗС в зависимости от количества электромобилей.

В нормативной модели для определенной территориальной единицы предполагается установление квот, которые количественно отражают соотношение числа электромобилей к зарядным станциям, либо соотношение числа зарядных станций на единицу площади территории. В случаях, когда необходимо определить число зарядных станций на дорожной инфраструктуре, следует пользоваться нормативом по частоте их установки. Например, установить норматив по расстоянию между двумя соседними ЭЗС.

Кроме того, нормативная модель, которая используется в большинстве стран мира, устанавливает соотношение быстрых и медленных ЭЗС в их общем количестве. Как правило, медленные ЭЗС используют переменный ток и имеют мощность до 22 кВт, быстрые ЭЗС работают от постоянного тока мощностью от 50 кВт до 100 кВт.

Нормативная модель является наиболее простой для ее применения в любых условиях.

Например, в странах Европейского Союза (ЕС) зарядная инфраструктура для электромобилей развивается согласно следующим нормативов [3]:

- 1 ЭЗС на 10 электромобилей, или 0,1 ЭЗС на 1 электромобиль;
- 1 ЭЗС на 60 км дорог транспортной сети;
- мощность обычных ЭЗС – менее 22 кВт;
- мощность быстрых ЭЗС – более 22 кВт.

В нормативной модели ЕС не определено соотношение медленных и быстрых зарядных станций, но по факту, начиная с 2020 года наблюдается доля быстрых ЭЗС в размере около 15%.

В регионах Российской Федерации (РФ) стремятся к выполнению норматива, который по количественному соотношению электромобилей и ЭЗС совпадает с нормативом ЕС, а по соотношению ЭЗС к площади и мощности ЭЗС несколько отличаются от нормативов ЕС, а именно [4]:

- 1 ЭЗС на 10 электромобилей, или 0,1 ЭЗС на 1 электромобиль;
- 1 ЭЗС на 100 км междугородных дорог;
- мощность обычных ЭЗС – менее 44 кВт;
- мощность быстрых ЭЗС – более 150 кВт.

Доля быстрых ЭЗС согласно нормативов, принятых в РФ, составляет 40% от общего их количества.

Надо отметить, что сегодня в мире отслеживаются некоторые преобразования в нормативной модели развития электротранспортной инфраструктуры. Данные изменения происходят в связи с тем, что в странах ЕС размещено разное количество ЭЭС, которое вместе с тем еще и отличаются долей по мощности зарядки. В некоторых странах преобладает доля быстрых ЭЭС и наоборот. Поэтому в настоящее время рассматривается переход на норматив количества ЭЭС, исключительно установленный по их мощности. В ЕС предложены нормативы: 1 кВт на 1 электромобиль и 0,66 кВт на 1 гибридный электромобиль.

Явным преимуществом применения нормативной модели для города Алматы является достаточность данных только по количественному значению электромобилей в городе.

Для того чтобы эффективно применять модель на основе энергобаланса необходимо иметь прогнозные данные распространения электромобилей в определенном регионе. То есть на основе прогноза устанавливается количество электромобилей и ЭЭС для определенного периода, которые соотносятся между собой по установленным квотам. Квоты устанавливают количество зарядных мест отдельно для жилых домов, для рабочих мест, для публичных и общественных мест.

В модели приведена формула, позволяющая определять такие квоты на основе технических и поведенческих параметров через энергетический баланс, т.е. объем энергии, потребляемой электромобилями, должен соответствовать объему энергии, затрачиваемой на зарядных станциях [3]. Тогда количество энергии, необходимое для перезарядки электромобилей в общественных местах, можно описать следующим уравнением энергобаланса [5]:

$$V \times e \times d \times R_i = C_i \times p_i \times 24[h] \times U_i; \quad i = 1,2$$

где  $i = 1,2$  – различные типы общественных зарядок (обычные и быстрые);

$V$  – количество электромобилей в регионе;

$e$  – среднее потребление энергии электромобилем на 1 км пути;

$d$  – средний дневной пробег электромобиля;

$R_i$  – доля энергии, восполняемой на зарядных станциях типа  $i$ ;

$C_i$  – количество зарядных станций типа  $i$  в регионе;

$p_i$  – мощность зарядных станций типа  $i$ ;

$U_i$  – уровень загруженности зарядных станций типа  $i$ .

Формула (1) содержит технические переменные ( $e$ ,  $d$  и  $p_i$ ), переменные с большой степенью неопределенности ( $R_i$  и  $U_i$ ), параметры  $C_i$  и  $V$ , которые определяются на основе прогнозных данных по распространению электромобилей.

Рекомендованные нормы квоты по зарядным станциям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы квот для зарядных станций по месту их установки

Место установки пункта заряда	Квоты на один частный электромобиль	
	ЕС	РФ
Жилой дом	0,9–1,0	около 0,5
Рабочее место	0,1–0,6	0,01
Общественные места	Определяется расчетным путем в соотношении обычных и быстрых ЭЭС 0,85 и 0,15	Определяется расчетным путем в соотношении обычных и быстрых ЭЭС 0,6 и 0,4

Расчеты необходимо выполнять для нескольких сценариев развития электротранспортной инфраструктуры, например, пессимистичный, реалистичный и оптимистичный.

Из плюсов для применения данной модели в городе Алматы надо отметить, что в модели на основе энергобаланса рассматривается относительно большая территория для планирования развития инфраструктуры на десятилетний период. А также модель исходит из данных, доступных на ранних стадиях адаптации технологии электромобилей, что соответствует неопределенности в развитии рынка электромобилей в РК.

Модель на основе параметров электромобилей. Количество зарядных станций также можно определить через оптимизацию соотношения зарядных станций к электромобилям, для чего необходимы средние значения параметров электромобилей, например, пробег на одном заряде, недельный пробег электромобиля или время зарядки.

При использовании данной модели следует нормы автозаправочных станций (АЗС) адаптировать к ЭЭС. Согласно своду правил 42.13330.2011 для определения потребности в ЭЭС применяется норматив - 1 топливораздаточный пистолет на 1200 автомобилей [6]. Тогда нормы для зарядных станций определяются путем оптимального соотношения зарядных станций к электромобилям:

$$X_s = \frac{X_a}{\frac{T_s}{T_a} \times \frac{N_s}{N_a}} \quad (2)$$

где  $X_s$  и  $X_a$  – нормы количества электромобилей и автомобилей соответственно;

$T_s$  и  $T_a$  – время зарядки электромобиля и заправки автомобиля соответственно, мин.;

$N_s$  и  $N_a$  – среднее количество заправок в неделю.

Применение модели на основе параметров электромобилей для города Алматы потребует обработки большого количества данных для получения средних значений необходимых параметров.

#### Результаты и обсуждения

Казахстан заинтересован в развитии инфраструктуры для электромобилей. На текущий период в стране планомерно проводится работа по развитию электротранспортной инфраструктуры, реализуется Дорожная карта по созданию к 2029 году во всех крупных городах необходимой инфраструктуры для

электромобилей [7; 8]. Например, в городе Алматы до 2025 года планируется установка 500 ЭЗС [9]. Согласно прогнозным данным по парку электромобилей в г. Алматы к 2030 году количество электромобилей достигнет следующих значений по трем прогнозным сценариям развития:

- оптимистичный – 99407;
- реалистичный – 61130;
- пессимистичный – 31751.

По нормативной модели необходим один параметр – это количество электромобилей. Тогда при значении норматива: 1 ЭЗС на 10 ЭМ прогнозные значения количества ЭЗС для г. Алматы к 2030 году составят: по оптимистичному сценарию – 9941, по реалистичному сценарию – 6113, по пессимистичному сценарию – 3175.

Согласно модели на основе энергобаланса для г. Алматы получены значения количества ЭЗС к 2030 году с разделением на быстрые и медленные (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты прогнозных данных по развитию ЭЗС в г. Алматы к 2030 году согласно модели на основе энергобаланса

Сценарий	Количество ЭЗС		
	мощностью 150 кВт (1 ЭЗС-30 ЭМ)	мощностью 22 кВт (1 ЭЗС-5 ЭМ)	Всего
оптимистичный	3313	19881	23194
реалистичный	2038	12226	14264
пессимистичный	1058	6350	7408

При нормировании потребности электромобилей по модели, учитывающей параметры электромобилей, необходимы средние значения пробега на одном заряде, недельного пробега электромобиля и времени зарядки.

В городе Алматы самыми популярными моделями электромобилей являются Zeekr, Tesla, Volkswagen и BYD. Для определения запаса хода электромобилей приняты значения для указанных моделей электромобилей, которые получены в результате тестирования электромобилей при температуре около -20 °С [8]. Электромобили тестировались на городских дорогах и трассах при плавном движении. Когда заряд аккумулятора падал до 0%, фиксировался пробег и сравнивался с паспортным. Замеры показали, что реальный запас хода при низких температурах у электромобилей составляет около 50% от заявленного производителями. Так как испытания электромобилей проводились в условиях низких температур, то пробег на одном заряде можно принять без понижающего коэффициента. Поэтому для расчетов можно принять среднее значение запаса хода электромобилей - 270 км.

Среднее значение недельного пробега электромобиля для условий г. Алматы составляет около 200-250 км. При обеспечении зарядными станциями заряда электромобилей около 80%, необходимое количество зарядок в неделю на один электромобиль составит 1,15, что соответствует 1-2 зарядки в неделю.

Мировой опыт развития электроразрядной инфраструктуры свидетельствует о наличии как быстрой, так и медленной инфраструктуры. Анализ источников позволяет прийти к выводу, что постепенно в мире доля медленных зарядок будет сокращаться в пользу быстрых зарядок [9]. И это подтверждает заключение о наиболее целесообразном соотношении быстрых и медленных зарядных станциям для г. Алматы в значении 70% и 30% к 2030 году.

Для расчета ЭЗС на основе оптимального соотношения зарядных станций к электромобилям к 2030 году по формуле (2) приняты среднее время зарядки электромобиля на медленной зарядной станции 6 часов (360 минут) и долю медленных станций – 30%; время быстрой зарядки – 0,5 ч (30 минут) и доля быстрых станций – 70%. С учетом количественного соотношения типов ЭЗС, времени зарядки на каждом типе ЭЗС, уровня спроса среднее значение времени зарядки электромобилей для г. Алматы составляет 215 мин. В результате получена норма не менее 1 зарядной станции на 81 электромобиль.

Таким образом, по методу определения количества ЭЗС на основе параметров электромобилей, получается, что чем меньше время требуется на зарядку электромобиля, тем меньшее количество ЭЗС необходимо устраивать. Полученные результаты показывают, что использование в формуле (2) меньшего значения времени зарядки отдаляет результаты количества ЭЗС от нормативной модели, в которой принимается 10 ЭМ на 1 ЭЗС.

Сравнение полученных результатов количества ЭЗС по трем моделям приведено на рисунке 2.

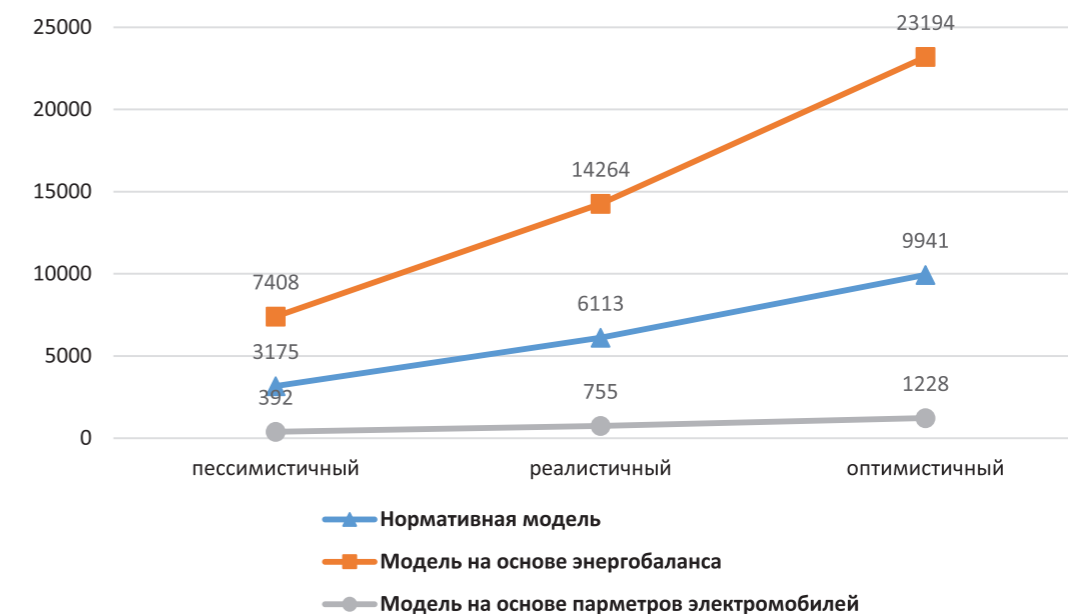


Рисунок 2 – Результаты прогнозных данных по развитию ЭЗС в г. Алматы к 2030 году



Как видно из рисунка 2, полученные результаты количества ЭЗС по разным моделям нормирования, значительно отличаются друг от друга.

#### Выводы

Одним из факторов, сдерживающих покупки и продажи электромобилей, считается недостаточность развития инфраструктуры для их зарядки. Решение вопроса по определению оптимального количества зарядных станций требует тщательной проработки. Если будет установлено слишком много зарядных станций, инфраструктура будет недостаточно использоваться и, следовательно, не сможет эксплуатироваться экономично. И наоборот, чтобы стимулировать спрос населения на электромобили надо сделать доступной инфраструктуру в любое время суток и исключить возможные сложности с их подзарядкой.

Рассмотренные модели позволяют определить потребность в электроразрядных станциях. В условиях города Алматы для определения количества электроразрядных станций применимы все представленные модели. Нормативная модель является одной из наиболее простых способов планирования инфраструктуры. При использовании модели на основе энергобаланса понадобятся значения параметров, официально принятых в РК, и характерных для определенной территории (среднее потребление энергии электромобилем на 1 км пути, средний дневной пробег электромобиля, количество зарядных станций разных типов, их мощность, уровень загруженности и др.). Нормирование ЭЗС по модели на основе параметров электромобилей требует обработки большого количества данных для получения средних значений параметров электромобилей.

Рекомендуется для планирования электроразрядной инфраструктуры для города Алматы пользоваться результатами количества ЭЗС, полученными нормативным методом для реалистичного сценария развития. Таким образом, прогноз развития ЭЗС согласно нормативной модели по реалистичному сценарию в значении 6113 ЭЗС следует считать ориентиром для дальнейшего планирования потребности в электроразрядной инфраструктуре к 2030 году в г. Алматы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Сайт исследовательского агентства Bloomberg NEF. – [Электронный ресурс]. – <https://about.bnef.com/> (дата обращения: 03.05.2024).
- 2 Сайт Международного энергетического агентства (IEA). – [Электронный ресурс]. – <https://www.iea.org/> (дата обращения: 03.05.2024).
- 3 **Евдокимов, Д. Ю., Пономарев, Ю. Ю.** Развитие электроразрядной инфраструктуры в регионах России: сценарный анализ // RUSSIAN ECONOMIC DEVELOPMENT. – 2022. – Том 29. - № 11 – С. 59–76.
- 4 Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – <https://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf> (дата обращения: 03.05.2024).

5 **Wirges, J., Linder, S., Kessler, A.** Modelling the development of a regional charging infrastructure for electric vehicles in time and space // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2012. – Т. 12. – № 4.

6 СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

7 Дорожная карта по созданию к 2029 году во всех крупных городах необходимой инфраструктуры для электромобилей. Утверждена Первым заместителем Премьер-министра РК 22 июля 2023 года, №11-01/01-97//2.

8 **Калиев, Е., Жуманов, М., Турсымбекова, З., Мырзагельдиев, Р., Козбагаров, Р.** Перспективы развития электромобилей в мире и нашей стране // Вестник КазАТК. – 2024. – 130(1), С. 30–37. – <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-130-1-30-37>.

9 Постановление Правительства Республики Казахстан «Об утверждении Плана мероприятий по реализации поручений Президента Республики Казахстан по социально-экономическому развитию города Алматы» от 13 сентября 2023 года № 785.

10 40 моделей электромобилей сравнили по запасу хода при - 20 °С. – [Электронный ресурс]. – <https://www.ixbt.com/news/2021/12/20/40-20-c.html> (дата обращения: 05.05.2024)

11 **Ратнер, С. В., Маслова, С. С.** Государственное стимулирование развития рынка электрических транспортных средств: мировой опыт // Finance and Credit. – 2017. – Vol. 23, iss. 22. – P. 1281–1299. – <https://doi.org/10.24891/fc.23.22.1281>.

#### REFERENCES

- 1 Sayt issledovatel'skogo agentstva Bloomberg NET. [Bloomberg NEF research agency website. – [Electronic resource]. – <https://about.bnef.com/> (Access date: 03.05.2024).
- 2 Sayt Mezhdunarodnogo energeticheskogo agentstva (IEA). [International Energy Agency (IEA) website]. – [Electronic resource]. – <https://www.iea.org/> (Access date: 03.05.2024).
- 3 **Yevdokimov, D. U., Ponomarev, U. U.** Razvitiye elektrozapravochnoy infrastruktury v regionakh Rossii: stsennyy analiz [Development of electric filling infrastructure in Russian regions: scenario analysis] // RUSSIAN ECONOMIC DEVELOPMENT. – 2022. – Tom 29. – № 11 – P. 59–76.
- 4 Kontseptsii po razvitiyu proizvodstva i ispol'zovaniya elektricheskogo avtomobil'nogo transporta v RF na period do 2030 goda [Concepts for the development of production and use of electric motor transport in the Russian Federation for the period up to 2030.]. – [Electronic resource]. – <https://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf> (Access date: 03.05.2024).
- 5 **Wirges, J., Linder, S., Kessler, A.** Modelling the development of a regional charging infrastructure for electric vehicles in time and space // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2012. – Т. 12. – № 4.

6 SP 42.13330.2011 - Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy [Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements].

7 Dorozhnaya karta po sozdaniyu k 2029 godu vo vseh krupnykh gorodakh neobkhodimoy infrastruktury dlya elektromobiley. Utverzhdena Pervym zamestitelem Prem'yer-ministra RK 22 iyulya 2023 goda, №11-01/01-97//2// [Roadmap for the creation of the necessary infrastructure for electric vehicles in all major cities by 2029. Approved by the First Deputy Prime Minister of the Republic of Kazakhstan on July 22, 2023, No. 11-01/01-97//2.]

8 **Kaliyev, Ye., Zhumanov, M., Tursymbekova, Z., Myrzagal'diyev, R., Kozbagarov, R.** Perspektivy razvitiya elektromobiley v mire i nashey strane [Prospects for the development of electric vehicles in the world and in our country] // Vestnik KazATK. – 2024. – 130(1), P. 30–37. – <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-130-1-30-37>.

9 Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan «Ob utverzhdenii Plana meropriyatiy po realizatsii porucheniy Prezidenta Respubliki Kazakhstan po sotsial'no-ekonomicheskomu razvitiyu goroda Almaty» ot 13 sentyabrya 2023 goda № 785/ [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan “On approval of the Action Plan for the implementation of the instructions of the President of the Republic of Kazakhstan on the socio-economic development of the city of Almaty” dated September 13, 2023 No. 785.].

10 40 modeley elektromobiley sravnili po zapasu khoda pri -20°C. [40 models of electric vehicles were compared by power reserve at -20 ° C.] URL: <https://www.ixbt.com/news/2021/12/20/40-20-c.html> (access date: 05.05.2024)

11 **Ratner, S. V., Maslova, S. S.** Gosudarstvennoye stimulirovaniye razvitiya rynka elektricheskikh transportnykh sredstv: mirovoy opyt [State stimulation of the development of the electric vehicle market: world experience] // Finance and Credit. – 2017. – Vol. 23, iss. 22. – P. 1281–1299. – <https://doi.org/10.24891/fc.23.22.1281>

Поступило в редакцию 24.05.24.

Поступило с исправлениями 10.06.24.

Принято в печать 08.07.2024.

\***О. Г. Киселёва<sup>1</sup>, Н. А. Токмурзина-Коберняк<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

24.05.24 ж. баспаға түсті.

10.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

18.07.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДЕР ҮШІН ЗАРЯДТАУ ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ҚАЖЕТТІЛІГІН НОРМАЛАУ

Соңғы жылдары әлемнің көптеген елдеріндегі көлік парктеріндегі электромобильдер үлесінің белсенді осуі байқалды, бұл электромобильдерді

зарядтау үшін тиісті инфрақұрылымды кеңінен енгізу қажеттілігін тудызды. Электр зарядтау инфрақұрылымын орналастыру инфрақұрылымдық объектілерді оқшаулаудың аумақтық мүмкіндіктерін, зарядтау қызметтерін ұсыну бойынша сұраныс пен ұсынысты, электромобильдерді пайдаланушылардың мінез-құлқын ескеретін стратегияға сәйкес жүзеге асырылуы тиіс.

Мақалада электромобильдерді зарядтау объектілеріне қажеттілікті анықтауға мүмкіндік беретін электрмен зарядтау инфрақұрылымын нормалаудың әртүрлі модельдері қарастырылған. Нормативтік модельге сәйкес қажеттілік электромобильдер саны мен электр зарядтау станцияларының санына байланысты анықталады. Энергия балансына негізделген модельде белгілі бір аймақтар үшін электромобильдердің таралуының болжамды деректері анықталады, содан кейін есептеу арқылы белгілі бір жылға арналған зарядтау нүктелерінің саны мен таралуы белгіленеді. Бұл ретте зарядтау пункттері мен электромобильдер саны квоталарды пайдалана отырып, бір-бірімен салыстырылады. Электромобильдердің параметрлеріне негізделген модельде қажеттілік электромобильдің бір зарядтағы орташа жүрісіне, электромобильдің бір апталық жүрісіне, км-ге және бір зарядтың ұзақтығына байланысты анықталады.

Электр зарядтау инфрақұрылымын дамыту нәтижелері Алматы қаласының мысалында келтірілген.

Кілтті сөздер: электромобильдер, электр зарядтау станциялары, инфрақұрылым, нормалау әдістері, даму болжамы.

\***O. G. Kisselyova<sup>1</sup>, N. A. Tokmurzina-Kobernyak<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

Received 24.05.24.

Received in revised form 10.06.24.

Accepted for publication 08.07.24.

### RATIONING THE NEEDS OF THE CHARGING INFRASTRUCTURE FOR ELECTRIC VEHICLES

In recent years, there has been an active increase in the share of electric vehicles in transport fleets in many countries of the world, which necessitates the widespread introduction of appropriate infrastructure for charging electric vehicles. The deployment of electric charging infrastructure should be carried out in accordance with a strategy that takes into account the territorial possibilities of localization of infrastructure facilities, supply and demand for the provision of charging services, and the behavior of electric vehicle users.

The article discusses various models of rationing of electric charging infrastructure, which allow us to determine the need for electric vehicle charging facilities. According to the regulatory model, the demand is determined depending on the number of electric vehicles and the number of electric charging stations. In the model, based on the energy balance, the forecast data for the distribution of electric vehicles for certain regions are determined and then the number and distribution of

charging points for a particular year is calculated. At the same time, the number of charging points and electric vehicles correlate with each other using quotas. In the model, based on the parameters of electric vehicles, the need is determined depending on the average values of the mileage of an electric vehicle on a single charge, the weekly mileage of an electric vehicle, km and the duration of one charge.

The results of the development of the electric charging infrastructure are presented on the example of the city of Almaty.

Keywords: electric vehicles, electric charging stations, infrastructure, rationing methods, development forecast.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Anna Kawalek**, Өндірістік Инженерия және материалдар технологиясы факультеті, Czestochowa University of Technology, Ченстохова қ., Польша, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Anna Kawalek**, Факультет технологии производства и материаловедения, Czestochowa University of Technology, г. Ченстохова, Польша, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Anna Kawalek**, Faculty of Production Engineering and Materials Technology, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland, e-mail: [kawalek.anna@wip.pcz.pl](mailto:kawalek.anna@wip.pcz.pl)

**Абдилдина Мадина Миргазиевна**, техника ғылымдарының магистры, оқытушы, Машинажасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mmadikoshaa@mail.ru](mailto:mmadikoshaa@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1486-5323>

**Абдилдина Мадина Миргазиевна**, магистр технических наук, преподаватель, Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [mmadikoshaa@mail.ru](mailto:mmadikoshaa@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1486-5323>

**Abdildina Madina Mirgazievna**, Master of Technical Sciences, Teacher, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mmadikoshaa@mail.ru](mailto:mmadikoshaa@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1486-5323>

**Абдугалиева Гулнур Баймурзаевна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [g.abdugaliyeva@kstu.kz](mailto:g.abdugaliyeva@kstu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-3469-3901>

**Абдугалиева Гулнур Баймурзаевна**, кандидат технических наук, доцент, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, e-mail: [g.abdugaliyeva@kstu.kz](mailto:g.abdugaliyeva@kstu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-3469-3901>

**Abdugaliyeva Gulnur**, PhD, Associate professor, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [g.abdugaliyeva@kstu.kz](mailto:g.abdugaliyeva@kstu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-3469-3901>

**Абдураимов Азизбек Ералыұлы**, PhD, «6D060300 – Механика» мамандығы, У. А. Жолдасбекова атындағы Механика-инженерлік институты, Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zizo\\_waterpolo@mail.ru](mailto:zizo_waterpolo@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0815-3349>

**Абдураимов Азизбек Ералиевич**, PhD, специальность «6D060300 – Механика», Институт механики и машиноведения имени У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: [zizo\\_waterpolo@mail.ru](mailto:zizo_waterpolo@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0815-3349>

**Abduraimov Azizbek**, PhD, specialty «6D060300 - Mechanics», U. A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering. Almaty, Republic of Kazakhstan, 050010, e-mail: [zizo\\_waterpolo@mail.ru](mailto:zizo_waterpolo@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0815-3349>



**Абишев Кайратолла Кайроллинович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

**Абишев Кайратолла Кайроллинович**, кандидат технических наук, профессор, факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

**Abishev Kairatolla Kayrollinovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.kairatolla@mail.ru](mailto:a.kairatolla@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2001-0428>

**Абсадыков Бахыт Нарекбаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [b\\_absadykov@mail.ru](mailto:b_absadykov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

**Абсадыков Бахыт Нарекбаевич**, доктор технических наук, профессор, Сатпаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [b\\_absadykov@mail.ru](mailto:b_absadykov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

**Absadykov Bakhyt Narikbayevich**, Doctor of technical science, Professor, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [b\\_absadykov@mail.ru](mailto:b_absadykov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

**Азимов Абдугани Муталович**, PhD, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Azimov-78@mail.ru](mailto:Azimov-78@mail.ru)

**Азимов Абдугани Муталович**, PhD, Южно-Казахстанский университет имени М. А у е з о в а, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [Azimov-78@mail.ru](mailto:Azimov-78@mail.ru)

**Azimov Abdugani Mutalovich**, PhD, South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Azimov-78@mail.ru](mailto:Azimov-78@mail.ru)

**Акишев Қаршыға Мақсұтұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**Акишев Қаршыға Мақсұтович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**Akischev Karshiga Maksutovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**А р г ы н А й д а р Абділмәлікулы**, PhD, доцент, Тау-кен, «Металлургия және жаратылыстану» кафедрасы, Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған қ., 100600, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

**А р г ы н А й д а р Абділмаликулы**, PhD, доцент, кафедра «Горное дело, металлургия и естествознания», Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган, 100600, Республика Казахстан, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

**Argyn Aidar Abdilmalikuly**, PhD, Associate Professor, Department of «Mining, Metallurgy and Natural Sciences», Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan, 100600, Kazakhstan, e-mail: [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

**Аскараров Бахтияр Шарапиденович**, PhD, декан, Жол-көлік факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Аскараров Бахтияр Шарапиденович**, PhD, декан, Транспортный дорожный факультет, К а р а г а н д и н с к и й технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Askarov Bakhtiyar Sharapidenovitch**, PhD, Dean, Faculty of Transport and Highways, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Аукенова Бекзат Қабыекқызы**, PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bekzat89a@mail.ru](mailto:bekzat89a@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

**Аукенова Бекзат Қабыекқызы**, PhD, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: [bekzat89a@mail.ru](mailto:bekzat89a@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

**Aukenova Bekzat, PhD**, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bekzat89a@mail.ru](mailto:bekzat89a@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-2724-4447>

**Ахметов Аманкельды Серикбаевич**, техника ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкері, «Металлургия» мамандығы, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасы, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [amanlaotero@gmail.com](mailto:amanlaotero@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1606-838X>

**Бакиров Алтынсары Газизович**, PhD, қауымд. профессор, Metallургия кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [altynsary@mail.ru](mailto:altynsary@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3742-3467>

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Өнеркәсіптік көлік кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Бартнев Игорь Анатольевич**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [igor\\_svar@mail.ru](mailto:igor_svar@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-4516-0699>

**Ахметов Аманкельды Серикбаевич**, кандидат технических наук, специальность «Металлургия», старший научник сотрудник лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [amanlaotero@gmail.com](mailto:amanlaotero@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1606-838X>

**Бакиров Алтынсары Газизович**, PhD, ассоц. профессор, кафедра Metallургия, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [altynsary@mail.ru](mailto:altynsary@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3742-3467>

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра Промышленный транспорт, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Бартнев Игорь Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [igor\\_svar@mail.ru](mailto:igor_svar@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-4516-0699>

**Akhmetov Amankeldy Serikbaevich**, Candidate of Technical Sciences in «Metallurgy», Senior Researcher at the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [amanlaotero@gmail.com](mailto:amanlaotero@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1606-838X>

**Bakirov Altynsary Gazizovich**, PhD, Associate Professor, Department of «Metallurgy», Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [altynsary@mail.ru](mailto:altynsary@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3742-3467>

**Balabaev Oyum Temirgalievich**, candidate of Technical Sciences, Associate professor, Department of Industrial Transport, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Bartenev Igor**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [igor\\_svar@mail.ru](mailto:igor_svar@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-4516-0699>

**Бейсембаев Дуас Мадатович**, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, Жол-көлік факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Diasb113@mail.ru](mailto:Diasb113@mail.ru)

**Берг Александра Сергеевна**, PhD, оқытушы, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

**Берг Андрей Алексеевич**, оқытушы, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

**Бейсембаев Дуас Мадатович**, докторант по образовательной программе «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [Diasb113@mail.ru](mailto:Diasb113@mail.ru)

**Берг Александра Сергеевна**, PhD, преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование и стандартизация», Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

**Берг Андрей Алексеевич**, преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование и стандартизация», Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

**Beisembayev Dias Madatovich**, Doctoral student in the educational program «Transport, transport equipment and technology», Faculty of Transport and Roads, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Diasb113@mail.ru](mailto:Diasb113@mail.ru)

**Berg Alexandra Sergeevna**, PhD, Lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0528-640X>

**Berg Andrey Alekseevich**, Lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8907-1803>

**Бобеев Абай Баканович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bobeevabai@mail.ru](mailto:bobeevabai@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-1635-767X>

**Бузауова Тоты Мейрбековна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор м.а., қауымд. профессор, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

**Быков Петр Олегович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7540-7882>

**Бобеев Абай Баканович**, кандидат технических наук, доцент, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [bobeevabai@mail.ru](mailto:bobeevabai@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-1635-767X>

**Бузауова Тоты Мейрбековна**, кандидат технических наук, и.о. профессора, асоц. профессор, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

**Быков Петр Олегович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайгыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7540-7882>

**Bobeev Abay**, candidate of technical sciences, associate professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bobeevabai@mail.ru](mailto:bobeevabai@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-1635-767X>

**Buzauova Toty**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7219-6274>

**Bykov Petr Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Bykov\\_petr@mail.ru](mailto:Bykov_petr@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7540-7882>

**Джомартов Асылбек Әбдіразақұлы**, техника ғылымдарының докторы, тәжірибелік жұмыстар және коммерцияландыру бөлімінің менгерушісі, У. А. Джолдасбеков атындағы Механика-инженерлік институты, 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., e-mail: [legsert@mail.ru](mailto:legsert@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-7262-5267>

**Досмухамедов Нурлан Калиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

**Дудкин Михаил Васильевич**, техника ғылымдарының докторы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: [MDudkin@ektu.kz](mailto:MDudkin@ektu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

**Есаулков Валерий Сергеевич**, инженерия магистры, оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0153-8051>

**Джомартов Асылбек Абдразақович**, доктор технических наук, Руководитель «Отдела опытно экспериментальных работи коммерциализации», Институт механики и машиноведения имени У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: [legsert@mail.ru](mailto:legsert@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-7262-5267>

**Досмухамедов Нурлан Калиевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра Металлургия и обогащение полезных ископаемых, профессор, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

**Дудкин Михаил Васильевич**, доктор технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: [MDudkin@ektu.kz](mailto:MDudkin@ektu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

**Есаулков Валерий Сергеевич**, магистр инженерии, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0153-8051>

**Dzhomartov Asylbek**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Experimental Work and Commercialization», U. A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [legsert@mail.ru](mailto:legsert@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-7262-5267>

**Dosmukhamedov Nurlan Kalievich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Professor, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

**Dudkin Mikhail**, Doctor of technical science, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical university, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: [MDudkin@ektu.kz](mailto:MDudkin@ektu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>

**Yessaulkov Valeriy**, Master of Engineering, Lecturer at Transport Equipment and Logistic Department of Engineering Faculty, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0153-8051>



**Есиркепова Айым Бақытбековна**, PhD, «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын мен конструкцияларын өндіру» мамандығы, Машинажасау факультеті, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4524-5135>

**Жакупов Алибек Нызматуллович**, PhD, постдокторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhakupov.a@tou.edu.kz](mailto:zhakupov.a@tou.edu.kz)

**Жакупова Арай Төлепбергеновна**, PhD, постдокторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жақан Армат Медетұлы**, «Металлургия» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының II – санатты инженері, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

**Есиркепова Айым Бақытбековна**, PhD, специальность «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4524-5135>

**Жакупов Алибек Нызматуллович**, PhD, постдокторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [zhakupov.a@tou.edu.kz](mailto:zhakupov.a@tou.edu.kz)

**Жакупова Арай Төлепбергеновна**, PhD, постдокторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жақан Армат Медетұлы**, магистр технических наук по специальности «Металлургия», инженер II – категории лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

**Yesirkerova, Ayim Bakytbekovna**, PhD, specialty «Production of building materials, products and structures», Faculty of Mechanical Engineering, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4524-5135>

**Zhakupov Alibek**, PhD, Postdoctoral student, Toraighyrov University Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhakupov.a@tou.edu.kz](mailto:zhakupov.a@tou.edu.kz)

**Zhakupova Aray Tolepbergenovna**, PhD, Postdoctoral student, Toraighyrov University Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Zhakan Armat Medetuly**, Master of Technical Sciences in «Metallurgy», Engineer of the II – category of the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-3810-0528>

**Жандарбекова Асель Мергазиновна**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Azhandarbekova@bk.ru](mailto:Azhandarbekova@bk.ru)

**Жаркевич Ольга Михайловна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zharkevich82@mail.ru](mailto:zharkevich82@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

**Жолдасбай Ержан Есенбайұлы**, PhD, доцент, Тау-кен, металлургия және жаратылыстану кафедрасы, Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған қ., 100600, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhte@mail.ru](mailto:zhte@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

**Жандарбекова Асель Мергазиновна**, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллиной, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Azhandarbekova@bk.ru](mailto:Azhandarbekova@bk.ru)

**Жаркевич Ольга Михайловна**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Технологическое оборудование и машиностроение и стандартизация», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [zharkevich82@mail.ru](mailto:zharkevich82@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

**Жолдасбай Ержан Есенбайұлы**, PhD, доцент, кафедра Горное дело, металлургия и естествознания, Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган, 100600, Республика Казахстан, e-mail: [zhte@mail.ru](mailto:zhte@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

**Zhandarbekova Asel Mergazinovna**, Senior Lecturer, Candidate of Technical Sciences, Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Azhandarbekova@bk.ru](mailto:Azhandarbekova@bk.ru)

**Zharkevich Olga Mikhailovna**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zharkevich82@mail.ru](mailto:zharkevich82@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4249-4710>

**Zholdasbay Yerzhan Yesenbayuly**, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences, PhD, Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan, 100600, Kazakhstan, e-mail: [zhte@mail.ru](mailto:zhte@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>, <https://orcid.org/0000-0002-9925-87074128979>

**Жүнісов Абылай Қайыртасұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, Металлургия кафедрасының меңгерушісі, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Жүнісова Айгүл Қайыргелдіқызы**, докторант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>

**Заякин Олег Вадимович**, техника ғылымдарының докторы, Ресей ғылым академиясының Орал филиалы металлургия институты, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2304-384X>

**Ибрагимова Зауре Асилбековна**, PhD, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Жунусов Аблай Кауртасович**, кандидат технических наук, Заведующий кафедрой металлургии, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Жунусова Айгүл Каургельдиновна**, докторант, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>

**Заякин Олег Вадимович**, доктор технических наук, Институт металлургии Уральского отделения Российской Академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2304-384X>

**Ибрагимова Зауре Асилбековна**, PhD, доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Zhunusov Ablay Kairtassovich**, Candidate of Technical Science, Head of the Department of Metallurgy, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9119-9737>

**Zhunusova Aigul Kairgeldinovna**, doctoral student, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar city, Republic of Kazakhstan, [zhunusova.aig@mail.ru](mailto:zhunusova.aig@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8842-6433>

**Zayakin Oleg Vadimovich**, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation, e-mail: [zferro@mail.ru](mailto:zferro@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2304-384X>

**Ibragimova Zaure Assilbekovna**, PhD, Assistant professor, South Kazakhstan University named after M. Auezov, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Ибраим Әлібек Саматулы**, «Аддитивті өндіріс» мамандығы бойынша докторант, Машина жасау кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ibraimaiibek@gmail.com](mailto:ibraimaiibek@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-1111-1111>

**Ирфан Ахмад Гондал**, PhD, қауымд. профессор, «Машина жасау технологиясы» кафедрасының меңгерушісі, Ұлттық біліктілік университеті, Исламабад, 246762, Пәкістан Ислам Республикасы, e-mail: [irfangondal@nsu.edu.pk](mailto:irfangondal@nsu.edu.pk), <https://orcid.org/0000-0001-6013-7656>

**Ичева Юлианна Борисовна**, PhD, доцент, Тау-кен, металлургия және жаратылыстану кафедрасы, Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті., Жезқазған қ., 100600, Қазақстан Республикасы, <https://orcid.org/0000-0001-5914-9772>

**Кадыров Жаннат Нурғалиұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Кадыров және серіктері» СПК» ЖШС директоры, Алматы қ., 050022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kadyrov.1954@mail.ru](mailto:kadyrov.1954@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-5247-1752>

**Ибраим Алибек Саматулы**, докторант по специальности «Аддитивное производство», Институт Энергетики и Машиностроения, Сатпаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [ibraimaiibek@gmail.com](mailto:ibraimaiibek@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-1111-1111>

**Ирфан Ахмад Гондал**, PhD, ассоц. профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Национальный практический университет, Исламабад, 246762, Исламская республика Пакистан, e-mail: [irfangondal@nsu.edu.pk](mailto:irfangondal@nsu.edu.pk), <https://orcid.org/0000-0001-6013-7656>

**Ичева Юлианна Борисовна**, PhD, доцент, кафедра Горное дело, металлургия и естествознания, Жезказганский университет имени О. А. Байқоңура, г. Жезказган, 100600, Республика Казахстан, <https://orcid.org/0000-0001-5914-9772>

**Кадыров Жаннат Нурғалиевич**, доктор технических наук, профессор, директор ТОО «КПП «Кадыров и Партнёры», г. Алматы, 050022, Республика Казахстан, e-mail: [kadyrov.1954@mail.ru](mailto:kadyrov.1954@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-5247-1752>

**Ibraim Alibek Samatuly**, doctoral student in «Additive manufacturing», Faculty of Mechanical engineering, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ibraimaiibek@gmail.com](mailto:ibraimaiibek@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-1111-1111>

**Irfan Ahmad Gondal**, PhD, Associate Professor, Head of Department of Mechanical Engineering Technology, National Skills University, Islamabad, 246762, Islamic Republic of Pakistan, e-mail: [irfangondal@nsu.edu.pk](mailto:irfangondal@nsu.edu.pk), <https://orcid.org/0000-0001-6013-7656>

**Icheva Yulianna Borisovna**, PhD, Associate Professor, Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences, Zhezkazgan University named after O. A. Baikonurov, Zhezkazgan, 100600, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0001-5914-9772>

**Kadyrov Zhannat Nurgalievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor «Kadyrov and Partners» Patent Law Office LLP, Almaty, 050022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kadyrov.1954@mail.ru](mailto:kadyrov.1954@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-5247-1752>

**Камал Әзиз Нұтпуллаұлы**, «6D060300 – Механика» мамандығының докторанты, атындағы Механика-инженерлік институты У. А. Жолдасбеков, 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., е-mail: [kan77705@gmail.com](mailto:kan77705@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4454-4454>

**Касенов Асылбек Жумабекович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, е-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

**Касымбабина Дана Сайляувна**, докторант, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, е-mail: [kasymbabinad@mail.ru](mailto:kasymbabinad@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5776-5333>

**Кенжебекова Анар Ерболатқызы**, магистр, аға оқытушы, Металлургия кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, е-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4454-4454>

**Камал Азиз Нұтпуллаевич**, докторант по специальности «6D060300 – Механика», Институт механики и машиноведения имени У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, е-mail: [kan77705@gmail.com](mailto:kan77705@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4454-8233>

**Касенов Асылбек Жумабекович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, е-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

**Касымбабина Дана Сайляувна**, докторант, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, е-mail: [kasymbabinad@mail.ru](mailto:kasymbabinad@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5776-5333>

**Кенжебекова Анар Ерболатовна**, магистр, ст. преподаватель, кафедра Металлургия, Торайғыров University, г. Павлодар, Республика Казахстан, е-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4454-4454>

**Kamal Aziz**, doctoral candidate in the specialty «6D060300 - Mechanics», U. A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, st. Kurmangazy 29, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kan77705@gmail.com](mailto:kan77705@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4454-8233>

**Kassenov Assylbek Zhumabekovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9552-1439>

**Kasymbabina Dana**, doctoral student, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kasymbabinad@mail.ru](mailto:kasymbabinad@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5776-5333>

**Kenzhebekova Anar Yerbolatovna**, Master, Senior lecturer, Department of Metallurgy, Torayghirov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kenzhebekova\\_psu@mail.ru](mailto:kenzhebekova_psu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8111-6755>

**Киселёва Ольга Геннадьевна**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Сәтбаев университет, М. Тынышбаев атындағы көлік инженериясы және логистика мектебі, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, е-mail: [kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Ковалев Павел Валерьевич**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «ҰЗУ Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті», Машина жасау, материалдар және көлік институты, Санкт-Петербург қ., 188544, Ресей Федерациясы, е-mail: [kovalev\\_pv@spbstu.ru](mailto:kovalev_pv@spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

**Косатбекова Динара Шадиярбековна**, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» мамандығы бойынша докторант, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, е-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8909-2225>

**Киселёва Ольга Геннадьевна**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Satbayev University, Школа транспортной инженерии и логистики им. М. Тынышпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, е-mail: [kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Ковалев Павел Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент, «НИУ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Институт машиностроения, материалов и транспорта, г. Санкт-Петербург, 188544, Российская Федерация, е-mail: [kovalev\\_pv@spbstu.ru](mailto:kovalev_pv@spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

**Косатбекова Динара Шадиярбековна**, Докторант по специальности «Технологические машины и оборудование», Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, е-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8909-2225>

**Kisselyova Olga**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, School of transport engineering and logistics named after M. Tynyshpayev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kisaolya.77@mail.ru](mailto:kisaolya.77@mail.ru)

**Kovalev Pavel Valerievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor «NRU Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University», Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport, St. Petersburg, 188544, Russian Federation, e-mail: [kovalev\\_pv@spbstu.ru](mailto:kovalev_pv@spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>

**Kossatbekova Dinara Shadiyarbekovna**, Doctoral student in the specialty «Technological machines and equipment», Faculty of Technology, S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ms.kossatbekova@mail.ru](mailto:ms.kossatbekova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8909-2225>



**Куандыков Алмаз Болатович**, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-6075-1603>

**Куликов Виталий Юрьевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mlpikm@mail.ru](mailto:mlpikm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

**Қасымжанова Айдана Дөненбайқызы**, PhD, Өнеркәсіптік көлік кафедрасының меңгерушісі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aidana\\_dak@mail.ru](mailto:aidana_dak@mail.ru)

**Қордашева Ақжан Асхатқызы**, «Металлургия» мамандығы бойынша докторант, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akzhankordashs@mail.ru](mailto:akzhankordashs@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5224-9261>

**Куандыков Алмаз Болатович**, ст. преподаватель, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-6075-1603>

**Куликов Виталий Юрьевич**, кандидат технических наук, профессор, Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [mlpikm@mail.ru](mailto:mlpikm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

**Қасымжанова Айдана Дөненбайқызы**, доктор PhD, заведующий кафедрой Промышленный транспорт, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [aidana\\_dak@mail.ru](mailto:aidana_dak@mail.ru)

**Қордашева Ақжан Асхатқызы**, докторант по специальности Metallurgy, Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [akzhankordashs@mail.ru](mailto:akzhankordashs@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5224-9261>

**Kuandykov Almaz Bolatovich**, Senior teacher, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-6075-1603>

**Kulikov Vitalii Iurevich**, Candidate of technical sciences, professor, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mlpikm@mail.ru](mailto:mlpikm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6191-8569>

**Kassymzhanova Aidana Dönenbaykyzy**, PhD, Head of the Department of Industrial Transport, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aidana\\_dak@mail.ru](mailto:aidana_dak@mail.ru)

**Kordasheva Akzhan Askhatkyzy**, doctoral student in Metallurgy, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akzhankordashs@mail.ru](mailto:akzhankordashs@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-5224-9261>

**Маздубай Асылхан Владимирович**, қауымд. профессор, PhD, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3396-1716>

**Макашева Гулдана Какимовна**, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасының докторанты, Satbayev University, Қарағанды қ., M02F5G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mguldanka@mail.ru](mailto:mguldanka@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

**Мамбеталиева Алима Рахматуллаевна**, PhD, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University, Алматы қ., 050016, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.mambetaliyeva@satbayev.university](mailto:a.mambetaliyeva@satbayev.university), <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

**Манабаев Нұрлыбай Тагабекулы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Inniovtechproduct» ЖШС, 160015, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nmanabaev@mail.ru](mailto:nmanabaev@mail.ru)

**Манабаев Руслан Нурлыбаевич**, «Inniovtechproduct» ЖШС, 160015, Қазақстан Республикасы, e-mail: [manabayeb86@list.ru](mailto:manabayeb86@list.ru)

**Маздубай Асылхан Владимирович**, PhD, ассоц. профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3396-1716>

**Макашева Гулдана Какимовна**, докторант кафедры Metallurgii и обогащения полезных ископаемых, Satbayev University, г. Караганда, M02F5G3, Республика Казахстан, e-mail: [mguldanka@mail.ru](mailto:mguldanka@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

**Мамбеталиева Алима Рахматуллаевна**, PhD, ст. преподаватель кафедры Metallurgii и обогащения полезных ископаемых, Satbayev University, г. Алматы, 050016, Республика Казахстан, e-mail: [a.mambetaliyeva@satbayev.university](mailto:a.mambetaliyeva@satbayev.university), <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

**Манабаев Нурлыбай Тагабекович**, кандидат технических наук, доцент, ТОО «Inniovtech-product», 160015, Республика Казахстан, e-mail: [nmanabaev@mail.ru](mailto:nmanabaev@mail.ru)

**Манабаев Руслан Нурлыбаевич**, ТОО «Inniovtech-product» г. Шымкент, 160015, Республика Казахстан, e-mail: [manabayeb86@list.ru](mailto:manabayeb86@list.ru)

**Mazdubay Asylkhan Vladimirovich**, Associate professor, PhD, Faculty of engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3396-1716>

**Guldana Kakimovna, Makasheva**, Doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Karaganda, M02F5G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mguldanka@mail.ru](mailto:mguldanka@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

**Alima Rahmatullaевна Mambetaliyeva**, PhD, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Almaty, 050016, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.mambetaliyeva@satbayev.university](mailto:a.mambetaliyeva@satbayev.university), <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

**Manabaev Nurlibai Tagabekovich**, PhD, Associate professor, «Inniovtech-product» LLP, 160015, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nmanabaev@mail.ru](mailto:nmanabaev@mail.ru)

**Manabaev Ruslan Nurlibaevich**, «Inniovtech-product» LLP, Shymkent, 160015, Republic of Kazakhstan, e-mail: [manabayeb86@list.ru](mailto:manabayeb86@list.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, «Металлургия» мамандығы бойынша PhD, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:akhambetovyerbolat@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

**Михайлов Валентин Феликсович**, техника ғылымдарының кандидаты, Механика кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [v.mihaylov@kstu.kz](mailto:v.mihaylov@kstu.kz)

**Молдаханов Бекболат Аскерханович**, PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bek\\_m78@mail.ru](mailto:bek_m78@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

**Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна**, Менеджмент мектебінің қауымд. профессоры, техника ғылымдарының кандидаты, БҰ Алматы менеджмент университеті Алматы қ., 50060, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mkaken@mail.ru](mailto:mkaken@mail.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, PhD по специальности – «Металлургия», заведующий лабораторией «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [akhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:akhambetovyerbolat@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

**Михайлов Валентин Феликсович**, кандидат технических наук, кафедра Механика, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [v.mihaylov@kstu.kz](mailto:v.mihaylov@kstu.kz)

**Молдаханов Бекболат Аскерханович**, PhD, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: [bek\\_m78@mail.ru](mailto:bek_m78@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

**Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна**, ассоц. профессор Школы менеджмента, кандидат технических наук УО Алматы менеджмент университет, г. Алматы, 50060, Республика Казахстан, e-mail: [mkaken@mail.ru](mailto:mkaken@mail.ru)

**Makhambetov Yerbolat Nysanalyuly**, PhD in the specialty – «Metallurgy», Head of the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8613-9932>

**Mikhailov Valentin**, candidate of Technical Sciences, Department of Mechanics, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [v.mihaylov@kstu.kz](mailto:v.mihaylov@kstu.kz)

**Moldakhanov Bekbolat**, PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bek\\_m78@mail.ru](mailto:bek_m78@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2977-693X>

**Murzabekova Kenzhegul Absultanovna**, Associate Professor, School of Management, Candidate of Technical Sciences, Almaty Management University, Almaty, 50060, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mkaken@mail.ru](mailto:mkaken@mail.ru)

**Мусаев Медгат Муратович**, PhD, доцент, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100022, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kstu\\_mmm@mail.ru](mailto:kstu_mmm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9875-8159>

**Мустафа Азамат**, PhD, «Машина жасау» кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mustafa\\_azamat@mail.ru](mailto:mustafa_azamat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4751-7141>

**Мұқанов Руслан Батырбекұлы**, қауымд. профессор, энергетика және машина жасау институты, Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қ. И. Сәтбаева, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, г. [mukanov@satbayev.university](mailto:mukanov@satbayev.university), e-mail: <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

**Нұгман Ерік Зейнелұлы**, PhD, қауымд. профессор, Машина жаса кафедрасының меңгерушісі, Машина жасау кафедрасы, ҚазҰТЗУ, Энергетика және машина жасау институты, 050013, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)

**Мусаев Медгат Муратович**, PhD, доцент, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100022, Республика Казахстан, e-mail: [kstu\\_mmm@mail.ru](mailto:kstu_mmm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9875-8159>

**Мустафа Азамат**, PhD, Кафедра «Машиностроение», Сатбаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [mustafa\\_azamat@mail.ru](mailto:mustafa_azamat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4751-7141>

**Муканов Руслан Батырбекович**, ассоц. профессор, Институт энергетики и машиностроения, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [r.mukanov@satbayev.university](mailto:r.mukanov@satbayev.university), <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

**Нугман Ерик Зейнелович**, PhD, Заведующий кафедрой, Машиностроение, ассоц. профессор, кафедра Машиностроение, КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Институт энергетики и машиностроения, 050013, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)

**Medgat Mussayev**, PhD, Associate professor, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100022, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kstu\\_mmm@mail.ru](mailto:kstu_mmm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9875-8159>

**Mustafa Azamat**, PhD, Department of Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mustafa\\_azamat@mail.ru](mailto:mustafa_azamat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4751-7141>

**Mukanov Ruslan Batyrbekovich**, Associate Professor, Institute of Energy and Mechanical Engineering, K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: [r.mukanov@satbayev.university](mailto:r.mukanov@satbayev.university), <https://orcid.org/0000-0001-9637-0513>

**Nugman Yerik**, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, K. I. Satbayev KazNRTU, Institute of Energy and Mechanical Engineering, 050013, Almaty, Kazakhstan Republic, e-mail: [e.nugman@satbayev.university](mailto:e.nugman@satbayev.university)



**Нұржанова Оксана Амангелдевна**, PhD, аға оқытушы, «Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurzhanova\\_o@mail.ru](mailto:nurzhanova_o@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

**Нұртай Жадыра**, PhD, қауымд. профессор, ҚазТБУ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhadira\\_nurtai@mail.ru](mailto:zhadira_nurtai@mail.ru)

**Сағатбек Сункар**, ҚазГидроМедь ЖШС инженер-зерттеушісі, Қарағанды қ., M01P3Y8, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sunkarsagatbek@mail.ru](mailto:sunkarsagatbek@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-1931-1716>

**Сағитов Алмат Ардакович**, «Машина жасау» мамандығы бойынша PhD, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

**Нуржанова Оксана Амангельдыевна**, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Факультет машиностроения, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [nurzhanova\\_o@mail.ru](mailto:nurzhanova_o@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

**Нуртай Жадыра**, PhD, ассоц. профессор, КазУТБ, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [zhadira\\_nurtai@mail.ru](mailto:zhadira_nurtai@mail.ru)

**Сағатбек Сункар**, инженер-исследователь ТОО «КазГидроМедь», г. Караганда, M01P3Y8, Республика Казахстан, e-mail: [sunkarsagatbek@mail.ru](mailto:sunkarsagatbek@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-1931-1716>

**Сағитов Алмат Ардакович**, PhD по специальности «Машиностроение», Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

**Nurzhanova Oksana Amangeldyevna**, PhD, Senior Lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nurzhanova\\_o@mail.ru](mailto:nurzhanova_o@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0984-9284>

**Nurtai Zhadyra**, PhD, Associate professor, KazUTB, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhadira\\_nurtai@mail.ru](mailto:zhadira_nurtai@mail.ru)

**Sunkar Sagatbek**, Research Engineer at Kazhydromed LLP, Karaganda, M01P3Y8, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sunkarsagatbek@mail.ru](mailto:sunkarsagatbek@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-1931-1716>

**Sagitov Almat Ardakovich**, PhD in Mechanical Engineering, Faculty of Technology, S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3835-9353>

**Сағынтай Мұхағали**, «Машина жасау» мамандығы бойынша докторант, «Машина жасау» кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mukhagali.sagyntay@gmail.com](mailto:mukhagali.sagyntay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7946-1568>

**Саденова Маржан Ануарбековна**, химия ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті КЕАҚ қауымдастырылған профессоры, жетекші ғылыми қызметкер, 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)

**Сәулебек Жалғас Қасқырбекұлы**, «Металлургия» мамандығы бойынша докторант, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhalgas.saulebek@bk.ru](mailto:zhalgas.saulebek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3852-7513>

**Сағынтай Мұхағали**, докторант по специальности «Машиностроение», Кафедра «Машиностроение», Сәтбаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [mukhagali.sagyntay@gmail.com](mailto:mukhagali.sagyntay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7946-1568>

**Саденова Маржан Ануарбековна**, кандидат химических наук, ассоц. профессор, ведущий научный сотрудник, 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)

**Сәулебек Жалғас Қасқырбекұлы**, докторант по специальности «Металлургия», младший научник сотрудник лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [zhalgas.saulebek@bk.ru](mailto:zhalgas.saulebek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3852-7513>

**Sagyntay Mukhagali**, doctoral student in «Mechanical Engineering», Department of Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mukhagali.sagyntay@gmail.com](mailto:mukhagali.sagyntay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7946-1568>

**Sadenova Marzhan Anuarbekovna**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan

**Sapinov Ruslan Viktorovich**, PhD, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan. e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Saulebek Zhalgas Kaskyrbekuly**, doctoral student in «Metallurgy», Junior researcher at the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhalgas.saulebek@bk.ru](mailto:zhalgas.saulebek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3852-7513>



**Сименс Эдуард**, PhD, Анхальт Қолданбалы Ғылымдар университетінің профессоры, Германия Федеративтік Республикасы, Кетен, е-mail: [eduard.siemens@hs-anhalt.de](mailto:eduard.siemens@hs-anhalt.de), <https://orcid.org/0000-0002-2986-3614>

**Смаилова Баглан Кабдуллаевна**, PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, е-mail: [baglansmailova@mail.ru](mailto:baglansmailova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4506-6815>

**Советбаев Раул Аянович**, Машина жасау өндірісін цифрландыру мамандығы бойынша докторант, ҚазҰТЗУ, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, е-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Судейменов Ансаган Дюсембаевич**, PhD, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, 140008, Қазақстан Республикасы, е-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

**Сименс Эдуард**, PhD, профессор, университет прикладных наук Анхальта, Федеративная Республика Германия, Кетен, е-mail: [eduard.siemens@hs-anhalt.de](mailto:eduard.siemens@hs-anhalt.de), <https://orcid.org/0000-0002-2986-3614>

**Смаилова Баглан Кабдуллаевна**, PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, е-mail: [baglansmailova@mail.ru](mailto:baglansmailova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4506-6815>

**Советбаев Раул Аянович**, докторант по специальности «Цифровизация машиностроительного производства», КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Институт энергетика и машиностроения, 050013, г. Алматы, Республика Казахстан, е-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Судейменов Ансаган Дюсембаевич**, PhD, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, е-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

**Eduard Siemens**, PhD, professor, Anhalt University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany, Keten, е-mail: [eduard.siemens@hs-anhalt.de](mailto:eduard.siemens@hs-anhalt.de), <https://orcid.org/0000-0002-2986-3614>

**Smailova Baglan**, PhD, student, Karaganda Technical University named after Abulkas Saginov, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, е-mail: [baglansmailova@mail.ru](mailto:baglansmailova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4506-6815>

**Sovetbayev Rail Ayanovich**, doctoral student in Digitalization of machine-building production, K. I. Satbayev KazNRTU, Institute of Energy and Mechanical Engineering, 050013, Almaty, Kazakhstan Republic, е-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Suleimenov Ansagan Dyusembaevich**, PhD, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, е-mail: [ansar\\_muslim\\_91@mail.ru](mailto:ansar_muslim_91@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9319-0285>

**Тажиев Елеусиз Болатович**, PhD, аға оқытушысы, Metallургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, е-mail: [eleusiz\\_t1990@mail.ru](mailto:eleusiz_t1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Торайғыров университеті, Инженерия факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, е-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

**Тлеужанова Гульнур Болатханқызы**, «Машина жасау» мамандығы бойынша докторант, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, е-mail: [tleuzhan\\_gulnur@mail.ru](mailto:tleuzhan_gulnur@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-0032-8924>

**Токмурзина-Коберняк Наталья Анатольевна**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Сәтбаев университеті, М. Тынышбаев атындағы көлік инженериясы және логистика мектебі, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы е-mail: [natalytokmur@mail.ru](mailto:natalytokmur@mail.ru)

**Тажиев Елеусиз Болатович**, ст. преподаватель, кафедра Metallургия и обогащение полезных ископаемых, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Казахстан, е-mail: [eleusiz\\_t1990@mail.ru](mailto:eleusiz_t1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, е-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

**Тлеужанова Гульнур Болатханқызы**, докторант по специальности «Машиностроение», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, е-mail: [tleuzhan\\_gulnur@mail.ru](mailto:tleuzhan_gulnur@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-0032-8924>

**Токмурзина-Коберняк Наталья Анатольевна**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Satbayev University, Школа транспортной инженерии и логистики имени М. Тынышпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, е-mail: [natalytokmur@mail.ru](mailto:natalytokmur@mail.ru)

**Tazhiev Eleusiz Bolatovich**, Senior Lecturer of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, PhD, Satbayev University, Almaty, 050000, Kazakhstan, е-mail: [eleusiz\\_t1990@mail.ru](mailto:eleusiz_t1990@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

**Taskarina Aizhan**, PhD, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, е-mail: [aya\\_taskarina@mail.ru](mailto:aya_taskarina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2613-8799>

**Tleuzhanova Gulnur Bolatkhanqyzy**, doctoral student in Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, е-mail: [tleuzhan\\_gulnur@mail.ru](mailto:tleuzhan_gulnur@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-0032-8924>

**Tokmurzina-Kobernyak Natalya**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, School of transport engineering and logistics named after M. Tynyshpayev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, е-mail: [natalytokmur@mail.ru](mailto:natalytokmur@mail.ru)

**Төлеуқадыр Руслан Төлеужанұлы**, «Металлургия» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының ғылыми қызметкері, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100009, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ruslan-94kz@mail.ru](mailto:ruslan-94kz@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5402-0400>

**Төлешов Аамандық Қуатұлы**, У. А. Джолдасбеков атындағы Механика және инженерия институтының профессоры. У.А. ҚР ҰИА академигі, т.ғ.д., Жолдасбекова, 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., e-mail: [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

**Тусупбекова Гулим Магауияновна**, «Механикалық инженерия» мамандығы бойынша докторант, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Gulim\\_tus@mail.ru](mailto:Gulim_tus@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3373-9541>

**Төлеуқадыр Руслан Төлеужанұлы**, Магистр технических наук по специальности «Металлургия», научный сотрудник лаборатории «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100009, Республика Казахстан, e-mail: [ruslan-94kz@mail.ru](mailto:ruslan-94kz@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5402-0400>

**Тулешов Аамандық Куатович**, профессор, Института механики и машиноведения им. У. А. Джолдасбекова, академик НИАРК, доктор технических наук, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

**Тусупбекова Гулим Магауияновна**, Докторант по специальности «Механическая инженерия», Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Gulim\\_tus@mail.ru](mailto:Gulim_tus@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3373-9541>

**Toleukadyr Ruslan Toleuzhanuly**, Master of Technical Sciences in «Metallurgy», Researcher at the Laboratory of «Ferroalloys and Recovery Processes», Zh.Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslan-94kz@mail.ru](mailto:ruslan-94kz@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5402-0400>

**Tuleshov Amandyk**, professor of U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering. Academician of the NIS RK, doctor of Technical Sciences, st. Kurmangazy 29, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

**Tusupbekova Gulim Magaiyanovna**, PhD in Mechanical Engineering, Faculty of Technology, S.Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Gulim\\_tus@mail.ru](mailto:Gulim_tus@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3373-9541>

**Түсіпбекова Таңшолпан Шугайбековна**, Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасының докторанты, Satbayev University, Қарағанды қ, M02F5G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tansholpan\\_87.09@mail.ru](mailto:tansholpan_87.09@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, аға оқытушы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шеров Айбек Карибекович**, «Машинажасау» мамандығы бойынша PhD доктор, Техникалық факультет, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sherov\\_ak@mail.ru](mailto:sherov_ak@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1433-957X>

**Шеров Карибек Тагаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

**Тусупбекова Таңшолпан Шугайбековна**, докторант кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Satbayev University, г. Караганда, M02F5G3, Республика Казахстан, e-mail: [tansholpan\\_87.09@mail.ru](mailto:tansholpan_87.09@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, старший преподаватель, Университет имени Шакарима г. Семей, Инженерно-технологический факультет, г. Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шеров Айбек Карибекович**, Доктор PhD по специальности «Машиностроение», Технический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [sherov\\_ak@mail.ru](mailto:sherov_ak@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1433-957X>

**Шеров Карибек Тагаевич**, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

**Tansholpan Shugaybekovna Tusupbekova**, doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Karaganda, M02F5G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tansholpan\\_87.09@mail.ru](mailto:tansholpan_87.09@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

**Shayakhmetov Yerzhan Yarnarovich**, PhD, senior lecturer, Shakarim University of Semey, The engineering technological faculty Semey, 071400, Kazakhstan Republic, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Sherov Aibek Karibekovich**, PhD in Mechanical Engineering, Faculty of Technology, S.Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sherov\\_ak@mail.ru](mailto:sherov_ak@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1433-957X>

**Sherov Karibek**, Doctor of Technical Sciences, professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>

**Шкамат Елена**, т.ғ.д., доцент, Гедиминас атындағы Вильнюс техникалық университеті, Saulėtekio Вильнюс, Литва, e-mail: [jelena.shamat@vgtu.lt](mailto:jelena.shamat@vgtu.lt), <https://orcid.org/0000-0002-4441-6839>

**Шкамат Елена**, д.т.н., доцент кафедры машиностроения и материаловедения Вильнюсского технического университета имени Гедиминаса, Вильнюс, Литва, e-mail: [jelena.shamat@vgtu.lt](mailto:jelena.shamat@vgtu.lt), <https://orcid.org/0000-0002-4441-6839>

**Škamat J.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering and Materials Science at Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, e-mail: [jelena.shamat@vgtu.lt](mailto:jelena.shamat@vgtu.lt), <https://orcid.org/0000-0002-4441-6839>

**Шошай Жансерик**, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті докторанты, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы

**Шошай Жансерик**, докторант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан

**Shoshay Zhanserik**, doctoral student, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, 070000, Ust-Kamenogorsk, 140008, Republic of Kazakhstan

**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 рецензирование 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](mailto: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*

334

**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.

335



10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

#### References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300-Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

**С. К. Антикеева**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

#### БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

*Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.*

**S. K. Antikayeva**

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

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

*This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented*

*pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.*

*Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.*

**Сведения об авторах**

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**Публикационная этика научных журналов «Вестник 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 13.09.24 ж. жіберілді. Басуға 30.09.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс № 4279

«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