

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

№ 4 (2023)

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

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

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

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

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/PWGH3542>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

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

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов 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);  
Резбов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

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

© Торайгыров университет

**МАЗМҰНЫ**

**МАШИНА ЖАСАУ**

**Акишев К. М., Арынгазин К. Ш., Байжарықова М., Мышенков К. С., Аяп Р.**  
Ақпараттық технологияларды пайдалана отырып миксер элементтерінің тозу процесін зерттеу 11

**Базенов Г. М., Итыбаева Г. Т., Мусина Ж. К., Деревягин С. И., Галиновский А. Л.**  
Гидроабразивті кесу процесін эксперименттік зерттеу 24

**Берг А. С., Берг А. А., Юрченко В. В.**  
Ірі қара малдың ұзын төсектерінің беріктік қасиеттерінің полимербетон қоспаларының құрамына тәуелділігін зерттеу 41

**Дахам А. В., Қасенов А. Ж., Басем Рахим Казем, Әбішев Қ. Қ., Янюшкин А. С.**  
Желдің жоғары жылдамдық жағдайындағы желдік бұру палақтарының жобасын модельдеу және негіздеу 59

**Ибрагимова З. А., Абзалова Д. А., Досмаканбетова А. А., Рахымтай Н. Н., Курбанбаева С. Н.**  
Компьютерлік модельдеуді қолдана отырып, айналмалы объектілерді кесу арқылы механикалық өңдеу 69

**Карсакова Н. Ж., Насад Т. Г., Доненбаев Б. С., Есиркепова А. Б., Фабдысалық Р.**  
Сатылы тесікті кеңейтежону кезінде кесу режимдерінің беттің қаттылығына әсерін зерттеу 78

**Нұркімбаев С. М., Шумейко И. А.**  
Жел дөңгелегінің айналу жиілігін және бұрғылау қорғанысын автономды реттеу механизмін есептеу 91

**Шаяхметов Е. Я., Абилямжинов Е. Т., Дукенбаев Д. К., Шахова С. С., Советбаев Р. А.**  
Токарлық өңдеу кезінде ішкі беттің кедір-бұдырын болжау алгоритмі 103

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

**Бекбаева Л. А., Макашева А. М.**  
Натрий хлоридінің динамикалық тұтқырлығының температураға тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық моделі 114

**Есенғалиев Д. А., Келаманов Б. С., Абілберікова А. А., Муканова А. А., Нуржанов А. А.**  
«Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кенін петрографиялық және термогравиметриялық талдау 125

<b>Жакупова А. Т., Жакупов А. Н.</b> Мұнай құбырларының құйылған қуыс дайындамасының құрылымын модельдеу	135
<b>Махамбетов Е. Н., Әбдірашит А. М., Мынжасар Е. А., Байсанов А. С., Жакан А. М.</b> Жезді марганец кенің қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесін термодинамикалық және эксперименттік модельдеу	144
<b>Каменов А. А., Богомоллов А. В., Быков П. О., Суюндиков М. М., Жунусов А. К.</b> Емік ұясының жаңа конструкциясы бар алюминий электролизерінің күйдірілген анодын сынау	157
<b>Мырзағалиев А. А., Байсанов С. О., Нурғали Н., Жумағалиев Е. У., Улмағанбетов Н. А.</b> Fe-Cr және Fe-Ti бинарлы жүйелерінде α-темірдің термодинамикалық параметрлерін анықтау	167
<b>Ногеев К. А., Ашкеев Ж. А., Абишкенов М. Ж., Сладковский А., Камаров А. У.</b> Көлденең ығысуды жүзеге асыратын овал калибрде прокаттау кезіндегі кернеу-деформациялық күйді талдау	178
<b>Сапинов Р. В., Шошай Ж., Баева А. Б., Маркова С. Ю., Омаров Р. К.</b> Ұсақталған литий-ионды батареяларды ауа сепарация арқылы алдын ала бөлу	193
<b>Терлікбаева А. Ж., Әлімжанова А. М., Шаяхметова Р. А., Мұхаметжанова А. А., Сахова Б. Т.</b> Ti-AL-MO-V-ZR көпкомпонентті жүйесінің фазалық диаграммаларын құру және теориялық есептеу	204
<b>Туысхан К., Ахметова Г. Е., Ульева Г. А.</b> Жаңа композициялық материалдарды жасауда қолданылатын өнеркәсіптік қалдықтардың құрылымын талдау	216

### КӨЛІК

<b>Есаулков В. С., Махамбетов Х.</b> Автокөліктің жасырын жылу сақтау жүйесі үшін фазалық өзгерту материалы және математикалық моделін таңдау	226
<b>Конкыбаева А. Н., Шеров К. Т., Циеслик Я., Окимбаева А. Е., Имашева К. И.</b> Қалалық жолаушылар көлігі жұмысының тиімділігін арттыру мәселесінің жай-күйін зерттеу	234
<b>Молдабаев Б. Г., Рожков А. В., Аскарбеков Б. Ш., Балабаев О. Т., Хайбуллин Р. Р.</b> Жоғары көлбеу тау табынды конвейердің құрылым сұмбасын негіздеу	243

<b>Умарова Б. А., Сембаев Н. С.</b> Жүк автокөліктеріне техникалық қызмет көрсетуді ұйымдастыру ерекшеліктері	256
Авторлар туралы ақпарат	267
Авторларға арналған ережелер	287
Жарияланым этикасы	297

## СОДЕРЖАНИЕ

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Акишев К. М., Арынгазин К. Ш., Байжарықова М., Мышенков К. С., Аяп Р.</b> Исследование процесса износа элементов миксера с использованием информационных технологий	11
<b>Базенов Г. М., Итыбаева Г. Т., Мусина Ж. К., Деревягин С. И., Галиновский А. Л.</b> Экспериментальные исследования процесса гидроабразивной резки	24
<b>Берг А. С., Берг А. А., Юрченко В. В.</b> Исследование зависимости прочностных свойств длинномерных станин МРС от состава полимербетонных смесей	41
<b>Дахам А. В., Қасенов А. Ж., Басем Рахим Казем, Әбішев Қ. Қ., Янюшкин А. С.</b> Моделирование и обоснование конструкции лопастей ветроустановки в условиях высокой скорости ветра	59
<b>Ибрагимова З. А., Абзалова Д. А., Досмаканбетова А. А., Рахымтай Н. Н., Курбанбаева С. Н.</b> Механическая обработка вращающихся объектов резанием с применением компьютерного моделирования	69
<b>Карсакова Н. Ж., Насад Т. Г., Доненбаев Б. С., Есиркепова А. Б., Ғабдысалық Р.</b> Исследование влияния режимов резания на твердость поверхности при растачивании ступенчатого отверстия	78
<b>Нұркімбаев С. М., Шумейко И. А.</b> Расчёт механизма автономного регулирования частоты вращения ветрового колеса и буревой защиты	91
<b>Шаяхметов Е. Я., Абильмажинов Е. Т., Дукенбаев Д. К., Шахова С. С., Советбаев Р. А.</b> Алгоритм прогнозирования шероховатости внутренних поверхностей при токарной обработке	103

## МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Бекбаева Л. А., Макашева А. М.</b> Кластерно-ассоциатная модель температурной зависимости динамической вязкости хлорида натрия	114
<b>Есенғалиев Д. А., Келаманов Б. С., Абілберікова А. А., Муканова А. А., Нуржанов А. А.</b> Петрографический и термогравиметрический анализ высокоосновных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III»	125
<b>Жакупова А. Т., Жакупов А. Н.</b> Моделирование структуры литой полый заготовки нефтяных труб	135

<b>Каменов А. А., Богомолов А. В., Быков П. О., Суяндиков М. М., Жунусов А. К.</b> Испытание обожженного анода алюминиевого электролизера с новой конструкцией ниппельного гнезда	144
<b>Махамбетов Е. Н., Әбдірашит А. М., Мынжасар Е. А., Байсанов А. С., Жакан А. М.</b> Термодинамическое и экспериментальное моделирование процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с использованием жездинских марганцевых руд	157
<b>Мырзағалиев А. А., Байсанов С. О., Нурғали Н., Жумағалиев Е. У., Улмағанбетов Н. А.</b> Определение термодинамических параметров $\alpha$ -железа в бинарных системах Fe-Cr и Fe-Ti	167
<b>Ноғаев К. А., Ашкеев Ж. А., Абишкенов М. Ж., Сладковский А., Камаров А. У.</b> Анализ напряженно-деформированного состояния при прокатке в овальном калибре, реализующем поперечный сдвиг	178
<b>Сапинов Р. В., Шошай Ж., Баева А. Б., Маркова С. Ю., Омаров Р. К.</b> Предварительное разделение измельченных литий-ионных батарей воздушной сепарацией	193
<b>Терлікбаева А. Ж., Әлімжанова А. М., Шаяхметова Р. А., Мұхамметжанова А. А., Сахова Б. Т.</b> Теоретические расчеты и построение фазовых диаграмм многокомпонентной системы Ti-Al-Mo-V-Zr	204
<b>Туысхан К., Ахметова Г. Е., Ульева Г. А.</b> Анализ строения промышленных отходов, используемых при создании новых композиционных материалов	216

## ТРАНСПОРТ

<b>Есаулков В. С., Махамбетов Х.</b> Выбор подходящего материала с фазовым переходом и математической модели для автомобильной системы аккумуляции латентной теплоты	226
<b>Конқыбаева А. Н., Шеров К. Т., Циеслик Я., Окимбаева А. Е., Имашева К. И.</b> Исследование состояния проблемы повышения эффективности работы пассажирского городского транспорта	234
<b>Молдабаев Б. Г., Рожков А. В., Аскаргов Б. Ш., Балабаев О. Т., Хайбуллин Р. Р.</b> Обоснование конструктивной схемы крутонаклонного карьерного пластинчатого конвейера	243

**Умарова Б. А., Сембаев Н. С.**

Особенности организации технического обслуживания грузовых автомобилей 256

Сведения об авторах 267

Правила для авторов 287

Публикационная этика 297

CONTENTS

**MECHANICAL ENGINEERING**

**Akishev K. M., Aryngazin K. S., Baizharikova M. Myshenkov K. S., Ayap R.**  
Investigation of the wear process of mixer elements using information technology 11

**Bazhenov G. M., Itybayeva G. T., Mussina Zh. K., Derevyagin S. I., Galinovsky A. L.**  
Experimental studies of the waterjet cutting process 24

**Berg A. S., Berg A. A., Yurchenko V. V.**  
Investigation of the dependence of the strength properties of long-length MRC mills on the composition of polymer concrete mixtures 41

**Dahham A. W., Kasenov A. Zh., Basem Raheem Kazem, Abishev K. K., Yanyushkin A. S.**  
Modeling and justification of the design of wind turn blades under high wind speed conditions 59

**Ibragimowa S. A., Abzalowa D. A., Dosmakanbetowa A. A., Rachymtai N. N., Kurbanbajewa S. N.**  
Bearbeitung von rotierenden Objekten durch Schneiden mit Computersimulation 69

**Karsakova N. Zh., Nasad T. G., Donenbaev B. S., Yesirkepova A. B., Gabdysalyk R.**  
Study of the influence of cutting conditions on surface hardness when boring a step hole 78

**Nurkimbaev S. M., Shumeiko I. A.**  
Calculation of the mechanism of autonomous control of the wind wheel rotation speed and storm protection 91

**Shayakhmetov Y. Y., Abilmazhinov Y. T., Dukenbayev D. K., Shakhova S. S., Sovetbayev R. A.**  
Algorithm for predicting the roughness of the inner surface during turning process 103

**METALLURGY**

**Bekbayeva L., Makasheva A.**  
Cluster-associate model of temperature dependency of sodium chloride dynamical viscosity 114

**Yessengaliyev D., Kelamanov B., Abilberikova A., Mukanova A., Nurzhanov A.**  
Petrographic and thermogravimetric analysis of high-base manganese ore deposit «Ushkatyn III» 125

**Zhakupova A. T., Zhakupov A. N.**  
Cast hollow billet structure simulation modeling for oil grade pipes 135

<b>Kamenov A. A., Bogomolov A. V., Bykov P. O., Suyundikov M. M., Zhunussov A. K.</b> Test of a baked anode of an aluminum electrolyzer with a new nipple socket design	144
<b>Makhambetov Ye., Abdirashit A., Myngzhassar Ye., Baisanov A., Zhakan A.</b> Thermodynamic and experimental simulation of the smelting process of medium carbon ferromanganese with the use of zhezdinsky manganese ores	157
<b>Myrzagaliyev A. A., Baisanov S. O., Nurgali N. Z., Zhumagaliyev Ye. U., Ulmaganbetov N. A.</b> Determination of the thermodynamic parameters of $\alpha$ -iron in binary systems Fe-Cr and Fe-Ti	167
<b>Nogaev K. A., Ashkeyev Zh. A., Abishkenov M. Zh., Sladkowski A., Kamarov A. U.</b> Analysis of stress-strain state during rolling in an oval gauge realizing transverse shear	178
<b>Sapinov R. V., Shoshai Zh., Bayeva A., Markova S. Y., Omarov R. K.</b> Pre-separation of shredded lithium-ion batteries by air separation	193
<b>Terlikbaeva A. Zh., Alimzhanova A. M., Shayakhmetova R. A., Mukhametzhanova A. A., Sakhova B. T.</b> Theoretical calculations and construction of phase diagrams of a multicomponent Ti-Al-Mo-V-Zr system	204
<b>Tuyskhan K., Akhmetova G. E., Ulyeva G. A.</b> Analysis of the structure of industrial waste used to create new composite materials	216

### TRANSPORT

<b>Yessaulkov V. S., Mahkamov K.</b> Pondering the choice of PCM and mathematical model in automotive LHTS	226
<b>Konkybaeva A. N., Sherov K. T., Cieslik J., Okimbayeva A. E., Imasheva K. I.</b> Research of the state of the problem of increasing the efficiency of passenger urban transport	234
<b>Moldabaev B. G., Rozhkov A. V., Askarov B. Sh., Balabaev O. T., Khaibullin R. R.</b> Justification of the structural diagram of a highly sloped mining plate conveyor	243
<b>Umarova B. A., Sembayev N. S.</b> Features of the trucks maintenance organization	256
Information about the authors	267
Rules for authors	287
Publication ethics	297

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

IRSTI 55.03.05;50.03.03;50.43.19;681.5

<https://doi.org/10.48081/ESDC9953>

**\*K. M. Akishev<sup>1</sup>, K. S. Aryngazin<sup>2</sup>, M. Baizharikova<sup>3</sup>  
K. S. Myshenkov<sup>4</sup>, P. Ayap<sup>5</sup>**

<sup>1,5</sup>Kazakh University of Technology and Business, Republic of Kazakhstan, Astana;<sup>2</sup>LLP «Ekostroi-NIIPV», Republic of Kazakhstan, Pavlodar;<sup>3</sup>M. H. Dulati Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz;<sup>4</sup>N. E. Bauman Moscow Technical University, Russian Federation, Moscow\*e-mail: [Akmail04cx@mail.ru](mailto:Akmail04cx@mail.ru)

### INVESTIGATION OF THE WEAR PROCESS OF MIXER ELEMENTS USING INFORMATION TECHNOLOGY

*Today, mechanical engineering is one of the dynamically developing sectors of the economy of Kazakhstan.*

*Any production process involving machines imposes requirements for reliability and durability to ensure stable and trouble-free operation of technological processes.*

*In this regard, ensuring the operational characteristics of machines for a long time is a key factor when choosing a manufacturer.*

*The quality of the materials used in the production of machines significantly affects the service life and operational characteristics of machines.*

*The wear of machine parts is one of the main causes of breakdowns and accidents.*

*The financial costs of car repair items are quite large.*

*To date, the wear control of the mixer elements, removable elements of the blades is carried out only visually and replacement occurs without a system, after complete abrasion or breakage.*

*Since these elements are not always available in the warehouse of the enterprise, downtime of equipment can take a considerable time.*

*Modeling of the wear process of mixer elements in the MATLAB program allowed us to develop a simulation model using the vibroacoustic control method. Analysis and processing of vibration signals is carried out using standard programs. The developed algorithm of the process of monitoring the wear of the mixer elements allows you to form a library of signals and noises, comparing them with the reference values of the signals, to determine the degree of wear of the mixer elements. The algorithm can be implemented on standard hardware and software devices.*

*Keywords: Mixer, wear, model, control, MATLAB, management.*

### Introduction

The organization of business processes in the real sector of the economy requires large investments, both in the main production and in maintenance, which include operation, repair, maintenance of technological equipment.

In this regard, the requirements for durability, proper operation, and the expediency of using machines are prioritized.

The fulfillment of these requirements is achieved by the introduction of methods and controls that have the ability to detect malfunctions of machines and equipment at the early stages of their development.

Modern advances in information technology, industry, allow us to conduct research on various processes, including those related to the wear of the surfaces of parts and machine elements.

There are quite a large number of methods for determining the wear of parts.

It's no secret that the condition and dimensions of the working surface of the parts depend on the maintenance of the working functionality of the machine, see Table 1.

Table 1 – Data on the failure of machines

№	Reason	Data on failures from open sources		
1	Wear	49	50	51
2	Corrosion	4	3	9
3	Fatigue	19	21	17
4	Plastic deformation	28	26	19
5	Other	0	7	3

In terms of value, repair costs exceed 7–9 times the cost of machines for the entire service life [1–4].

From [5] to restore worn parts, up to 50 % of the total repair costs are required. In this regard, timely monitoring of the wear of parts allows you to reduce the cost of restoration.

Depending on the degree of wear, the parts can be restored.

One of the methods for determining the wear of parts is vibration-acoustic methods.

The essence of this method is to receive vibration and acoustic signals from various elements of machines with subsequent analysis of the frequency spectrum [1–4].

Currently, vibration-acoustic methods are used to control and detect defects in various critical parts, structures, machining technology, etc. [5].

To date, the work related to the study of wear of mixer elements using vibration-acoustic methods has not been published.

In this regard, the relevance of the study lies, first of all, in the need to develop a methodology for monitoring the wear process of mixer elements.

**Materials and methods of research**

The object of research is a mixer, the subject of research is methods of controlling the wear process of mixer elements.

The purpose of the study is to develop an algorithm for the process of monitoring the wear of mixer elements, new control methods, and prediction of wear parameters.

Research objectives:

- simulation of the process of receiving a vibroacoustic signal from a mixer;
- development of an algorithm for the process of monitoring the wear of mixer elements;

- development of a functional control scheme for the wear process of mixer elements;

The research uses simulation modeling methods, vibration-acoustic method of measuring machine signals received using sensors, system analysis method.

The MATLAB program is used as a modeling tool.

**Results and discussion**

The working elements of the mixer fig. 1 positions 1 and 2 are subjected to increased wear during operation due to the influence of aggressive media, solid components.

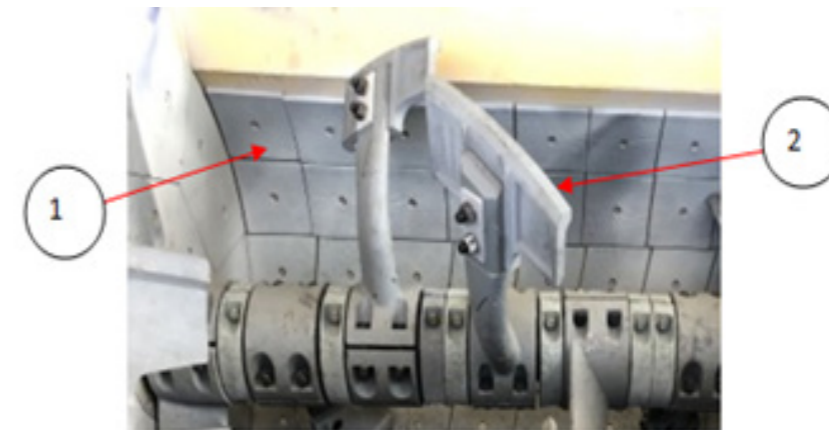


Figure 1 – Working elements of the mixer

The working surfaces of the mixer (position 1) are made of high-strength steel 30HGSNA, 40HGSN3VA, 30X5MSFA, 09G2S, attached to the walls with screws.

The working surfaces of the mixer blades (position 2) are made of CHH9N5 cast iron.

According to the passport data, the hardness of the material of the working elements of the mixer should ensure reliable operation for a certain time (the period is not specified).

Depending on the hardness of the material, the degree of wear varies Table 2 [1–5].

Table 3 – Effect of material hardness on wear resistance

Material used	Hardness H B	Wear resistance %
09Г2С	220	26
ЧХ9Н5	194	18

At the same time, it should be borne in mind that the type of thermal impact, the structure of the material, affect the resistance to wear in an abrasive environment. In any case, the strength of the elements of the mixer material should be stronger than the material of the abrasive medium.

The mixer studied in the article fig. 2, commissioned in 2018, over the past period, the working elements (items 1-2) have undergone significant wear in aggressive working environments, in this regard, the interest is how much the thickness of the working surface of the mixer elements has changed.



Figure 2 – Mixer elements

As mentioned above, the aggressiveness of the medium has a significant effect on the rate of wear and corrosion [6–9]. Figure 3 shows the dependence of the wear of the mixer elements on the aggressive environment of the operating time.



Figure 3 – Dependence of the rate of wear and corrosion on the aggressiveness of the medium

As can be seen from Fig. 3, 1 is the run-in zone, 2 is the normal wear zone, 3 is the critical wear zone.

To date, one of the devices capable of receiving vibration signals is an accelerometer, the accuracy of which depends on both the noise level and the sensitivity of the sensor itself. Using the matlab tool, we will build a model of the process of receiving an accelerometer signal from a mixer. Figure 4 shows a block diagram of a sensor for detecting a signal from a source.

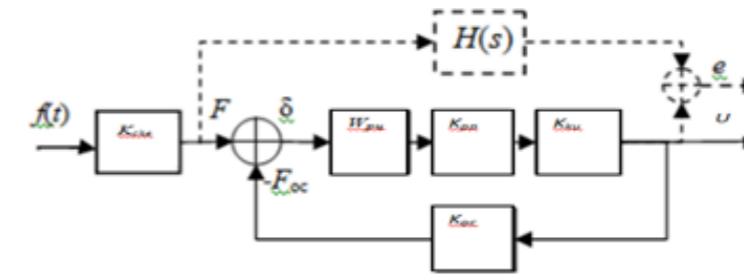


Figure 4 – Block diagram of the sensor

where

- $f(t)$  is the incoming signal;
- $K_{che}$  – transmission coefficient of the sensing element;
- $W_{pu}$  – transfer function of the mobile node;
- $K_{pp}$  – transmission coefficient of a capacitive displacement converter;
- $W_{ku}$  – the transfer function of the correction device;
- $K_{oc}$  – is the transmission coefficient of the feedback link;
- $U$  – is the output voltage.

The model presented in Fig. 4 is constructed according to the method [10–12] using the transfer function formula (1):

$$W(s) = K_{che} \frac{K_{pp}T_1(jS)}{1 + K_{jc}T_1(jS)} = \frac{K_{che}n(1)}{K_{oc}J(K_{oc}K_{pp}T_1)S + 1} \quad (1)$$

The transfer function includes the feedback coefficients  $K_{oc}$ , the sensing element  $K_{che}$ ,  $K_{pp}$  – the transmission coefficient,  $T$ – time constant,  $J$ –the moment of inertia.

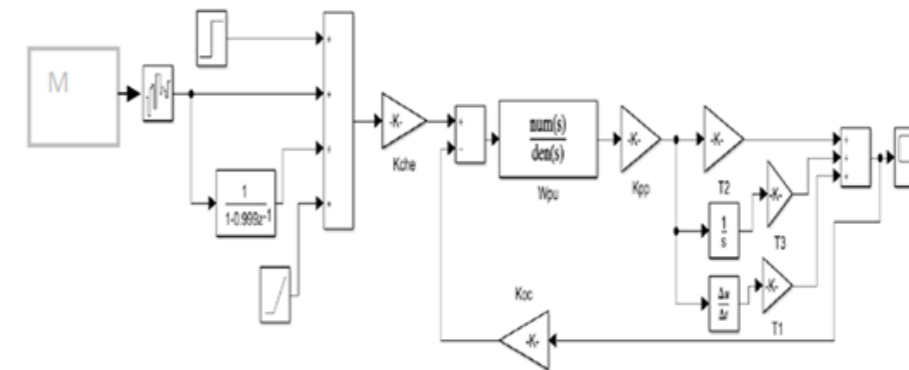


Figure 4 – Simulation model of the process of receiving a signal from a mixer

Based on the simulation results, the theoretical possibility of obtaining dynamic signals from the sensor is obtained.

Table 3 shows the parameters of the accelerometer for modeling.



Table 3 – Accelerometer data for simulation

Parameter	$m_1, m_2, m_3, \text{kg}$	Weight, kg	J, kg/m <sup>2</sup>	G, H·m	$T_1, T_2, T_3$
Data	$4,024 \times 10^{-5}$	$5,70 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-10}$	$2,76 \times 10^{-6}$	0,0024
	$5,678 \times 10^{-5}$				168,7
Parameter	$K_{ku}$	$K_{pp}$	$K_{che}$	$K_{oc}$	$T_{pp}, \text{sec}$
Data	$1 \times 10^7$	$3 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-8}$	$2,541 \times 10^{-8}$	$2,36 \times 10^{-5}$

When removing signals from the source, there are difficulties associated with the purity of the identification of the signal, which is affected by extraneous noise.

Fig. 5 shows the results of modeling using the simulation model Fig.5 of various signal sources 1–noise from the fan, 2–noise from the generator.

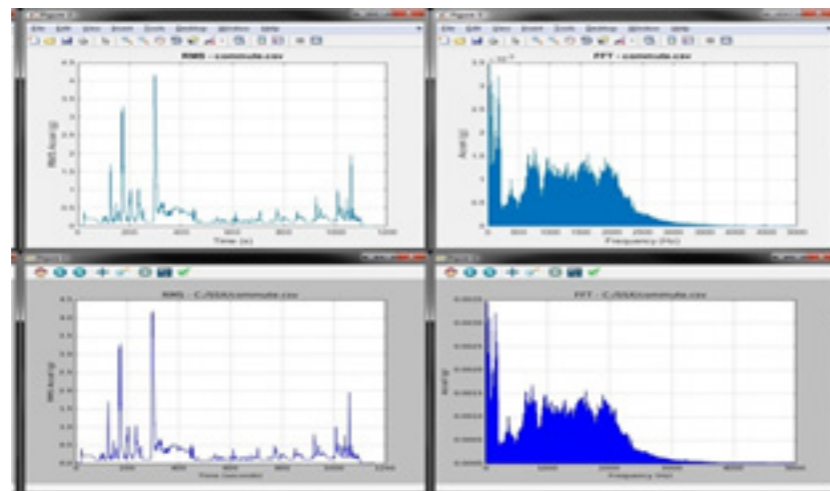


Figure 5 – Results of modeling signals from various sources

As can be seen from Fig. 5, the frequency spectra from external signals are quite visual, the height of the amplitudes are clearly traced, the components are separated from each other.

When using this model to study vibration signals from various objects, it is necessary to identify the parameters of the frequency spectrum and noise, software and hardware, as well as reference data on the classification of noise from various sources, as well as the development of libraries of vibration signals and noise of the studied objects. [13–14].

Figure 6 shows the algorithm of the process of monitoring the wear of the mixer elements.

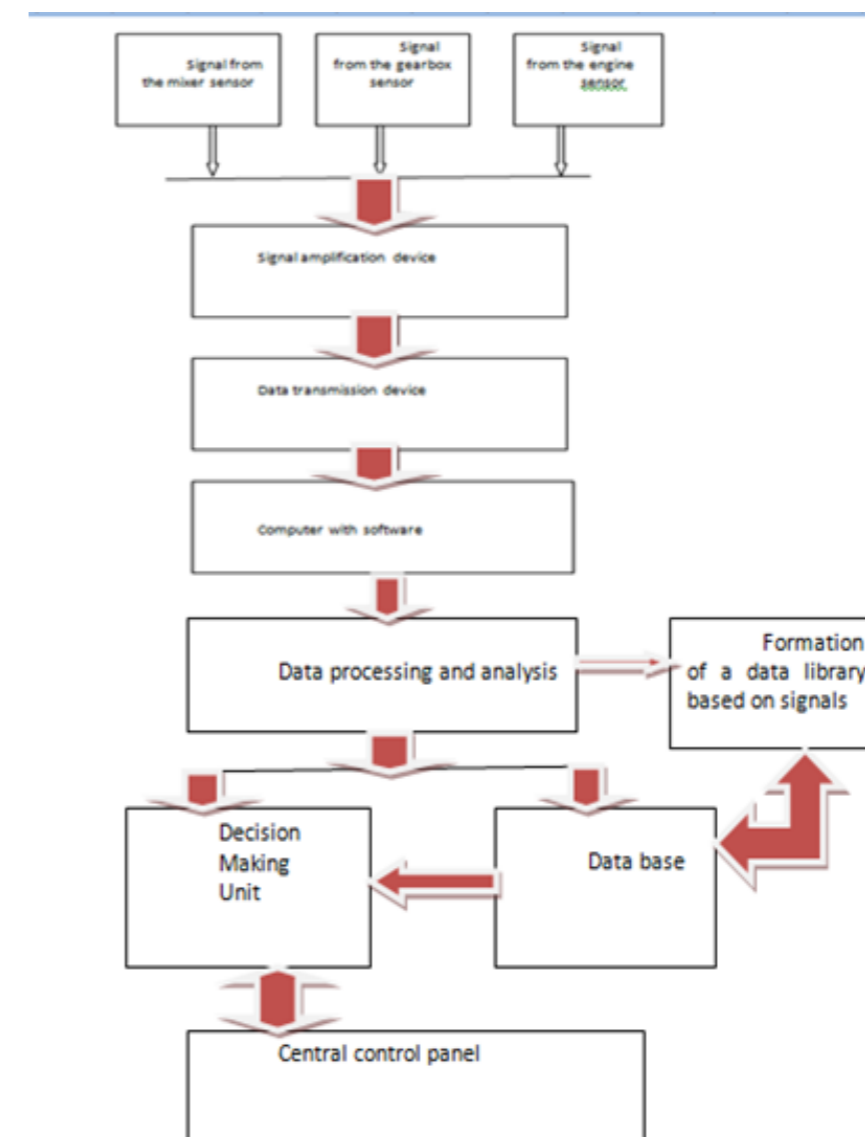


Figure 6 – Algorithm of the process of monitoring the wear of mixer elements

The algorithm works as follows: vibrations and noise transmitted by a mixer, gearbox, motor, recorded by sensors, are transmitted to a signal amplifier, then transmitted via communication channels to a computer and software is used to analyze, process the received data, and identify signals, identified signals are sent to the library and stored in a database. After identification of signals, comparison with reference samples of signals from the library takes place and management decisions are made. All data on monitoring the wear process of the mixer elements are sent to the central control panel. Figure 7 shows the algorithm for processing the signal from the source.

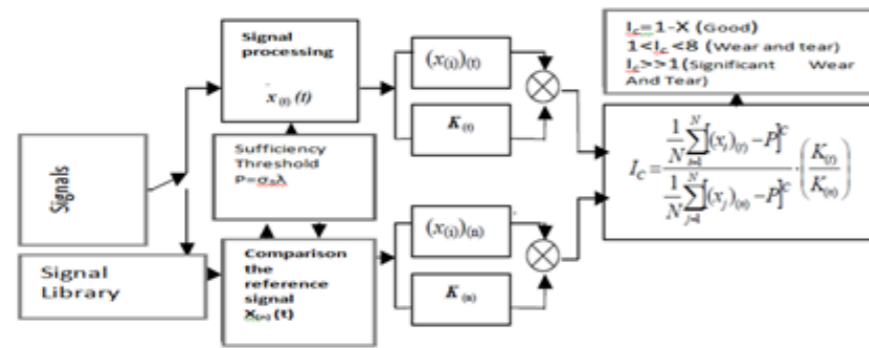


Figure 7 – Signal processing algorithm

As can be seen from Fig. 7, the incoming signal processed by the program is constantly compared with the reference signal (from the library), until the moment when it exceeds the sufficiency threshold. Only 3 conditions are good, the beginning of wear, critical wear.

Figure 8 shows the functional control scheme of the wear process of the mixer elements.

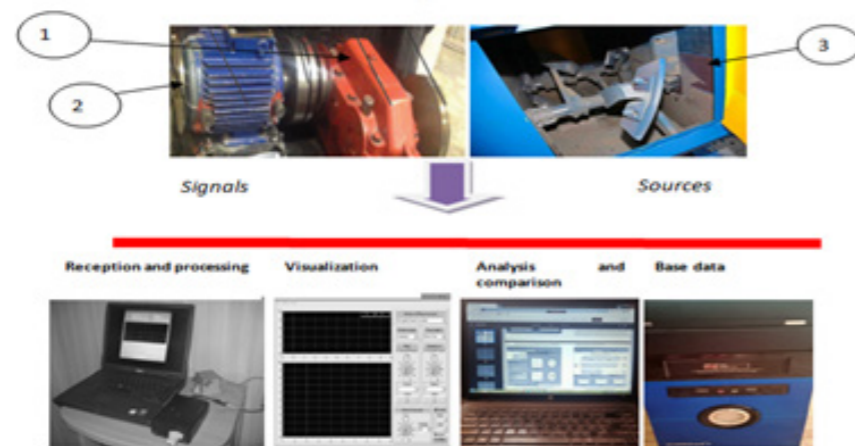


Figure 8 – Functional control diagram of the wear process of the mixer elements

Sensors can be installed directly on vibration and noise sources. Vibration signals and noise from sources 1 (gearbox), 2 (motor), 3 (mixer) are transmitted to the ADXL210 Argus soft device, where signals are registered and processed. There are a large number of programs for processing vibration signals and noise. In our study, a development [15] operating at a frequency of 8...14 kHz can be used to analyze vibroacoustic signals.

To work with the program, you need a computer with Linux OS, a mini-ITX motherboard (size 170x170 mm).

The ADXL210 Argus soft supports Intel Pentium M and Celeron M processors with a system bus frequency of 400/533 MHz.), a 10/100 Ethernet network controller. DDR SDRAM OP is 1 GB, connection of 2 devices with Serial ATA serial interface

(bandwidth up to 150 MB/s). The proposed hardware is implemented on standard solutions, which is not a little important.

Due to the fact that there is no data on vibration signals and noises from the mixer elements to date, it is necessary to identify them for various operating modes and time intervals, in order to form a library of vibration signals and noises, as well as the formation of dependencies to determine the wear of the mixer elements.

### Conclusion

The algorithm presented in the article for monitoring the wear of mixer elements allows processing vibration signals and noises in the range of 8–14 kHz, comparing signals and noises with reference data, forming an object identification library, monitoring the wear of mixer elements.

The hardware part of the proposed automated control system can be made from a standard set of peripheral and computing devices.

To date, there are no works related to the study of the wear of the mixer elements. In particular, the works of I. Artobolevsky, E. Hayrapetov, B. Abramov, V. Dorofeev, B. Pavlov, F. Balitsky, M. Genkin and others are devoted to the detection of defects in machines and mechanisms using vibroacoustic methods.

In this regard, the presented methodology for monitoring the wear process of mixer elements will be useful to anyone who deals with issues of non-destructive wear control using information technology.

### REFERENCES

- 1 **Харламов, И. В.** Основы инженерии поверхностей трения : учебное пособие. – Изд. Инфра-Инженерия, 2022. – 222 с. – ISBN 978-5-9729-1107-3.
- 2 **Тавтилов, И. Ш., Юршев, В. И.** Практикум по основам теории, изнашивания и триботехническим испытаниям. : учебное пособие / И. Ш. Тавтилов, В. И. Юршев. Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2017. – 231 с. – ISBN 978-5-7410-1698-5.
- 3 **Хопин, П. Н., Шишкин, С. В.** Трибология : учебник для вузов / П. Н. Хопин, С. В. Шишкин. – М. : Издательство Юрайт, 2023. – 236 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14021-7.
- 4 **Тимошенко, С.** Основы теории надежности : учебник и практикум для вузов / С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. – М. : Издательство Юрайт, 2023. – 445 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-8193-3.
- 5 ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ.2016-01-06. – М. : Изд-во стандартов, 2016. – 12 с.
- 6 **Ефремов, Л. В.** Виброакустический контроль изнашивания образцов цилиндрических пар трения. Известия вузов. Приборостроение.2018, Т61. – С. 106–111.
- 7 **Коротыш, А. и др.** Многопараметрический контроль резания. Современные научные исследования и инновации. 2013. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2013/02/21935>.

8 **Добровинский, И. Р., и др.** К вопросу контроля состояния режущей кромки резца виброакустическим методом. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – № 3 (31). – 2014. Технические науки. Машиностроение и машиноведение. – С. 102–116.

9 **Дао, Ван Ба.** Динамический метод исследования погрешностей триады микромеханических акселерометров : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб. : СПбГЭТУЛЭТИ, 2015. – 23 с.

10 **Павлов, Д. В., Лукин, К. Г., Петров, М. Н.** Разработка имитационной модели мемсакселерометра в среде Simulink. // Вестник НовГУ им. Ярослава Мудрого. – 2016. – № 4(95). – С. 28–33.

11 **Дьяконов, В. П.** Simulink 5/6/7 : самоучитель / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 784 с.

12 **Штовба, С. Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия Телеком, 2007. – 288 с.

13 **Inamura, T., Senda, T., Sata, T.** Computer control of chattering in turning operation. // Annals of the CIRP. – Vol 125/I. – 1977. – p. 181–186.

14 **Tomaszewski, F.** Frequency Analysis of Vibrations of the Internal Combustion Engine Components in the Diagnosis of Engine Processes [Text] / F. Tomaszewski, G. Szymanski // Archives of Transport. – 2012. – Vol. 24. – № 1. – P. 117–125. <https://doi.org/10.2478/v10174-012-0008-2>.

15 **Остапчук, А. К., Овсянников, В. Е., Рогов, Е. Ю.** Анализ виброакустических сигналов V 1.0. – М. : ВНТИЦ, 2008. – № 50200802217.

## REFERENCES

1 **Kharlamov, I. V.** Osnovi inzhenerii poverkhnosti treniya : uchebnoe posobie. [Fundamentals of Friction Surface Engineering]. :textbook. Izd. Infa-Inzheneriya, 2022. – 222 p. – ISBN 978-5-9729-1107-3.

2 **Tavtilov, I. Sh, Urshev, V. I.** Praktikum po osnovam teorii, iznashivaniya i tribotekhnicheskim ispitaniyam : uchebnoe posobie. [Workshop on the basics of theory, wear and tribotechnical tests]. : textbook / I. Sh. Tavtilov, V. I. Urshev. Orenburskii gos. univ-t. – Orenburg : OGU, 2017. – 231 p. – ISBN 978-5-7410-1698-5.

3 **Khopin, P. N., Shishkin, S. V.** Tribologiya uchebnik dlya vuzov [Tribology]. univesity textbook: / P. N. Khopin, S. V. Shishkin. – Moscow : Izdatelstvo Urait, 2023. – 236 p. – (Visshee obrazovanie). – ISBN 978-5-534-14021-7.

4 **Timoshenkov, C.** Osnovi teorii nadezhnosti : uchebnik i praktika dlya vuzov [Fundamentals of reliability theory] : textbook amd practica / S. P. Timoshenkov, B. M. Simonov, V. N. Goroshko. – Moscow : Izdatelstvo Urait, 2023. – 445 p. – (Visshee obrazovanie). – ISBN 978-5-9916-8193-3.

5 GOST R 56542-2015. Kontrol' nerazrushaushii. Kvalifikaciya vidov i metodov [The non-destructive control. Classification of types and methods]. – Vved.2016-01-06. – Moscow : Izd-vo standartov, 2016. – 12 p.

6 **Efremov, L. V.** Vibroakusticheskii kontrol' iznashivaniya obrazcov cilindricheskikh par treniya [Vibroacoustic wear control of cylindrical friction pairs samples]. – Izvestiya vuzov. Priborostroenie, 2018. – Т.61. – P. 106–111.

7 **Korotish, A., et al.** Mnogoparametricheskii kontrol' rezaniya [Multi-parameter cutting control] Sovremennienauchnie issledovaniya i innovacii. – 2013. – № 2 [Electronic resource]. – Access mode: <https://web.snauka.ru/issues/2013/02/21935>.

8 **Dobrovinskii, I. R., et al.** K voprosu kontrolyasostoyaniya rezhushei kromki rezca vibroakusticheskim metodom [On the issue of monitoring the state of the cutting edge of the cutter by the vibroacoustic method] / Izvestiya visshikh uchebnikh zavedenii. Povolzhskii region. – № 3 (31). – 2014. – Technicheskie nauki. Mashinostroenie i mashinovedenie. – P. 102–116

9 **Dao, Van Ba.** Dinamicheskii metod issledovaniya pogreshnostei triadi mikromekhanicheskikh akselerometrov [Dynamic method for investigating errors of a triad of micromechanical accelerometers]. Avtoref. diss. ... cand. techn. nauk. St. Petersburg : SPbGETULETI, 2015. – 23 p.

10 **Pavlov, D. V., Lukin, K. G., Petrov, M. N.** Razrabotka imitacionnoi modeli memsakselerometra v srede Simulink [Development of a memsaccelerometer simulation model in the Simulink environment] / VestnikNovGU im. Ya.Mudrogo. – 2016. – № 4(95). – P. 28–33.

11 **D'yakonov, V. P.** Simulink 5/6/7 : samouchitel' [Simulink 5/6/7] : tutorial / V. P. D'yakonov. – Moscow : DМК Press, 2008. – 784 p.

12 **Shtovba, S. D.** Proektirovanie nechetkikh system srdstvami MATLAB [Designing fuzzy systems using MATLAB] / S. D. Shtovba. – Moscow : Goryachaya liniya telecom, 2007. – 288 p.

13 **Inamura, T., Senda, T., Sata, T.** Computer control of chattering in turning operation. // Annals of the CIRP. – Vol. 125/I. – 1977 P. 181–186.

14 **Tomaszewski, F.** Frequency Analysis of Vibrations of the Internal Combustion Engine Components in the Diagnosis of Engine Processes [Text] / F. Tomaszewski, G. Szymanski // Archives of Transport. – 2012. – Vol. 24. – № 1. – P. 117–125. <https://doi.org/10.2478/v10174-012-0008-2>.

15 **Ostavchuk, A. K., Ovsyanikov, V. E., Rogov, E. U.** Analiz vibroakusticheskikh signalov V 1.0 [Analysis of vibroacoustic signals V 1.0]. – Moscow : VNTIC, 2008. – № 50200802217.

Accepted for publication 04.07.23

\*К. М. Акишев<sup>1</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>2</sup>,  
М. Байжарықова<sup>3</sup>, К. С. Мышенков<sup>4</sup>, Р. Аян<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup>Қазақ технология және бизнес университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ. ;

<sup>2</sup>«Экострой-НИИПВ» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. ;

<sup>3</sup>М. Х. Дулати атындағы өңірлік университет, Қазақстан Республикасы, Тараз қ. ;

<sup>4</sup>Н. Э. Бауман атындағы Мәскеу техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

Басып шығаруға 04.11.23 қабылданды.

### АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП МИКСЕР ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ТОЗУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

*Бүгінгі таңда машина жасау Қазақстан экономикасының қарқынды дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады.*

*Машиналар қатысатын кез-келген өндірістік процесс технологиялық процестердің тұрақты және апатсыз жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін сенімділік пен беріктікке қойылатын талаптарды қояды.*

*Осыған байланысты машиналардың пайдалану сипаттамаларын ұзақ уақыт қамтамасыз ету өндірушіні таңдаудағы негізгі фактор болып табылады.*

*Машиналарды өндіруде қолданылатын материалдардың сапасы машиналардың қызмет ету мерзіміне және пайдалану сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді.*

*Машина бөліктерінің тозуы сыну мен апаттардың негізгі себептерінің бірі болып табылады.*

*Машиналарды жөндеу баптарына қаржылық шығындар өте үлкен.*

*Бүгінгі күні бетон араластырғыштың, алынбалы қалақ элементтерінің қорғаныс элементтерінің тозуын бақылау тек көзбен ғана жүзеге асырылады және ауыстыру жүйелі түрде, толық тозғаннан немесе сынғаннан кейін жүзеге асырылады.*

*Өйткені, бұл элементтер әрдайым кәсіпорынның қоймасында, қарапайым жабдықта бола бермейді, бұл айтарлықтай уақытты алуы мүмкін.*

*MATLAB бағдарламасында араластырғыш элементтерінің тозу процесін модельдеу matlab бағдарламасында діріл-акустикалық әдісті қолдана отырып, модельдеу моделін жасауға мүмкіндік берді. Діріл сигналдарын талдау және өңдеу Стандартты бағдарламалар арқылы жүзеге асырылады. Миксер элементтерінің тозуын бақылау процесінің әзірленген алгоритмі сигналдар мен шулардың кітапханасын қалыптастыруға, оларды сигналдардың анықтамалық мәндерімен салыстыруға, миксер элементтерінің тозу дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді. Алгоритм стандартты бағдарламалық және аппараттық құрылғыларда жүзеге асырылуы мүмкін.*

*Кілтті сөздер: миксер, тозу, модель, бақылау, MATLAB, басқару.*

\*К. М. Акишев<sup>1</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>2</sup>, М. Байжарықова<sup>3</sup>  
К. С. Мышенков<sup>4</sup>, Р. Аян<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup>Казахский университет технологии и бизнеса,

Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>ТОО «Экострой-НИИПВ», Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>3</sup>региональный университет имени М. Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз

<sup>4</sup>Московский технический университет имени Н. Э. Баумана,

Российская Федерация, г. Москва

Принято к изданию 04.11.23.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ МИКСЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*На сегодняшний день машиностроение является одной из динамично развивающихся отраслей экономики Казахстана.*

*Любой производственный процесс, в котором участвуют машины, предъявляет требования по надежности и долговечности, для обеспечения стабильного и безаварийного функционирования технологических процессов.*

*В этой связи обеспечение эксплуатационных характеристик машин продолжительное время, является ключевым фактором при выборе производителя.*

*Качество материалов используемых при производстве машин, значительно влияет на срок службы и эксплуатационные характеристики машин.*

*Износ деталей машин, является одной из главных причин поломки и аварий.*

*Финансовые затраты на статьи ремонта машин достаточно велики.*

*На сегодняшний день, контроль износа элементов, съемных элементов лопаток миксера, осуществляется только визуально и замена происходит без системно, после полного истирания или поломки.*

*Так как, эти элементы не всегда имеются в наличие на складе предприятия, простой оборудования, может занять значительное время.*

*Моделирование процесса износа элементов миксера в программе MATLAB, позволила разработать имитационную модель с использованием виброакустического метода контроля. Анализ и обработка вибросигналов осуществляется с помощью стандартных программ. Разработанный алгоритм процесса контроля износа элементов миксера, позволяет формировать библиотеку сигналов и шумов, сравнивая их с эталонными значениями сигналов, определять степень износа элементов миксера. Алгоритм, может быть реализован на стандартных программно-аппаратных устройствах.*

*Ключевые слова: Миксер, износ, модель, контроль, MATLAB, управление.*

\*Г. М. Базенов<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, Ж. К. Мусина<sup>3</sup>,  
С. И. Деревягин<sup>4</sup>, А. Л. Галиновский<sup>5</sup>

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

<sup>5</sup>Московский государственный технический университет имени  
Н. Э. Баумана, Российская Федерация, г. Москва

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

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ

*В статье показано, каким образом подача при гидроабразивной резке влияет на шероховатость поверхности реза. Резание выполняется смесью воды и абразива, выпускаемых из сопла с высокой скоростью и под высоким давлением. Под действием режущей струи происходит эрозионное разрушение материала, частицы абразива снимают слой микростружки, а вода эвакуирует их из зоны резания.*

*Методом гидроабразивной резки можно обрабатывать практически любые материалы. Процесс резки – «холодный», отсутствует термическое воздействие на металл. Возможна резка сложной геометрии.*

*Анализ показал отсутствие зависимостей для прогнозирования шероховатости поверхности реза от основных технологических параметров обработки (давление струи, зернистость, размер, расход абразива, физико-механические параметры материала и т.д.). Технолог на производстве сталкивается с трудностью определения не только шероховатости поверхности реза, но и размеров зоны гладкого и волнистого реза. Отсутствие адекватных теоретических моделей формирования профиля шероховатости не позволяет выполнять оптимизацию процесса резки, с учетом требований заданной шероховатости. Возможность оптимизации процесса резки по заданному значению шероховатости делает возможность практического применения при разработке технологических процессов.*

*В результате исследований установлено, что шероховатость обработанной поверхности ухудшается с увеличением подачи. При этом ухудшение неравномерно распределено вдоль сечения реза. Для уменьшения ширины волнистого реза необходимо уменьшать значение подачи.*

*Ключевые слова: гидроабразивная резка, качество поверхности, режимы резания, подача, сопло, режущая головка, расход абразива, эрозионное разрушение металла.*

#### Введение

В машиностроении используются детали различных конфигураций, сложности, с разными требованиями по надежности и точности. Они изготавливаются из металлов и других материалов. Чаще всего это сталь, алюминий, пластик, стекло,

композиты. В крупносерийном производстве детали получают методом штамповки, литья. На современном этапе развития техники и производства необходимы опытные образцы, прототипы, для которых изготовление дорогостоящих штампов или литейных форм нецелесообразно.

Кроме того, в ряде областей промышленности изделие может состоять из множества элементов при единичной применяемости некоторых деталей. Для уменьшения производственных затрат детали изготавливаются методом раскроя (резки) плит различных материалов толщиной от 0,5 до 200 мм с последующей механической обработкой или без нее. Применение фасонных заготовок из толстолистовых материалов позволяет сократить вспомогательное время при обработке на обрабатывающих центрах с ЧПУ за счет упрощения схемы базирования. Как и все технологические процессы, различные методы раскроя имеют достоинства и недостатки. Оптимальный метод обеспечивает наилучшее качество и точность реза при наименьших затратах времени и ресурсов [1].

Существуют механическая, лазерная, плазменная и электроэрозионная резка. Каждый из этих методов эффективен для узкого диапазона задач. Например, при механической резке невозможно получать фигурный профиль заготовки. Лазерная резка эффективна для толщин материала до 20 мм и не может использоваться для обработки композитов, токопроводящих и отражающих свет материалов. Плазменная резка обладает высокой производительностью, позволяет раскраивать металлы толщиной до 300 мм, но качество реза очень грубое, оплачивается кромка реза, образуется грат, точность реза невысокая. Электроэрозионный метод (ЭЭМ) позволяет получать очень качественный и чистый рез, но производительность низкая, а стоимость расходных материалов и оборудования высокая [2–4].

#### Материалы и методы

Апробация и реализация исследований проводились на базе ООО «Гидроджет» на установке гидроабразивной резки MultiCam WaterJet Systems и Flow Mach 3 1313b с применением инверсного металлографического микроскопа МИМ-1600Б, аналитических весов Sartorius Cubis 225S, а шероховатость поверхности – профилограф-профилометр БВ-7669М.

Для выявления дефектов гидроабразивной резки проводилась серия экспериментов на примере стали 30ХГСА толщиной 30 мм, при постоянном давлении в 400 МПа. Использовался гранатовый абразив зернистостью 80 мкм. Эксперименты проводились при различных подачах 5 мм/мин и 80 мм/мин. Резание производилось на глубину 5 мм, 15 мм и 30 мм.

Экспериментальные исследования процесса гидроабразивной резки проводились на установке 5-ти осевой гидроабразивной резки фирмы «Flow». Установка позволяет обрабатывать практически любые виды материалов, как металлы, так и неметаллы. Наличие 5-ти управляемых координатных осей позволяет обрабатывать не только плоские детали, но и детали со сложной 3D геометрией. Данная установка позволяет разрезать стальные заготовки толщиной до 300 мм. Достоинством данной установки является высокая производительность и надежность [5–6].



Рисунок 1 – Установка гидроабразивной резки фирмы «Flow»

Установка состоит из рабочего стола для крепления заготовок, ванны с водой для гашения струи, режущей головки, на которой установлены смешивающая и фокусирующая трубки. Головка крепится на портале, в месте крепления головки к порталу расположены две управляемые поворотные оси В и С. Портал перемещается по трем линейным координатным осям X, Y, Z. На портале расположено устройство для подачи абразива, который эжекционным способом поступает в смешивающую камеру. Стойка ЧПУ управляет перемещениями рабочих органов, включением выключением подачи абразива, насосом высокого давления. Насос - мультипликатор создает высокое давление воды, которое через трубопровод высокого давления подается в зону резания [5-12].

Таблица 1 – Технические характеристики установки

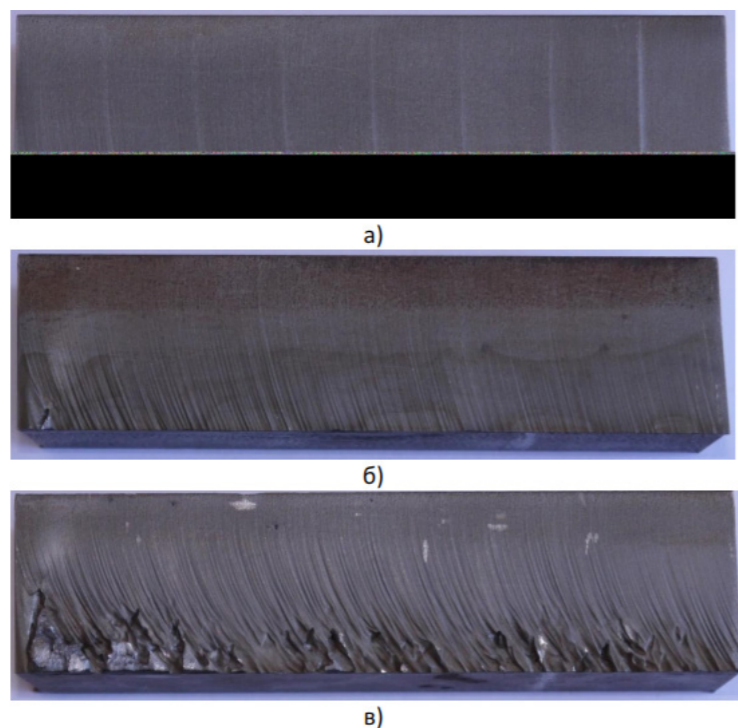
Скорость и точность	
Точность позиционирования	
Линейные оси X, Y, Z	±0.127 мм
Поворотная ось С	±0.5°

Поворотная ось В	±0.5°
Точность позиционирования инструмента в точке	±0.254 мм
Повторяемость	
Линейные оси X, Y, Z	±0.076 мм
Поворотные оси С и В	±0.25°
Точность позиционирования инструмента в точке	±0.152 мм
Скорость перемещений	
Линейные оси X, Y, Z	15.2 м/мин
Поворотные оси С и В	90°сек
Ускоренные перемещения	30.5 м/мин
Пределы перемещений по осям	
Габариты стола	2.4x1.8 м
Ось С	360°
Ось В	180°(±90°)
Ось Z	600 мм
Мощность насоса 7XS-60	30 kW
Максимальный расход воды	3.81 л/мин
Максимальное давление	4150 Бар

### Результаты и обсуждение

Получены зависимости определения шероховатости поверхности для характерного участка поверхности реза. Приведены рекомендации, позволяющие снизить число дефектов, возникающих при гидроабразивной резке. Выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность полученных теоретических моделей.

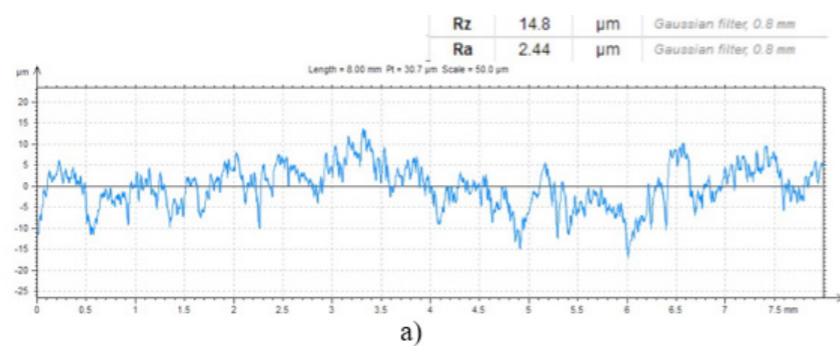
В ходе обработки стали 30ХГСА с твердостью 20HRC подача сопла изменялась в диапазоне от 5 до 120 мм/мин через каждые 15 мм реза.



а) подача от 5 до 40 мм/мин, б) подача от 45 до 80 мм/мин, в) подача от 85 до 120 мм/мин.

Рисунок 2 – Поверхность реза образца из стали 30ХГСА толщиной 30 мм при увеличении подачи (справа налево)

С помощью профилограф-профилометра БВ-7669М были произведены замеры шероховатости поверхности на характерных участках глубины реза. Эксперименты проводились при подаче 5 мм/мин (рисунок 3) и 80 мм/мин (рисунок 4) [13].



б)



в)

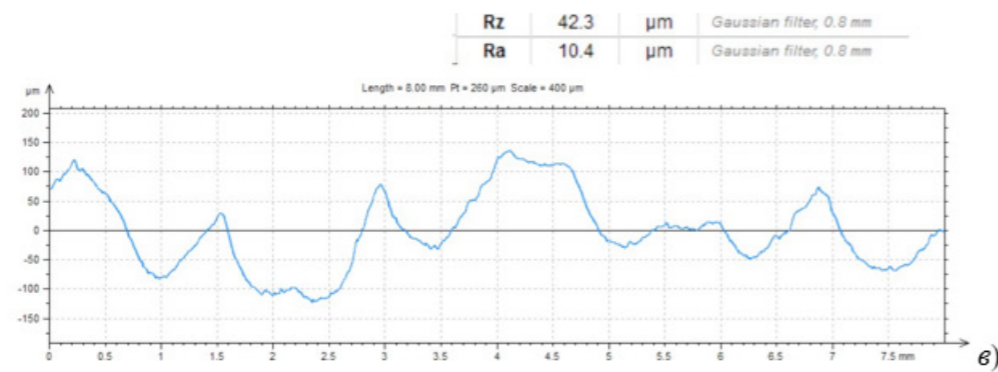
Рисунок 3 – Профилограмма поверхности реза образца из стали 30ХГСА при подаче 5 мм/мин: на глубине реза 5 мм (а); на глубине реза 15 мм (б); на глубине реза 30 мм (в)



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Профилограммы поверхности реза образца из стали 30ХГСА при подаче 80 мм/мин: на глубине реза 5 мм (а); на глубине реза 15 мм (б); на глубине реза 30 мм (в)

Обработка профилограмм производилась в специализированном программном обеспечении TalyProfile Lite 7.1.

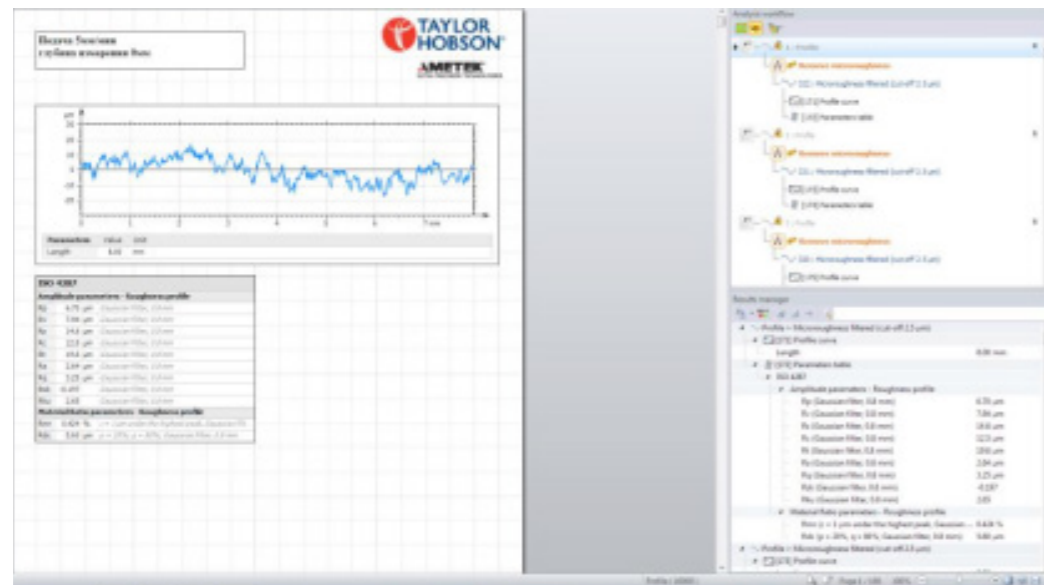


Рисунок 5 – Окно программы TalyProfile Lite7.1

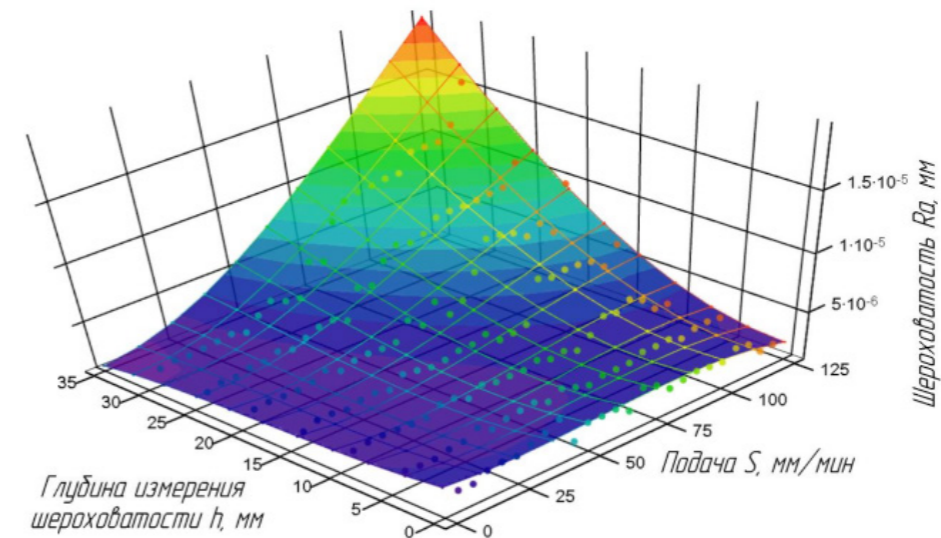


Рисунок 6 – Зависимость шероховатости поверхности на образце из стали 30ХГСА толщиной 30мм, при увеличении подачи и изменении глубины измерения

При скорости 120 мм/мин прекратилось сквозное резание металла, а значит, дальнейшее увеличение подачи не имеет смысла.

В виду того, что шероховатость поверхности ухудшается не только с увеличением подачи, но и увеличении глубины. У вершины реза изменение шероховатости незначительны. С увеличением глубины шероховатость ухудшается.

Итак, при увеличении подачи растет значение шероховатости поверхности. Значение шероховатости изменяется и по сечению реза: у вершины реза поверхность равномерная, к низу реза образуется волнистая поверхность. Это явление связано с тем, что струя теряет режущую способность и отклоняется от начальной траектории в направлении, противоположном направлению подачи.

На основании полученных экспериментальных данных, был произведен регрессионный анализ данных в программе инженерных и научных расчетов MathCad. В результате получены уравнения, по которым возможно производить расчеты шероховатости поверхности реза по соответствующим значениям подачи [11, 14–16].

Графики и уравнения регрессии представлены на рисунках 7–13.



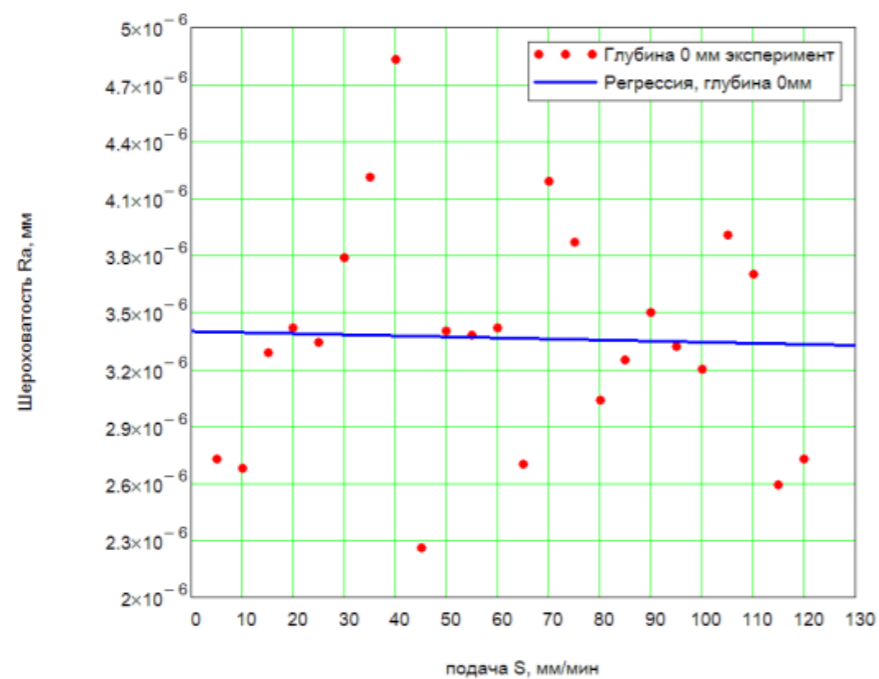


Рисунок 7 – Зависимость шероховатости поверхности реза на вершине реза

Уравнение регрессии:

$$Ra = 3.4 \cdot 10^{-6} - 5.643 \cdot 10^{-10} \cdot S \quad (1)$$

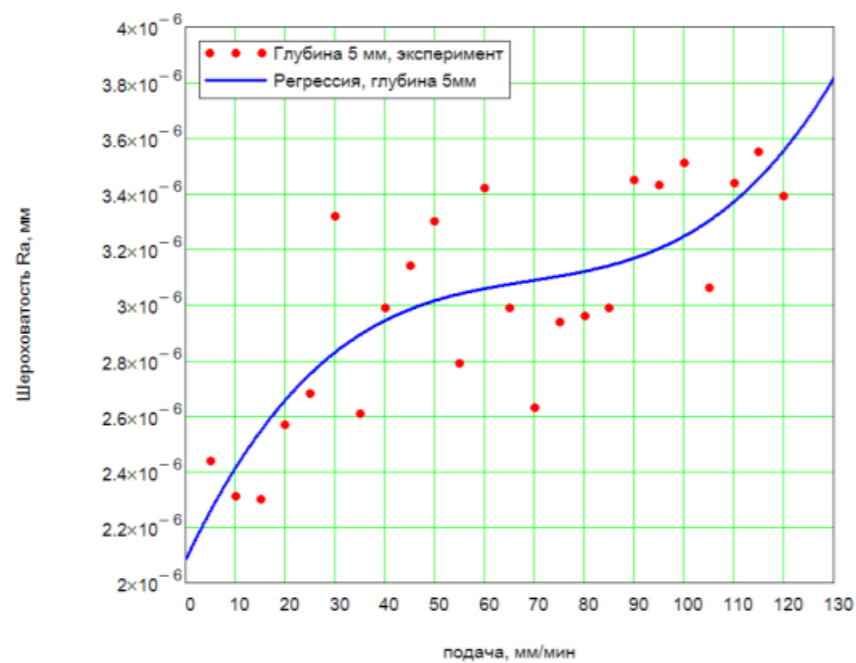


Рисунок 8 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 5мм

Уравнение регрессии:

$$Ra = 2.082 \times 10^{-6} + 3.793 \times 10^{-8} \cdot S - 5.081 \times 10^{-10} \cdot S^2 + 2.453 \times 10^{-12} \cdot S^3 \quad (2)$$

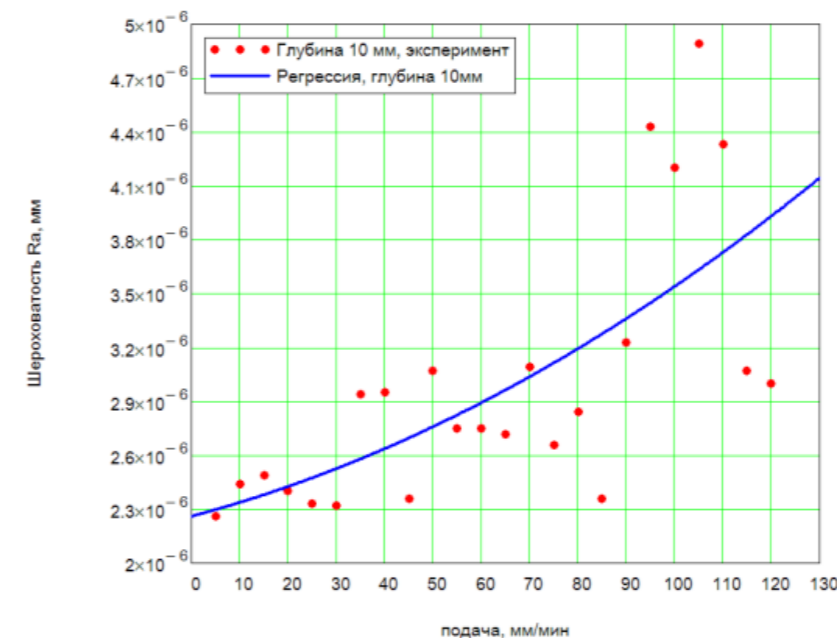


Рисунок 9 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 10 мм.

Уравнение регрессии:

$$Ra = 2.261 \times 10^{-6} + 7.15 \times 10^{-9} \cdot S + 5.633 \times 10^{-11} \cdot S^2 \quad (3)$$

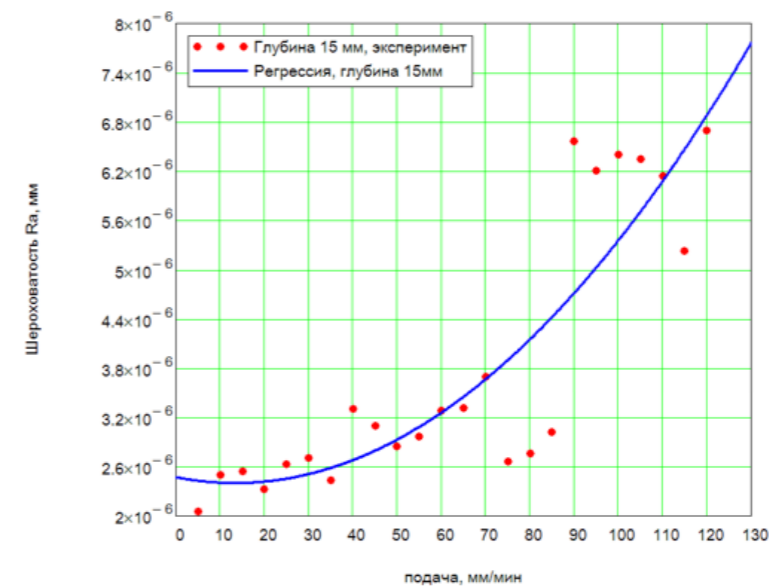


Рисунок 10 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 15 мм

Уравнение регрессии:

$$Ra = 2.472 \times 10^{-6} - 1.059 \times 10^{-8} \cdot S + 3.942 \times 10^{-10} \cdot S^2 \quad (4)$$

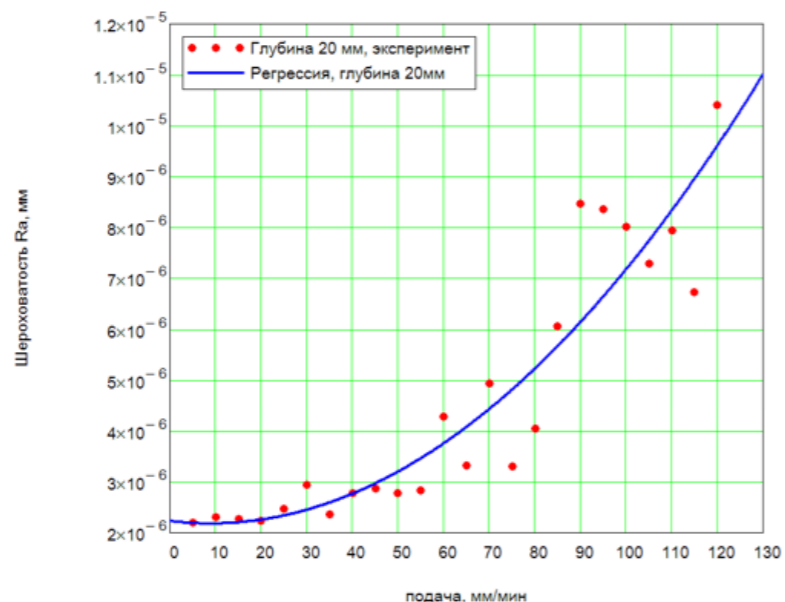


Рисунок 11 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 20 мм.

Уравнение регрессии:

$$Ra = 2.234 \times 10^{-6} - 1.075 \times 10^{-8} \cdot S + 6.017 \times 10^{-10} \cdot S^2 \quad (5)$$

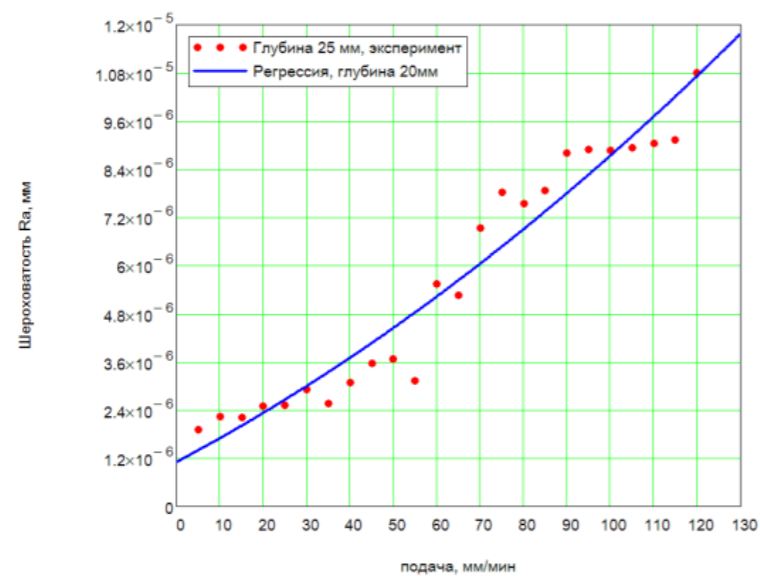


Рисунок 12 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 25 мм.

$$Ra = 1.109 \times 10^{-6} + 5.715 \times 10^{-8} \cdot S + 1.912 \times 10^{-10} \cdot S^2 \quad (6)$$

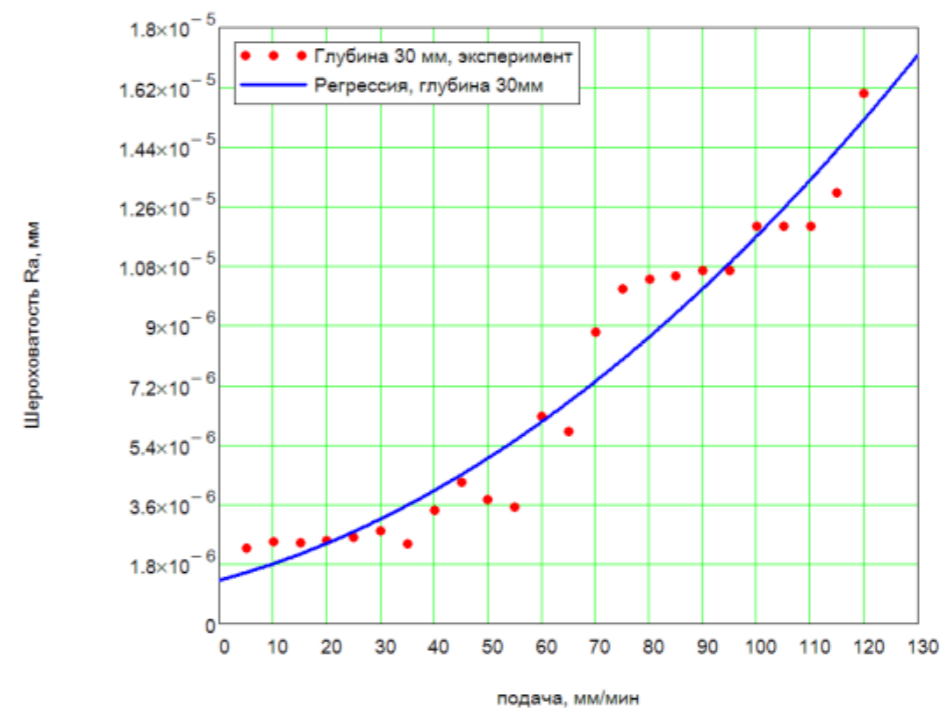


Рисунок 13 – Зависимость шероховатости поверхности реза на глубине 30 мм

$$Ra = 1.315 \times 10^{-6} + 4.342 \times 10^{-8} \cdot S + 6.038 \times 10^{-10} \cdot S^2 \quad (7)$$

Из графиков видно, что у вершины реза изменение шероховатости незначительны. С увеличением глубины шероховатость ухудшается.

Уравнение для нахождения шероховатости поверхности будет иметь вид:

$$Ra = 3.602 \cdot 10^{-6} - 3.225 \cdot 10^{-8} \cdot S - 1.35 \cdot 10^{-7} \cdot h - 1.963 \cdot 10^{-9} \cdot S \cdot h + 2.439 \cdot 10^{-11} \cdot S^2 \cdot h + 9.569 \cdot 10^{-11} \cdot S \cdot h^2 + 8.116 \cdot 10^{-10} \cdot S^2 + 6.191 \cdot 10^{-11} \cdot h^2 - 5.056 \cdot 10^{-12} \cdot S^3 - 1.202 \cdot 10^{-10} \cdot h^3 \quad (8) [3]$$

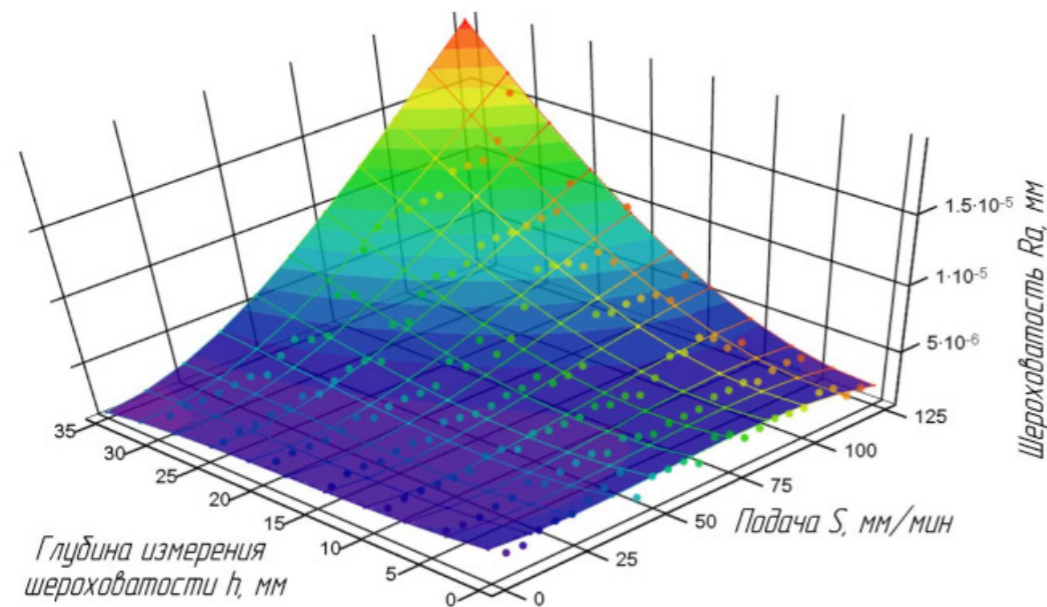


Рисунок 14 – Зависимость шероховатости поверхности на образце из стали 30ХГСА толщиной 30мм, при увеличении подачи и изменении глубины измерения

#### Выводы

Полученная зависимость применима для определения шероховатости реза. С учетом требований к поверхности детали определяется, требуется ли дальнейшая чистовая обработка поверхности с последующим удалением припуска. При образовании недорезов на внешних и внутренних пересечениях граней детали рекомендуется применять замедление подачи. Во избежание негативных эффектов в месте входа-выхода струи рекомендуется оставлять недорез либо использовать врезание и отвод режущей струи по траектории дуги.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Барзов, А. А., Галиновский, А. Л., Сысоев, Н. Н. Ультразвуковые гидрофизические технологии. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 146 с.
- 2 Барсуков, Г. В. Исследование погрешности формы при резании листовых материалов гидроабразивной струей // Сб. тр. Междунар. науч.- техн. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения» – «Технология - 2003», 2003 – С. 449–455.
- 3 Шпилев, В. В. Повышение эффективности процесса гидроабразивной резки листовых деталей путем оптимизации режимов обработки и параметров струи рабочей жидкости: . дис. канд. техн. наук: 05.02.08 – Саратов, 2012. – 147 с.
- 4 Тихомиров, Р. А., Петухов, Е. Н., Кравченко, Д. В. Обработка струями абразивной суспензии сверхвысокого давления [Текст] // Актуальные проблемы

повышения качества машиностроительной продукции : Матер. Всерос. науч.-техн. конф., ВлГУ. – Владимир, 1999. – С. 64.

5 Abrasive-Wasserstrahlschneiden-die ideale Ergänzung zum Schneiden verschiedenster Materialien [Текст] : Проспект фирмы Bystronic, 1998. – 10 с.

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

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

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

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

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

11 **Ospantaev M. K.** Geometric parameters of a peakless cutting tool in the instrumental coordinate system // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – №. 1. – P. 40–51. – <https://doi.org/10.48081/VYTH5824>.

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

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

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

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

16 **Bazenov, G. M.** On the issue of the use of waterjet treatment in modern mechanical engineering // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – №. 2. – P. 39–47. – <https://doi.org/10.48081/BDFH9117>.

Принято к изданию 07.12.23.

- 1 **Barzov, A. A., Galinovsky, A. L., Sysoev, N. N. Sy' soev, N. N.** Ul'trastrujny'e gidrofizicheskie tekhnologii [Ultra-jet hydrophysical Technologies]. – Moscow : Bauman Moscow State Technical University, 2019. – 146 p.
- 2 **Barsukov, G. S.** Issledovanie pogreshnosti formy` pri rezanii listovy`x materialov gidroabrazivnoj struej [Studying the error of forms when cutting sheet materials of a hydrazive jet] // Sb. tr. International Scientific.- tech. conf. «Fundamental and applied technological problems of typists» – «Technology-2003». – 2003. – P. 449–455.
- 3 **Shpilev, V. V.** Povy'shenie e'ffektivnosti processa gidroabrazivnoj rezki listovy`x detalej putem optimizacii rezhimov obrabotki i parametrov strui rabochej zhidkosti : dis. kand. texn. nauk: 05.02.08 [Improving the efficiency of the process of waterjet cutting of sheet parts by optimizing the processing modes and parameters of the working fluid jet : dis. Candidate of Technical Sciences: 05.02.08] / Shpilev Vasily Vladimirovich. – Saratov, 2012. – 147 c.
- 4 **Tikhomirov, P. A., Petukhov, E. H., Kravchenko, D. V.** Obrabotka struyami abrazivnoj suspenzii sverxvy'sokogo davleniya [Treatment with ultrahigh pressure abrasive suspension jets] [Text] // Actual problems of improving the quality of machine-building products : Mater. Vseros. nauch.-tech. conf., VISU. – Vladimir, 1999. – P. 64.
- 5 Abrasive-Wasserstrahlschneiden-die ideale Ergänzung zum Schneiden verschiedenster Materialien [Text]. – Bystronic, 1998. – 10 c.
- 6 **Ablyaz T. R., Vil'deman V. E., Muratov K. R. et al.** Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining // Russian Engineering Research. – 2018 – Vol. 39. – Issue 10. – P. 892–894.
- 7 **Dudak N. S., Itybaeva G. T., Musina Zh. K. et al.** A New Pass-Through Lathe Cutter // Russian Engineering Research, 2014. – Vol. 34. – Issue 11. – P. 705–707.
- 8 **Zvezdin V. V., Khisamutdinov R. M., Grechishnikov V. A. et al.** Laser Machining of Tool Steels // Russian Engineering Research, 2018. – Vol. 38. – Issue 12. – P. 1038–1041.
- 9 **Mukanov R. B., Kasenov, A. Z., Itybaeva G. T. et al.** Face Turning of Holes // Russian Engineering Research, 2019. – Vol. 39. – Issue 1. – P. 75–78.
- 10 **El-Hofy H.** Advanced machining processes. Nontraditional and Hybrid machining processes // The McGraw-Hill Companies. – 2005. – P. 32–46.
- 11 **Ospantaev M. K.** Geometric parameters of a peakless cutting tool in the instrumental coordinate system // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – № 1. – P. 40–51. – <https://doi.org/10.48081/VYTH5824>.
- 12 **Mendaliyeva S. I., Kosatbekova D. Sh., Akulovich L. M.** Tekhnologiya i oborudovaniye gidrorezki i gidroabrazivnoy obrabotki v sovremennom mashinostroyenii [Technology and equipment for hydrocutting and waterjet processing in modern mechanical engineering] // Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin. – 2016. – № 2 (89). – P. 144–153.
- 13 **Galinsky A. L., Tarasov V. A., Elfimov V. M.** Minimizatsiya tekhnologicheskoy sebestoimosti gidroabrazivnogo rezaniya s uchetom stoimostnykh i

tekhnologicheskikh parametrov protsessa obrabotki [Minimization of the technological cost of waterjet cutting taking into account the cost and technological parameters of the processing process] // Izvestia of higher educational institutions «Mechanical Engineering». – 2011. – № 4. – P. 46–54.

14 **Stepanov Yu.S., Barsukov G.V., Alyushin E.G.** Sovremennyye tekhnologii gidro- i gidroabrazivnoy obrabotki zagotovok [Modern technologies for hydro- and hydroabrasive processing of workpieces] High-tech technologies in mechanical engineering. – 2012. – №. 6. – P. 15–20.

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

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

\***Г. М. Базенов<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, Ж. К. Мусина<sup>3</sup>,  
С. И. Деревягин<sup>4</sup>, А. Л. Галиновский<sup>5</sup>**

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

<sup>5</sup>Н. Е. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

#### ГИДРОАБРАЗИВТІ КЕСУ ПРОЦЕСІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

*Мақалада гидроабразивті кесу кезінде берістің кесу бетінің кедір-бұдырлығына қалай әсер ететіні көрсетілген. Кесу саптамадан жоғары жылдамдықпен және жоғары қысыммен шығарылатын су мен абразивтің қоспасымен жүзеге асырылады. Кесу ағынының әсерінен материалдың эрозиялық бұзылуы орын алады, Абразив түйіршіктері микрожоңқалы қабатты алып тастайды, ал су оларды кесу аймағынан эвакуациялайды.*

*Гидроабразивті кесу әдісімен кез-келген материалдарды өңдеуге болады. Кесу процесі» суық», металға термиялық әсер етпейді. Күрделі геометрияны кесуге болады.*

*Талдау кесу бетінің кедір – бұдырын өңдеудің негізгі технологиялық параметрлеріне (ағын қысымы, түйіршіктілік, өлшем, абразивтің шығыны, материалдың физикалық-механикалық параметрлері және т.б.) болжауға тәуелділіктің жоқтығын көрсетті. Өндірістегі технолог тек кесу бетінің кедір-бұдырын ғана емес, сонымен қатар тегіс және толқынды кесу аймағының мөлшерін де анықтауда қиындықтарға тап болады. Кедір-бұдыр профилін қалыптастырудың барабар теориялық модельдерінің болмауы берілген кедір-бұдыр талаптарын ескере отырып, кесу процесін оңтайландыруға мүмкіндік бермейді. Кедір-бұдырдың берілген мәні бойынша кесу процесін оңтайландыру мүмкіндігі технологиялық процестерді дамытуда практикалық қолдануға мүмкіндік береді.*

*Кесу бетінің тән бөлігі үшін беттің кедір-бұдырлығын анықтауға тәуелділіктер алынды. Гидроабразивті кесу кезінде пайда болатын*

ақаулардың санын азайтуға арналған ұсыныстар берілген. Алынған теориялық модельдердің сәйкестігін растайтын эксперименттік зерттеулер жүргізілді.

Зерттеулер нәтижесінде оңделген беттің кедір-бұдырлығы берудің жоғарылауымен нашарлайтыны анықталды. Бұл жағдайда кесу қимасы бойынша нашарлау біркелкі бөлінбейді. Толқынды кесу еңін азайту үшін беріс мәнін азайту керек.

Кілтті сөздер: гидроабразивті кесу, бетінің сапасы, кесу режимдері, беріс, шүмек, кесу басы, абразивті шығыны, металдың эрозиялық бұзылуы.

\*G. M. Bazhenov<sup>1</sup>, G. T. Itybayeva<sup>2</sup>, Zh. K. Mussina<sup>3</sup>,  
S. I. Derevyagin<sup>4</sup>, A. L. Galinovsky<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>5</sup>Moscow State Technical University named after N. E. Bauman,  
Russian Federation, Moscow.

Accepted for publication on 07.12.23.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WATERJET CUTTING PROCESS

The article shows how the feed affects the roughness of the cutting surface during waterjet cutting. Cutting is performed by a mixture of water and abrasive emitted from the nozzle at high speed and under high pressure. Under the action of the cutting jet, erosive destruction of the material occurs, abrasive particles remove a layer of micro-chips, and water evacuates them from the cutting zone.

Waterjet cutting can be used to process almost any materials. The cutting process is «cold», there is no thermal effect on the metal. Cutting of complex geometry is possible.

The analysis showed the absence of dependencies for predicting the roughness of the cutting surface on the main processing parameters (jet pressure, grain size, abrasive consumption, physical and mechanical parameters of the material, etc.). The production technologist faces the difficulty of determining not only the roughness of the cut surface, but also the size of the smooth and wavy cut zone. The lack of adequate theoretical models for the formation of the roughness profile does not allow optimization of the cutting process, taking into account the requirements of a given roughness. The possibility of optimizing the cutting process according to a given roughness value makes it possible for practical application in the development of technological processes.

The dependences of determining the surface roughness for a characteristic section of the cut surface are obtained. Recommendations are given to reduce the number of defects that occur during waterjet cutting. Experimental studies confirming the adequacy of the obtained theoretical models have been carried out.

Discussions and conclusions. As a result of the research, it was found that the roughness of the treated surface worsens with increasing feed. In this case, the deterioration is unevenly distributed along the section of the cut. To reduce the width of the wavy cut, it is necessary to reduce the feed value.

Keywords: waterjet cutting, surface quality, cutting modes, feed, nozzle, cutting head, abrasive consumption, erosive destruction of metal.

МРНТИ 61.61.29

<https://doi.org/10.48081/RUEX4244>

\*А. С. Берг<sup>1</sup>, А. А. Берг<sup>2</sup>, В. В. Юрченко<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,  
Республика Казахстан, г. Караганда

\*e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЛИННОМЕРНЫХ СТАНИН МРС ОТ СОСТАВА ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В данной статье представлен анализ различных составов полимербетона. Рассмотрены достоинства и недостатки полимербетона, применяемого для проектирования длинномерных металлорежущих станков (МРС). Были исследованы шесть заполнителей (базальт, сподумен, летучая зола, речной гравий, песок и мел). Образцы полимербетона были приготовлены с различными составами заполнителей, содержащих одинаковую объемную долю смолы (заполнители 83 % и смола 17 %). Для измерения прочности образцов полимербетона на изгиб был использован четырехточечный тест на изгиб. КТР полимербетона был измерен с помощью специально изготовленного устройства. Был рассмотрен оптимальный состав позволил снизить вариации деформации оснований до достаточно низкого уровня, что способствует дальнейшему повышению точности станков с прецизионным инструментом. Это улучшение условий эксплуатации для прецизионной обработки инструмента ускоряет уровень точности до более высокого пика при получении точных изделий. Были проведены численные исследования динамических свойств и анализ статических прочностных свойств двух корпусов станка. Во время теоретических исследований метод конечных элементов использовался для анализа гибридного корпуса, состоящего из двух материалов. Это представляет собой некоторое упрощение, поскольку модель контакта чугуна и полимербетона требует экспериментальной идентификации. Такая идентификация охватывала свойства конструкционных материалов.

Ключевые слова: полимерный материал, полимербетон, металлорежущий станок, состав полимербетона, прочность на изгиб, коэффициент теплового расширения.

### Введение

Благодаря превосходному коэффициенту демпфирования, высокой адгезии и быстрому отверждению полимербетон используется в производстве оснований для широкого спектра прецизионных станков. Коэффициент теплового расширения для полимербетона является одним из основных параметров, который может повлиять на уровень точности в станках с прецизионным инструментом [1].

Прочность на изгиб – это фундаментальная прочность основания. Были исследованы шесть заполнителей (базальт, сподумен, летучая зола, речной гравий,

песок и мел). Образцы полимербетона были приготовлены с различными составами заполнителей, содержащих одинаковую объемную долю смолы (заполнители 83 % и смола 17 %). Для измерения прочности образцов полимербетона на изгиб был использован четырехточечный тест на изгиб. КТР полимербетона был измерен с помощью специально изготовленного устройства. Было установлено, что оптимальным наполнителем для состава с наибольшей прочностью на изгиб и наименьшим КТР являются базальт, сподумен и летучая зола. Состав базальта, песка и летучей золы был вторым в рейтинге. Различные образцы полимербетона были приготовлены с различными объемными долями смолы следующим образом: 17 %, 15 % и 13 %. Исследования показали, что объемная доля смолы оказывает значительное влияние на КТР и прочность на изгиб полимербетона. Конечная оптимизированная композиция состояла из базальта, песка и летучей золы (наполнитель 87 % и смола 13 %). Программное обеспечение ANSYS 13 использовалось для визуализации влияния полимербетонных композиций на тепловое расширение основания и того, как это влияет на уровень точности инструментального станка [2].

Полимербетон имеет широкий спектр областей применения, таких как промышленные полы, подземные трубопроводы, для производственных центров с ЧПУ и для шлифовальных станков с ЧПУ. Множество областей применения полимербетона отражает разнообразие свойств, таких как хорошая механическая прочность, низкая водопроницаемость, высокий коэффициент демпфирования, быстрое отверждение, хорошая адгезионная прочность, длительный срок службы и стойкость [6]. Уровень точности для прецизионных станков определяется базовой рамой станка, на которой установлены подсистемы позиционирования и привода. В прецизионном станке базовая рама обеспечивает позиционирование подсистем в сложных динамических и статических условиях. В этих условиях эксплуатации силы, крутящие моменты и градиенты температуры динамически генерируются по всей системе для сложной геометрии изделия и повышенные требования к точности инструмента [7].

Полимербетон имеет ряд недостатков, таких как усадка и низкое сопротивление ползучести [10]. Самым большим недостатком, влияющим на эффективность эксплуатации, является коэффициент теплового расширения (КТР), используемого в прецизионном оборудовании. Согласно Valore, КТР высок для полимербетона, в составе которого полиэфирная смола в качестве связующего, по сравнению с чугунами и другими металлическими вставками в основании.

При неоднородном распределении теплового расширения может снизиться точность станка с прецизионным инструментом. Сообщалось, что увеличение объемного соотношения смолы в полимербетоне приводит к увеличению КТР, прочности на сжатие и теплопроводности. Свойства полимербетона также зависят от свойств заполнителей: форма и распределение частиц по размерам, свойства поверхности частиц и объемные доли заполнителя.

Основной целью этого исследования является оптимизация состава заполнителя с достаточным количеством смолы для полимербетона, чтобы

уменьшить КТР и увеличить прочность на изгиб, что приведет к повышению точности основания станка [1].

#### Материалы и методы

Система упаковки заполнителей была определена в соответствии с печным методом, начиная с количества заполнителей, основанного на соотношении наибольшего диаметра частиц и наименьшего диаметра частиц. Путем применения соотношения диаметров и объема пустот, было определено количество заполнителей. Согласно методу Фурнаса, промежуточный диаметр  $D_2$  был рассчитан с использованием следующего выражения [4]:

$$D_2 = \sqrt{D_1 \cdot D_3} \quad (1)$$

где  $D_1$  и  $D_3$  – наибольший и наименьший диаметры частиц. Общий абсолютный объем наполнителей  $V_0$  рассчитывали по следующей формуле:

$$V_0 = \frac{1}{1 + V_1} + \frac{1}{1 + V_2} + \frac{1}{1 + V_3} \quad (2)$$

где  $V_1, V_2, V_3$  – объемы пустот для самого большого, промежуточного и самого маленького диаметра частиц. Общую объемную долю, занимаемую твердыми частицами  $V_f$ , рассчитывали по следующей формуле:

$$V_f = V_0(1 - V_1^2) \quad (3)$$

Объемная доля каждого компонента наполнителей  $P_i$  была рассчитана с использованием приведенной ниже формулы;

$$P_i = \frac{V_p}{V_f} \quad (4)$$

Этот подход учитывает объем пустот и обеспечивает хорошее представление о возможном составе наполнителя. Однако он не учитывает формы частиц и может использоваться в основном для сферических тел. Для приготовления смеси ПК мелкий заполнитель 8,3 %, крупный заполнитель 49,8 % и средний заполнитель 24,9 % добавляли к 17 % смолы в последующем порядке и смешивали с помощью традиционного бетоносмесителя. Перемешивание продолжается в течение 15 минут, чтобы обеспечить наилучшее смачивание всех частиц смолой, максимально увеличивая поверхность контакта смолы с галькой и получить достаточную адгезию. Смесь, которая состоит из смолы и заполнителей, наполняют прямоугольную бетонную форму (100×100×300 мм) и покрывают с разделителем, который содержит гелевое покрытие во избежание прилипания полимербетона к форме из стали. Данную форму с полимербетоном фиксируют на вибростолу на 10 минут, поскольку это обеспечит наилучшее отверждения.

Образцы отвердевали в течении 29 дней при температуре окружающей среды. Образцы ПК были приготовлены с 17 %, 15 % и 13 % объемной доли смолы [4].

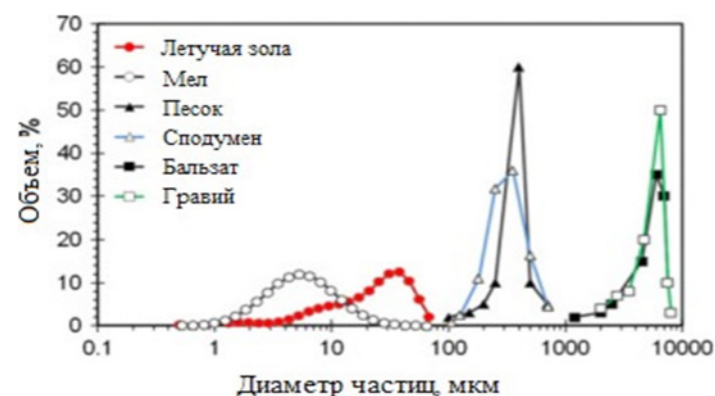


Рисунок 1 – Распределение частиц по размерам для всех агрегатов

Прочность образцов ПК на изгиб измеряли с использованием четырехточечного теста. Коэффициент теплового расширения измеряли с помощью изготовленного устройства. Устройство включает в себя нагревательную камеру (номер модели Thumler TH2700-26, Германия) с двумя датчиками перемещения, подключенными к небольшому цифровому дисплею (SYLVAC DSOS, Швейцария), и термостат, подключенный к микропроцессору контроля температуры. Температура образца ПК была получена с использованием системы сбора данных, оснащенной компьютером, как показано на рисунке 8. В этой установке используются два стержня, изготовленные из инвара. Инвар представляет собой 36 % сплав никель-железо с самым низким КТР в диапазоне 30–250 °С. Один из стержней используется в качестве идеала, а другой помещается над образцом ПК. Расширение эталонного стержня и образца со вторым стержнем обнаруживается в верхней части нагревательной камеры, которые касаются стержней инвара. На рисунке 2 показано расположение внутри нагревательной камеры. Образец ПК имеет отверстие в верхнем центре для размещения датчика термопары (термопара SE00 type K, Pico technology, Великобритания) для мониторинга и контроля температуры внутри образца. Система сбора данных Pico содержит регистратор данных термопары TC-08 (Pico technology, Великобритания), подключенный к компьютеру для отображения температуры. Из-за низкой теплопроводности полимербетона для достижения теплового равновесия требуется примерно 1 час. Тепловое расширение измеряли при следующих температурах: 25, 35, 40, 50 и 60 °С. Некоторые температуры выходят за пределы температурного диапазона основания во время эксплуатации. Были приняты дополнительные меры предосторожности, чтобы в такой степени охватить выбранные температуры. Коэффициент теплового расширения каждого образца из полимербетона рассчитывали с использованием следующего уравнения (8), полученного в соответствии с физическим принципом теплового расширения следующим образом [4]:

$$\Delta L = \alpha_i l_r \Delta T + \alpha_s l_s \Delta T$$

$$\Delta R = \alpha_i l_r \Delta T + \alpha_i l_s \Delta T$$

$$\Delta S = \Delta L - \Delta R$$

$$\alpha_s = \frac{\Delta S}{l_s \Delta T} + \alpha_i$$

где  $\Delta L$  – изменение длины стержня инвара и образца в пределах разницы температур  $\Delta T$ , а  $\Delta R$  – изменение длины эталонного стержня инвара в пределах той же разницы температур  $\Delta T$ .  $\Delta S$  – это разница между  $\Delta L$  и  $\Delta R$ .  $l_r$  – это длина стержня инвара, который расположен поверх образца ПК, а  $l_s$  – длина образца ПК [4].

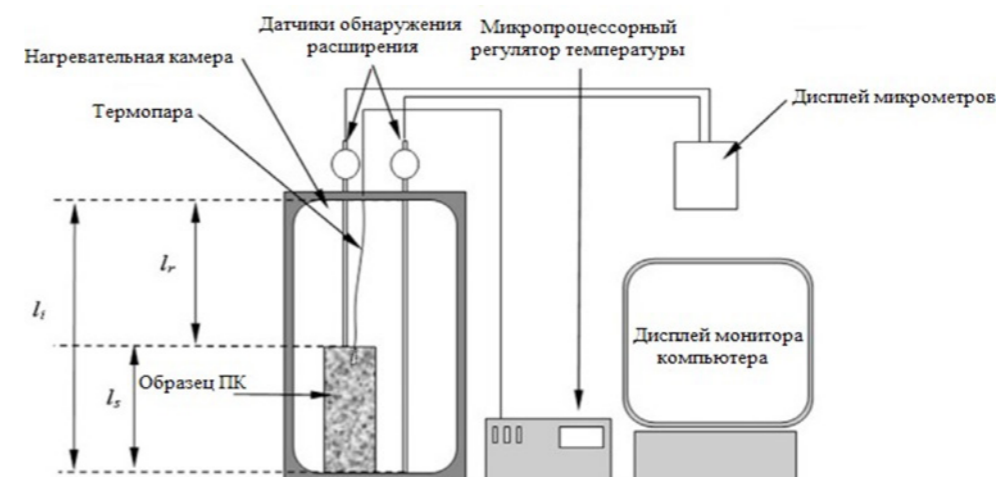


Рисунок 2 – Устройство для определения КТР для образца ПК

Тепловые свойства частиц и пропорции заполнителя влияют на общий коэффициент теплового расширения полимербетона [5]. На рисунке 3 показан поврежденный образец ПК, полученный через межфазное адгезионное соединение между частицами наполнителя.

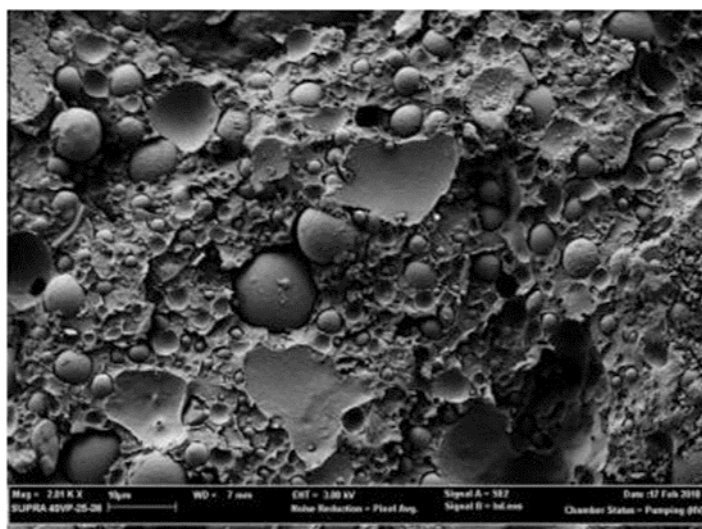


Рисунок 3 – Поврежденный образец ПК через межфазное соединение

Первым предложенным оптимальным составом для нанесения на основание прецизионного станка является базальт, сподумен и летучая зола, как показано в таблице 3 [5].

Таблица 1 – Влияние различного состава наполнителей на КТР и прочность на изгиб

Состав	$\sigma$ , МПа	Отклонение, мм	КТР, $1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$
Бальзат, сподумен, летучая зола	23.15	1.5	9.5
Бальзат, песок, летучая зола	22.1	1.06	15.1
Бальзат, сподумен, мел	20.9	1.01	9.8
Бальзат, песок, мел	19.95	1.005	15.9
Гравий, песок, летучая зола	19.05	0.95	14.8
Гравий, сподумен, мел	18.36	0.91	12.5
Гравий, сподумен, летучая зола	15.98	1	12.3
Гравий, песок, мел	17.1	0.95	19.2

Прочность на изгиб составила 23.15 МПа. Летучая зола также увеличивает прочность полимербетона на изгиб.

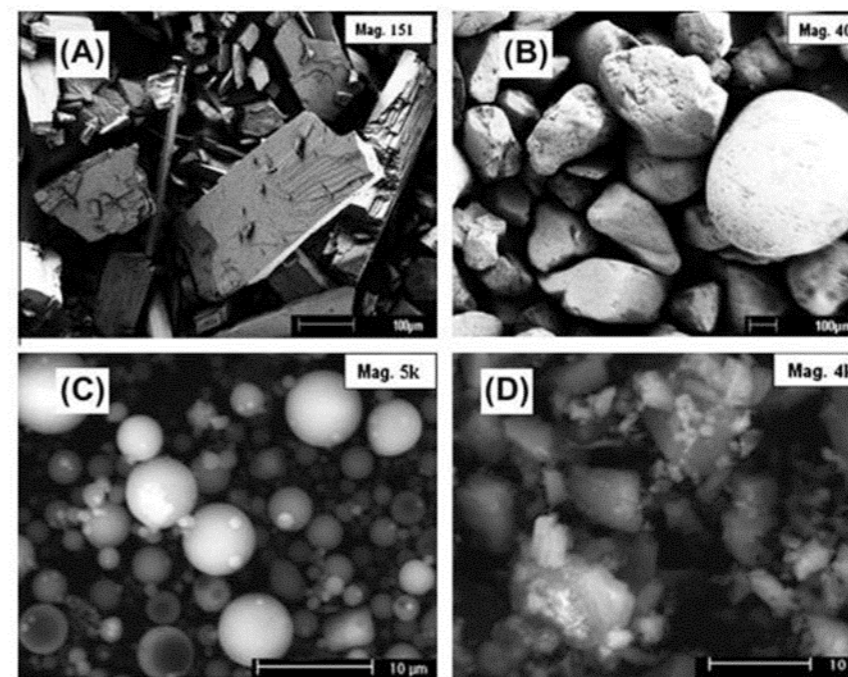


Рисунок 4 – Сподумен (А), Песок (В), Летучая зола (С), Мел (D)

Сподумен, который получают при добыче лития, имеет текстуры, связанные с процессом добычи. На рисунке 4 (А) показаны частицы сподумена. Микроструктура сподумена имеет форму слоев кристаллитов [6]. Эта ситуация позволяет смеси смолы из летучей золы протекать между слоями сподумена. Это условие приводит к более высокой адгезионной связи между связующим и наполнителями [7].

Прочность на изгиб второго состава (базальт, песок и летучая зола) составляет 21,1 МПа. Песок, в отличие от сподумена, имеет меньшую текстурную шероховатость на поверхности, как показано на рисунке 10(В). Кроме того, в микроструктуре частиц песка нет слоев, обеспечивающих дополнительное сцепление, что может быть причиной незначительного снижения прочности при изгибе. Второй состав наполнителя имеет более высокий КТР, примерно на 40 %, чем первый.

Основная причина снижения прочности при изгибе в третьем составе наполнителя (базальт, сподумен и мел) заключается в том, что смесь меловой смолы обеспечивает меньшую текучесть и заполняющую способность, чем смесь смолы из летучей золы. Причина этого заключается в том, что частицы мела имеют неправильную форму и несколько острых углов (шероховатая поверхность), как показано на рисунке 10(Д). Коэффициент теплового расширения в данном случае близок к первому, из-за наличия в составе наполнителя сподумена [7].

Четвертый состав наполнителя (базальт, песок и мел) имеет низкую прочность на изгиб и высокий КТР. Замена базальта речным гравием в пятом составе привела



к снижению прочности на изгиб, поскольку измельченный базальт увеличил прочность бетона на изгиб [8]. Речной гравий увеличил КТР пятого состава.

На рисунке 5 показано влияние уменьшения объемной доли смолы на коэффициент теплового расширения полимербетона. Уменьшение объемной доли смолы приводит к уменьшению КТР, поскольку смола имеет самый высокий КТР ( $80 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) в компонентах ПК. На рисунке 6 показано, что уменьшение количества смолы на 3 % привело к снижению прочности при изгибе примерно на 40 %. Так как количество смолы, которая выполняла межфазную адгезионную связь между частицами, уменьшалось [9].

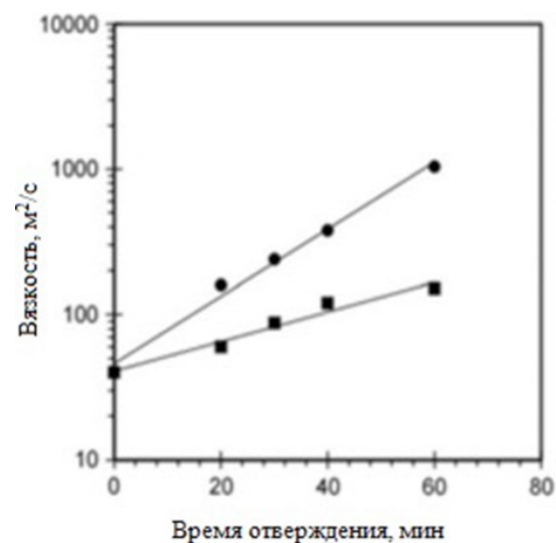


Рисунок 5 – Вязкость смеси летучей золы (нижняя), мела (верхняя) в зависимости от времени отверждения

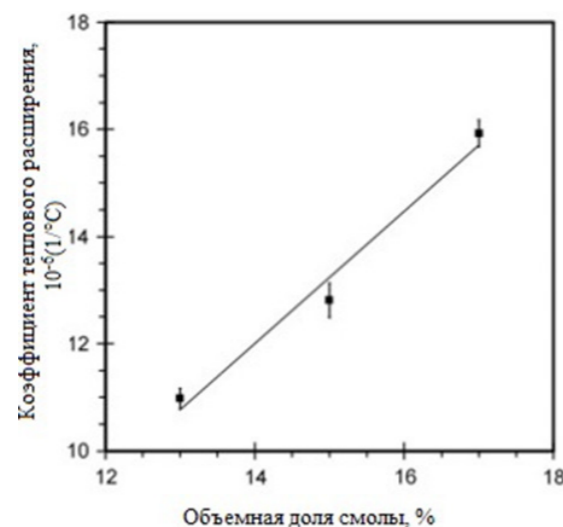


Рисунок 6 – Коэффициент теплового расширения полимербетона в зависимости от количества смолы

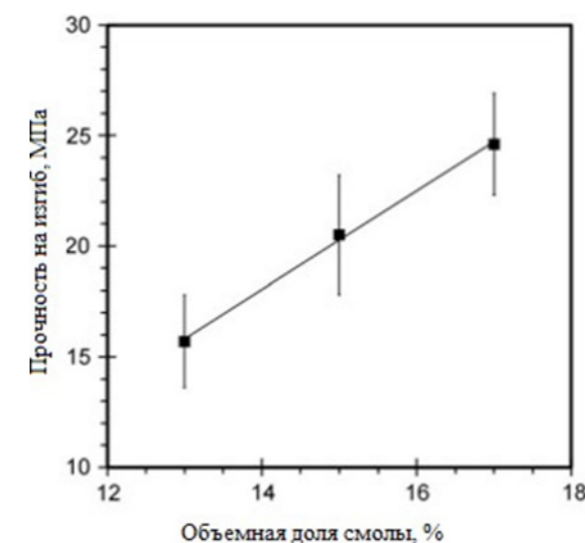


Рисунок 7 – Прочность полимербетона на изгиб в зависимости от количества смолы

Чтобы получить реалистичное визуализированное представление о составах наполнителя и отражении объемной доли смолы на основании, был проведен анализ методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного обеспечения CAE ANSYS 12.1 для выявления влияния свойств на функциональные характеристики основания. На рисунке 8 показана температура во времени для охлаждающей жидкости на входе, охлаждающей жидкости на выходе и температуры окружающей среды в рабочих условиях [10].

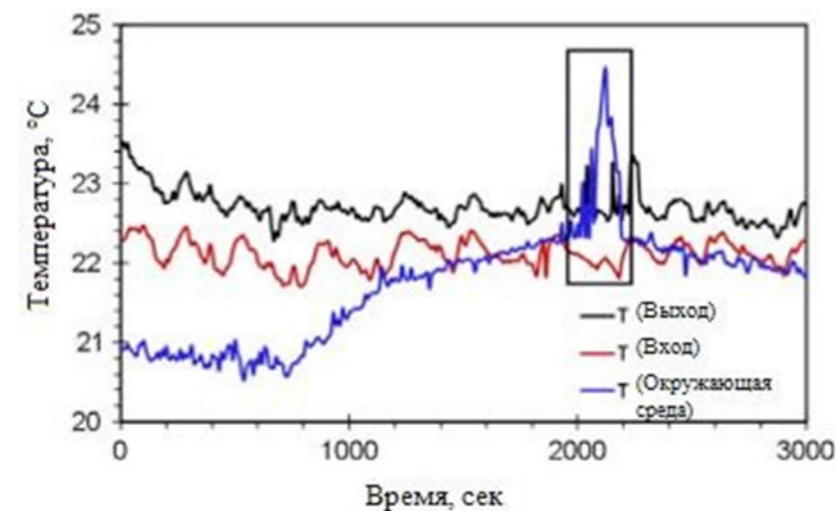


Рисунок 8 – Зависимость температуры от времени для шлифовального станка с ЧПУ

Область в рамке на рисунке 8 была выбрана в качестве граничных условий для температуры окружающей среды, температуры охлаждающей жидкости на

входе и температуры охлаждающей жидкости на выходе, которые должны были применяться при пике в моделировании.

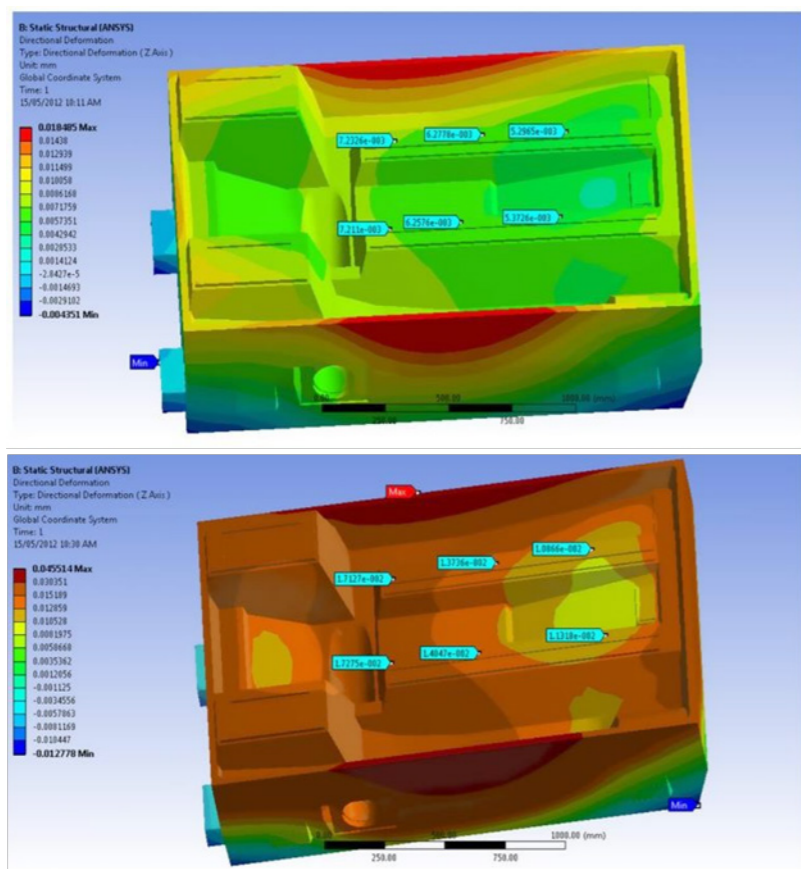


Рисунок 9 – Структурная деформация основания для:  
А) Бальзат, сподумен, летучая зола; В) Бальзат, песок, летучая зола

На рисунке 9 (А) изображена структурная деформация основания для состава: базальт, сподумен, летучая зола.

Таблица 2 – Влияние состава полимербетона и количества смолы на прогиб основания станка

Состав	Объемная доля смолы, %	Максимальный прогиб основания, мкм	Изменение деформации, мкм	Изменение деформации между 2 сторонами, мкм
Бальзат, сподумен, летучая зола	17	25	2	0.1–0.5
Гравий, песок, мел	18	46.2	3–5	1–3
Бальзат, песок, летучая зола	16	29	0.39–1.58	0.18–0.38
Бальзат, песок, летучая зола	14	15.1	0.15–0.33	0.01–0.055

Наиболее эффективной частью основания являются направляющие, которые удерживают движущиеся компоненты и управляют рабочей функцией в основании шлифовального станка с ЧПУ. Максимальная деформация составляет 25 мкм на основании, сосредоточенная на неэффективной, небольшой части основания, которая составляет примерно 2 % от основания.

Последний состав наполнителя (бальзат, песок, летучая зола) имеет почти в 2 раза большее тепловое расширение, чем первый состав (бальзат, сподумен, летучая зола). На рисунке 9 (В) показана направленная деформация на основании. Максимальная деформация составляет 46,2 мкм и 75 % верхней половины основания, которая была деформирована ближе всего к максимальной. Таблица 2 иллюстрирует все показатели в одной области для четкого сравнения.

На рисунке 10 показан состав полимербетона. Волокна и микронаполнители смешиваются с армирующими частицами для улучшения свойств. Свойства, требуемые для конструкций станков, такие как высокая жесткость, прочность на сжатие, коэффициент демпфирования и хорошие тепловые свойства, зависят от следующих элементов [9]:

- Армирование частицами
- Полимерная смола
- Армирование волокнами, наполнители и добавки

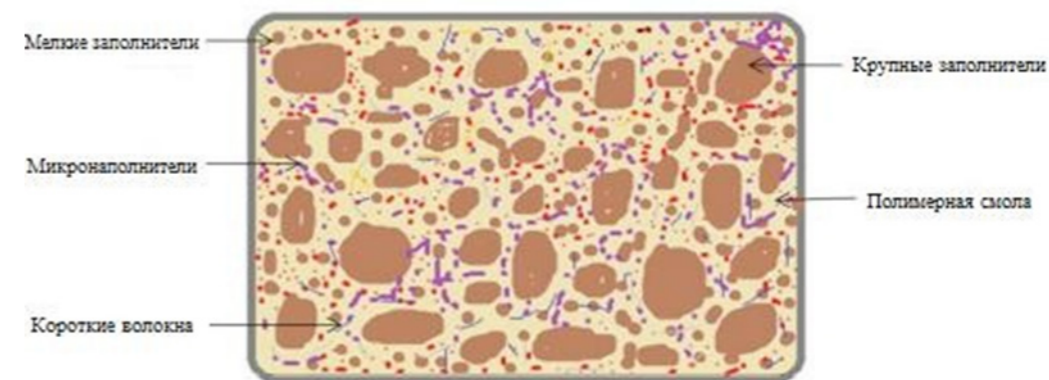


Рисунок 10 – Модель из полимербетона

### Результаты и обсуждение

Свойства полимербетона зависят от размера зерен и плотности дисперсной арматуры [4]. Самая высокая плотность достигается за счет смешивания соответствующей массовой доли твердых и мелких частиц. Массовая доля определяется диапазоном размеров или сортировкой, выбранной для армирующих частиц. Было обнаружено, что градация размера частиц определяет результирующие свойства полимербетона, легкость обработки, обработку и характеристики отделки поверхности полимербетона [9]. Механические свойства, такие как модуль упругости, прочность на сжатие и т.д., определяются плотностью. Увеличение плотности и, следовательно, уменьшение содержания пустот увеличивает модуль упругости, прочность на сжатие за счет контактного

механизма [4]. Однако зависимость коэффициента демпфирования отличается от зависимости прочности на сжатие и модуля упругости, которые встречаются в обычных материалах. Коэффициент демпфирования является самым высоким при минимальном модуле упругости и прочности на сжатие [10].

В большинстве исследований диапазон размеров частиц, используемых для армирования, составлял до 23 мм. В таблице 3 обобщены результаты исследований, проведенных в отношении размера частиц и влияния на свойства. Это указывает на то, что пустоты играют важную роль в механизме гашения вибрации.

Таблица 3 – Влияние размера частиц на механические свойства

Авторы	Диапазон размеров частиц	Классификация	Различия в свойствах
Hyun Suk Kim et al.[4]	0-25.4 мм	Менее 3,36 мм - песок, более 3,36 мм – галька	Содержание гальки варьировалось от 0 до 50%, сохраняя общую массовую долю армирования в виде частиц постоянной. С добавлением 50% гальки прочность на сжатие и модуль упругости увеличились в 2,5 и 1,6 раза соответственно.
Wenfeng Bai al.[10]	0-10 мм	-	Коэффициент демпфирования уменьшился на 45%, поскольку крупноразмерные частицы были смешаны с мелкими частицами
Subrahmanya Swamy et al. [5]	0-10 мм	Более 4,75 мм – крупный заполнитель, менее 4,75 мм – мелкий заполнитель	Прочность на сжатие и модуль упругости увеличиваются на 9% и 20% по мере увеличения массовой доли крупноразмерных частиц с 0 до 50%

Благодаря превосходному коэффициенту демпфирования, высокой адгезии и быстрому отверждению полимербетон используется в производстве оснований для широкого спектра прецизионных станков. Существует множество исследовательских работ, связанных с применением полимербетона на прецизионных станках с различными типами армирующих частиц. Твердость частиц влияет на демпфирующие и другие механические свойства полимербетона [3].

Массовая доля смолы, используемой в качестве связующего в полимербетоне, оказывает существенное влияние на его механические и динамические свойства. Варьирование смолы было ограничено до максимальной массовой доли 20 %. При содержании смолы в полимербетоне до 10 % – модуль упругости увеличивается, прочности на сжатие и коэффициент демпфирования с количеством смолы [4]. Однако скорость увеличения становилась ниже по мере того, как массовая доля смолы приближалась к 10 %. Увеличение коэффициента демпфирования замедлилось с 10–12 % массовой доли смолы, увеличилось с 12–14 %, снова уменьшилось между 14–16 %. Однако увеличение коэффициента демпфирования

было линейным с массовой долей смолы до 14%, как сообщил Subramanya Swamy и др. [5].

Было обнаружено, что армирование волокнами улучшает механические свойства полимербетона. Для улучшения требуемых свойств использовались стальные волокна, стекловолокна, нейлоновые и полипропиленовые волокна. Автором W. Bai изучено влияние коротких стекловолокон (длиной 5–25 мм) с массовой долей до 5 % на коэффициент демпфирования полимербетона для применения в станкостроении. Автор сообщил об увеличении коэффициента демпфирования с увеличением массовой доли и длины волокна. По мере увеличения длины стекловолокна коэффициент демпфирования сначала увеличивался, а затем уменьшался [10]. Максимальный коэффициент демпфирования был получен, когда длина стекловолокна составляла 20 мм.

Есть много других исследователей, которые армировали различные типы волокон для улучшения механических свойств полимербетона. Из исследования автора Broniewski сообщалось о 40 % увеличении прочности при изгибе с добавлением 35 % стальных волокон в полимербетон, армированный песчаными заполнителями и связующим из эпоксидной смолы. Несколько авторов добавили нейлоновые, стеклянные, арамидные и стальные волокна длиной от 12,7 до 38,1 мм и обнаружили значительное увеличение прочности при сжатии и изгибе.

Нанесение покрытия вокруг частиц и других наполнителей, таких как стекловолокно, улучшает адгезию между полимерной смолой и наполнителями, и, следовательно, механические свойства. Установлено, что прочность на сжатие и прочность на изгиб полимербетона с силановым покрытием на 15–20 % выше, чем у немодифицированного полимербетона.

Общий способ изготовления полимербетонного слоя начинается со смешивания полимерной смолы с частицами требуемой массовой доли с микронаполнителями и короткими волокнами. Смесь выливается в форму требуемой формы. Чтобы удалить воздушные пустоты и обеспечить лучшее уплотнение и равномерное смешивание частиц со смолой, необходим вибростол с определенной частотой. Отвержденный слой полимербетона удаляют и выполняют отделочные операции, как показано на рисунке 11.

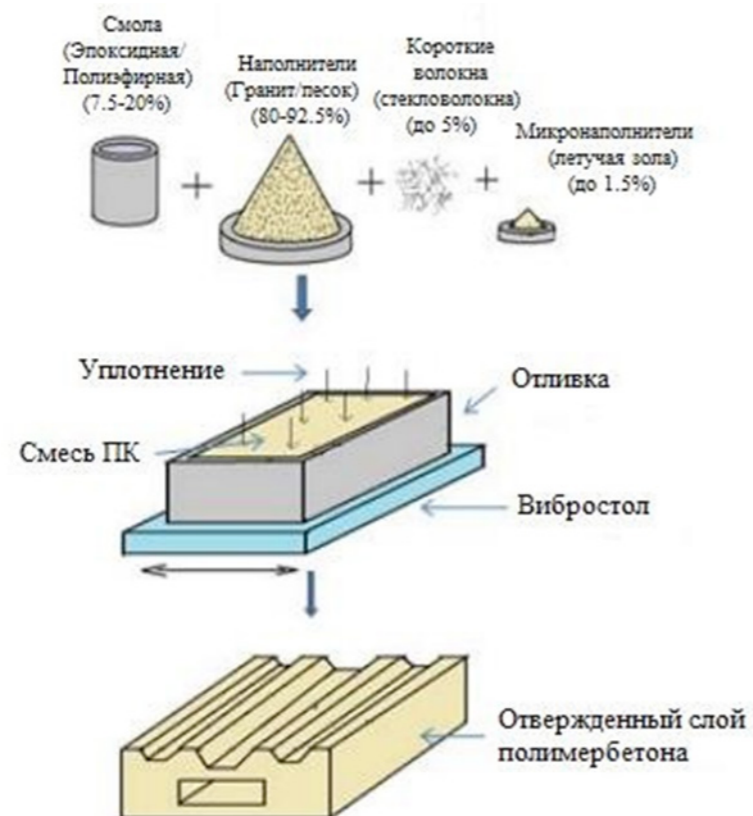


Рисунок 11 – Этапы изготовления станины станка из полимербетона

Поскольку полимербетон обладает низкой жесткостью по сравнению с чугуном и сталью, но обладает превосходным гашением вибрации, он использовался в конструкциях станков различными способами. Немногие авторы заменили всю станину станка полимербетоном, увеличив объем, чтобы сохранить ту же жесткость, в то время как немногие другие использовали ее в качестве гибридной конструкции наряду с традиционными материалами высокой жесткости, такими как сталь и композит из углеродного волокна и эпоксидной смолы, для усиления демпфирования вибрации и уменьшения массы конструкции без увеличения объема. Он также использовался в качестве демпфирующей каретки для линейных направляющих в станках. Сообщается об ограниченной работе по эксплуатационным характеристикам, таким как чистота поверхности и износ инструмента станка с полимербетонными конструкциями. Автором С. Brunі сообщалось об улучшении качества поверхности и снижении износа боковых поверхностей инструмента с помощью полимербетонного слоя. Чистовая токарная обработка, выполненная на станке, оборудованном полимербетонной станиной, обеспечивала значения Ra ниже, чем при тех же операциях, выполненных на токарном центре, оборудованном чугунной станиной.

Таблица 4 – Нанесение полимербетона на конструкции станков разными авторами

Авторы	Массовая доля арматуры (%)	Полимерная смола	Применение в конструкции станка	Улучшение
C. Brunі et al.	92	Эпоксидная смола	Станина токарного центра с ЧПУ	Был уменьшен износ боковой поверхности инструмента и улучшена чистота поверхности обработанной детали
Hyun Suk Kim et al.[4]	92.5	Эпоксидная смола	Сверхточная шлифовальная поверхность с зеркальной отделкой	-
M Weck et al.	-	-	Колонна и станина фрезерного станка	Резонансная частота увеличилась
Jung Do Suh al.	90	Полиэфирная смола	Гибридная стальная станина, сваренная из полимербетона, для высокоскоростного портального фрезерного станка	Демпфирование вибрации улучшено в 10-20 раз

**Выводы**

В ходе проведения исследований была подтверждена целесообразность использования полимербетона с оптимальным составом базальт, песок и летучая зола (87 % наполнителя и 13 % смолы), поскольку данный состав обладает наименьшей деформацией и приемлемой прочностью на изгиб при изготовлении станин металлорежущих станков. Оптимальный состав позволил снизить вариации деформации оснований до достаточно низкого уровня, что способствует дальнейшему повышению точности станков с прецизионным инструментом. Это улучшение условий эксплуатации для прецизионной обработки инструмента ускоряет уровень точности до более высокого пика при получении точных изделий.

Проведенный анализ показал, что с применением полимербетона при проектировании станин МРС произошло повышение частоты свободных колебаний с 3,2 % (на низких частотах) до 12,8 % (на высоких частотах). Статические исследования показали, что произошло усиление всей конструкции за счет использования заполнения свободных пространств полимербетоном.

Применение полимербетона при изготовлении станин МРС позволит улучшить частоту поверхности, снизить скорость износа инструмента и упростить процесс изготовления станин МРС. Также стоит отметить, что использование оптимального состава наполнителя позволит существенно снизить стоимость изделия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Барт, В. Е., Санина, Г. С., Шевчук, С. А.** «Применение полимербетонов в станкостроении», 1985.
- 2 **Барт, В. Е., Санина, Г. С., Шевчук, А. С.** «Применение синтеграна в станкостроении», 1993.
- 3 **Шевчук, С. А. Смайловская, М. С.** «Минерал – полимерный композит – перспективный конструкционный материал для станкостроения», 2014.
- 4 **Кирилин, Ю. В.** «Применение полимербетона для изготовления базовых деталей для тяжелых фрезерных станков», 2008.
- 5 **Cortes F., Castillo G.** «Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron», 2007.
- 6 **McKeown P. A. and Morgan G. H.** «Epoxy granite: a structural material for precision machines», 2020.
- 7 **Paderewski K.** «Use of polymer concretes in machine tool construction», 1984г.
- 8 **Schulz H. and Nicklau R. G.** «Machine tool bases made of polymer concrete», 2018.
- 9 **Vrtanoski G. and Dukovski V.** «Design of polymer concrete main spindle housing for cnc lathe», 2005.
- 10 **Bruni C. et al.** «Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed», 2008.

## REFERENCES

- 1 **Bart, V. E., Sanina, G. S., Shevchuk, S. A.** «Primenenie polimerbetonov v stankostroenii» [The use of polymer concrete in machine tool construction], 1985.
- 2 **Bart, V. E., Sanina, G. S., Shevchuk, A. S.** «Primenenie sintegrana v stankostroenii» [The use of syntegran in machine tool construction], 1985.
- 3 **Shevchuk, S. A. Smajlovskaya, M. S.** «Mineral – polimerny`j kompozit – perspektivny`j konstrukcionny`j material dlya stankostroeniya» [Mineral – polymer composite is a promising structural material for machine tool construction], 2014.
- 4 **Kirilin, Yu. V.** «Primenenie polimerbetona dlya izgotovleniya bazovy`x detalej dlya tyazhely`x frezerny`x stankov» [The use of polymer concrete for the manufacture of basic parts for heavy milling machines], 2008.
- 5 **Cortes, F., Castillo, G..** «Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron», 2007.
- 6 **McKeown, P. A. and Morgan, G. H.** «Epoxy granite: a structural material for precision machines», 2020.
- 7 **Paderewski, K.** «Use of polymer concretes in machine tool construction», 1984.
- 8 **Schulz, H. and Nicklau, R. G.** «Machine tool bases made of polymer concrete», 2018.
- 9 **Vrtanoski, G. and Dukovski, V.** «Design of polymer concrete main spindle housing for cnc lathe», 2005.

10 **Bruni, C et al.** « Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed», 2008.

Принято к изданию 04.11.23.

\***А. С. Берг<sup>1</sup>, А. А. Берг<sup>2</sup>, В. В. Юрченко<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.  
Басып шығаруға 04.11.23 қабылданды.

### ІРІ ҚАРА МАЛДЫҢ ҰЗЫН ТӨСЕКТЕРІНІҢ БЕРІКТІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ПОЛИМЕРБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНА ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

*Бұл мақалада полимербетонның әртүрлі құрамдарын талдау ұсынылған. Ұзын өлшемді металл кесетін станоктарды (ұсақ мал) жобалау үшін қолданылатын полимербетонның артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Алты толтырғыш зерттелді (базальт, сподумен, күл, өзен қиыршық тастары, құм және Бор). Полимербетон үлгілері шайырдың бірдей көлемдік үлесі бар толтырғыштардың әртүрлі құрамдарымен дайындалды (толтырғыштар 83 % және шайыр 17 %). Полимербетон үлгілерінің иілу беріктігін өлшеу үшін төртнүктелі иілу сынағы қолданылды. Полимербетонның КТР арнайы жасалған құрылғының көмегімен өлшенді. Оңтайлы композиция қарастырылды, бұл базальт деформацияның вариациясын жеткілікті төмен деңгейге дейін төмендетуге мүмкіндік берді, бұл дәл құралмен станоктардың дәлдігін одан әрі жақсартуға ықпал етті. Құралды дәл оңдеу үшін жұмыс жағдайларын жақсарту дәл өнімдерді алу кезінде дәлдік деңгейін жоғары шыңға дейін жылдамдатады. Машинаның екі корпусының динамикалық қасиеттерін сандық зерттеу және статикалық беріктік қасиеттерін талдау жүргізілді. Теориялық зерттеулер кезінде екі материалдан тұратын гибриді корпусы талдау үшін ақырлы элементтер әдісі қолданылды. Бұл біршама жеңілдетуді білдіреді, өйткені шойын мен полимербетонның байланыс моделі эксперименттік сәйкестендіруді қажет етеді. Мұндай сәйкестендіру Құрылымдық материалдардың қасиеттерін қамтыды.*

*Кілтті сөздер: полимер материалы, полимербетон, Металл кескіш станок, полимербетон құрамы, иілу беріктігі, жылу кеңею коэффициенті.*

\***A. S. Berg<sup>1</sup>, A. A. Berg<sup>2</sup>, V. V. Yurchenko<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda.  
Accepted for publication on 04.11.23.

### INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE STRENGTH PROPERTIES OF LONG-LENGTH MRC MILLS ON THE COMPOSITION OF POLYMER CONCRETE MIXTURES

*This article presents an analysis of various compositions of polymer concrete. The advantages and disadvantages of polymer concrete used for the design of long-length metal-cutting machines (MPC) are considered. Six aggregates were investigated (basalt, spodumene, fly ash, river gravel, sand and chalk). Polymer concrete samples were prepared with different compositions of aggregates containing the same volume fraction of resin (aggregates 83 % and resin 17 %). A four-point bending test was used to measure the bending strength of polymer concrete samples. The KTR of polymer concrete was measured using a specially manufactured device. The optimal composition was considered, which made it possible to reduce variations in the deformation of the bases to a sufficiently low level, which contributes to further improving the accuracy of machines with precision tools. This improvement in the operating conditions for precision tool processing accelerates the level of accuracy to a higher peak when producing accurate products. Numerical studies of dynamic properties and analysis of static strength properties of two machine bodies were carried out. During theoretical studies, the finite element method was used to analyze a hybrid housing consisting of two materials. This represents some simplification, since the model of contact between cast iron and polymer concrete requires experimental identification. Such identification covered the properties of structural materials.*

*Keywords: polymer material, polymer concrete, metal cutting machine, polymer concrete composition, bending strength, coefficient of thermal expansion/*

SRSTI 55.37.33

<https://doi.org/10.48081/DCZW7901>

**\*Abbas Waheed Dahham<sup>1</sup>, A. Zh. Kasenov<sup>2</sup>, Basem Raheem Kazem<sup>3</sup>, K. K. Abishev<sup>4</sup>, A. S. Yanyushkin<sup>5</sup>**

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

<sup>3</sup>Al-Mustansiriyah University, Republic of Iraq, Baghdad;

<sup>5</sup>Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Russian Federation, Cheboksary

\*e-mail: [abbas.dahham2015@gmail.com](mailto:abbas.dahham2015@gmail.com)

### **MODELING AND JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF WIND TURN BLADES UNDER HIGH WIND SPEED CONDITIONS**

*The one of main problems that need to address study discuss the use renewable energy by justifying the design of the blades to reduce fuel consumption to reduce power by create mechanical power using two or three blade ordinary wind turbine. Each blade length was 0.22 meter and pitch angle of the blade was 2 degrees to reach the maximum power from the wind as shows the simulation depending on Beta limit. Solidwork used to design the turbine and to find its moment of inertia and initial parameters. MATLAB used to simulate the system equations to find turbine power coefficient depending on ideal pitch angle (Beta) and the tip speed ratio (Lambda), also to find required mechanical power to drive different small mechanical devices with power assumed 1400 Watt. As result, the wind turbine gives optimal power required at wind speed is near to 31.5 m /s (113.4 Km/h) and for less wind speed the device could work with less efficiency. Otherwise, high speed produce best efficiency.*

*Keywords: modeling, design, blades, power, wind turbine, renewable energy, efficiency.*

#### **Introduction**

The main reasons for increase the atmosphere heat are greenhouse gases, which produced by humans in various ways. Most of them released due to burning fossil fuels in vehicles' engines, factories and generators. [1]

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is the largest contributor of the warming. While other gases include methane could be come from agriculture, nitrous oxide, gases used for cooling and industrial processes, and deforestation that would otherwise absorb CO<sub>2</sub> [2, 3].

The almost air pollution gases come from the vehicles around the world. Where they produce most of the carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NOx), and particulates in major urban areas.

The automobile emissions of carbon dioxide are the serious global threat by raise global warming and as a result for many studies, the vehicles emissions depend on many factors such as fuel type, road gradient conditions, the vehicle age and maintenance quality, loads on the engine, as well as the vehicle payload [4, 5].

The renewable energy resources are very important due to the negative effects of the fossil and its gases on the atmosphere and the contemporary problem of the global warming, particularly the wind power can account it free, clean and endless.

For a number of years, renewable energy has been viewed as an economical and environmentally friendly substitute for fossil fuels as a source of power. It has recently been demonstrated that, in many places, power plants employing wind and solar photovoltaic (PV) systems may generate energy more affordably than those using fossil fuels. Globally, it is predicted that more than 26 % of renewable energy might be used to generate electricity [6]. This may result in a larger renewable energy capacity than could be achieved by combining nuclear and fossil fuels. The shortcomings of onshore wind turbines, such as wind speed concerns, installation site challenges, and visual issues, have led to the development of floating offshore wind turbines, or FOWTs. The entire worldwide onshore wind turbine capacity was 539,954 MW, while the total global offshore wind turbine capacity was 23,706 MW, according to the 2019 International Renewable Energy Agency (IRENA) Renewable Capacity Statistics and as published in 2018 [7].

Unfortunately, because to the small number of deployments, there is currently little knowledge available about storm-flexible system design. The purpose of the blades rotating on contemporary turbines is to minimise air resistance and/or surface area when wind speeds surpass the expected wind speed. The power that results therefore drops and could even zero [8].

Regardless of the ideal wind conditions that have been considered in the construction of big turbines, small wind turbines are still designed [9].

As a result, low airspeed and tiny turbine size are employed, which results in low energy generation and poor efficiency [10].

Consequently, a good substitute to survive environmental circumstances would be compact turbines made to endure those conditions. They will also be affordable, eco-friendly, and simple to install and maintain. In rural locations and away from city centres, they might be chosen as independent power generating systems (Singh and Gill 2020) [11].

This study shows ability of use small ordinary wind turbine to generate optimal mechanical power Assumed 1400 watt to drive different small mechanical devices at high wind speed.

#### Materials and methods

##### The Turbine Power

It is famous that the general value of power can be define as:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * S * V^3 \quad (1)$$

In 1919, the German scientist Albert Betz found relation between the power obtained from wind ( $P_v$ ) and the power produced in the turbine  $P_{avail}$  where he found that:

$$P_{avail} = P_v * C_p \quad (2)$$

$$C_p = \frac{P_{avail}}{P_v} \quad (3)$$

Therefore, he mentioned that the wind turbine cannot convert more than  $\frac{16}{27}$  (59.3 %) of the wind kinetic energy into necessary mechanical energy required to rotate the rotor. So this ratio called Betz Limit or Betz' Low. The power coefficient (performance coefficient) is conceptualultimate power capacity of any wind turbine modelling is no more than 0.59 and is define as:

$$C_{Pmax} = 0.59 = \frac{P_{avail}}{P_v} = \frac{(1+\frac{V_1}{V_2})(1-(\frac{V_1}{V_2})^2)}{2} \quad (4)$$

The performance coefficient can be account as function of wind speed, so in real use conditions is lower than the Betz Limit with values of 35–45 % if ideal design taken into account. In addition, there are some another factors take place in the calculation of the wind power that truly converted to the electric current. Some have negative effects as frictionlike the bearings; gearbox and generator, so only 0.1–0.30 of the wind power are indeed converted.

Therefore, the power coefficient will take place into account these factors and the power from the wind was given by:

$$P_{avail} = \frac{1}{2} * C_p * \rho * S * V^3 \quad (5)$$

For more accuracy, it found that the performance coefficient is function of several factors like ratio between the wind speed and tip speed of blade in addition to number of blades and blade angle Beta. Actually, the  $C_p$  value depends on value Beta and Lambda, Where Beta $\beta$  is the pitch angle of the blade in degrees, and Lambda  $\lambda$  is the tip speed ratio of the turbine.

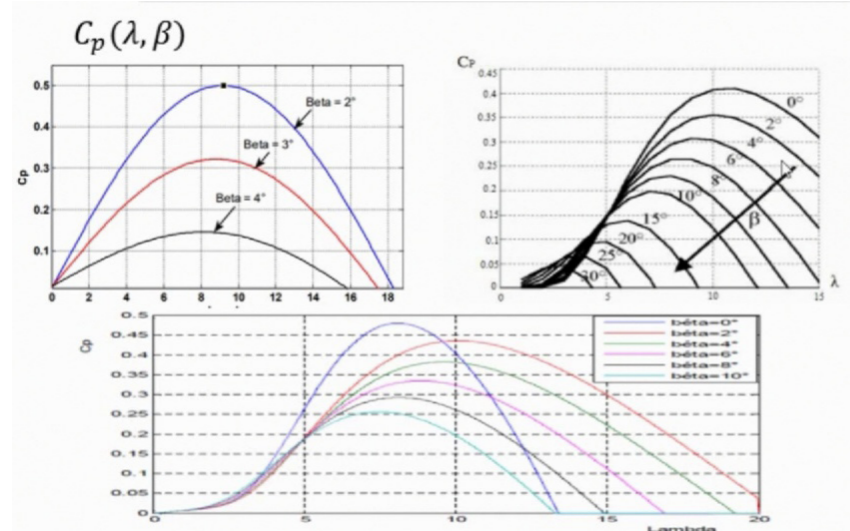


Figure 1 – Cp value depends on value Beta and Lambda

To get maximum power from wind it recommended to design optimal tip speed ratio of wind turbine there are many forms to find the value of, below is the equation that used in this study

$$C_p(\lambda, \beta) = A_1 \left[ \left( A_2 \frac{1}{\lambda_i} \right) - A_3 \beta - A_4 \right] e^{A_5 \frac{1}{\lambda_i}} + A_6 \lambda; \quad (6)$$

$$A_1 = 0.5; A_2 = 116; A_3 = 0.4; A_4 = 5; A_5 = -21; A_6 = 0.0068; \quad (7)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3}$$

Build the turbine essential equations in the Matlab program to calculate the power generated, the value of founded experimentally for many researches using the following equation:

$$\lambda = \frac{\omega_r \cdot R t}{V} \quad (8)$$

$\omega_r$  = blades angular velocity (radian/ sec).

To find the turbine power used the formula

$$P_t = \frac{1}{2} C_p \rho S V^3 \quad (9)$$

The initial parameters of the 2- blade Wind turbine:

To calculate the essential parameters of the ordinary wind turbine used the mass properties in Solidwork packet, where the model made of Aluminum. The diameter of the ordinary wind turbine is 0.5 meter designed to be suitable for the passenger vehicles and can fix in front of the grill, length of the blade is 0.22 meter.

The backside area designed wider than the front area to insure create a pressure difference between front side and backside of the fin where the wind velocity will

increase causes low pressure in the backside, which allow wind to push the fin around the rotation axis.

Initial parameters of wind turbine shown below

Mass  $m = 777.86$  grams (0.77787 kg); area  $S = 64169.80$  mm<sup>2</sup> (0.06417 m<sup>2</sup>); volume  $V = 287035.05$  mm<sup>3</sup> (0.000287 m<sup>3</sup>); material density = 2710 kg/m<sup>3</sup>; moment of inertia along the movement axis  $I = 67002280.01$  g.mm<sup>2</sup> (0.06700228 Kg.m<sup>2</sup>)

Assumptions to modelling the turbine:

There are some assumption to start modelling the turbine in ideal conditions

Consider the blades are similar and homogenous have the same moment of inertia and same parameters

Friction coefficient for the air is zero

Air speed is homogenous when hit the turbine blades area

### Results and Discussion

The power consumption by the A/C compressor is 1.46 kW (2H), compressor speed is about 1000 rpm, so the torque required = 5252\*hp/ 1000 = 14 Nm and to drive it the ICE required more fuel consumption that means more exhausted gases and more expenses. Therefore, there is a need to create a system based on clean and endless energy. Wind energy is a promising energy and it can mitigate the effects of global warming if the studies presented are properly used. Model of a 2-blade wind turbine Cp represented in Matlab as shown in the figure 3, as results the maximum value of depends on two variables Lambda and beta as in figure 3.

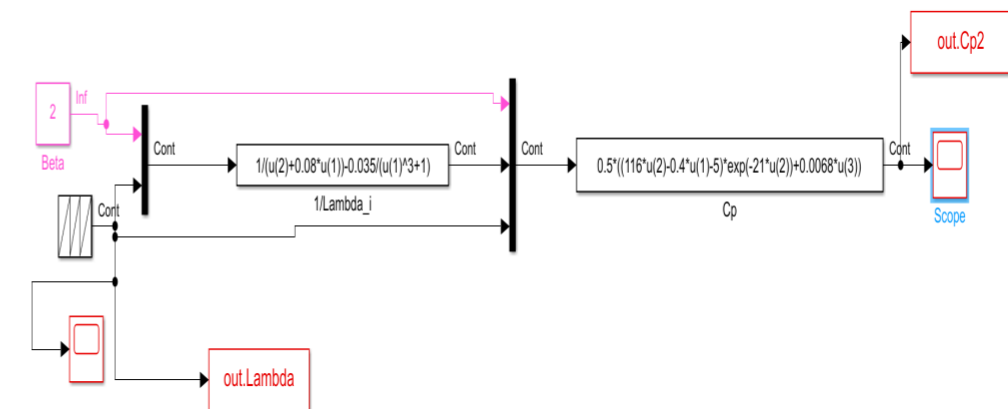


Figure 2 – Turbine equations simulated in MATLAB program

The figure shows the simulation of equation in Matlab program to fine numerically the values of power coefficient when beta varies 2, 4, 6, 8, 10 and 12 degrees when lambda is between 0 and 20



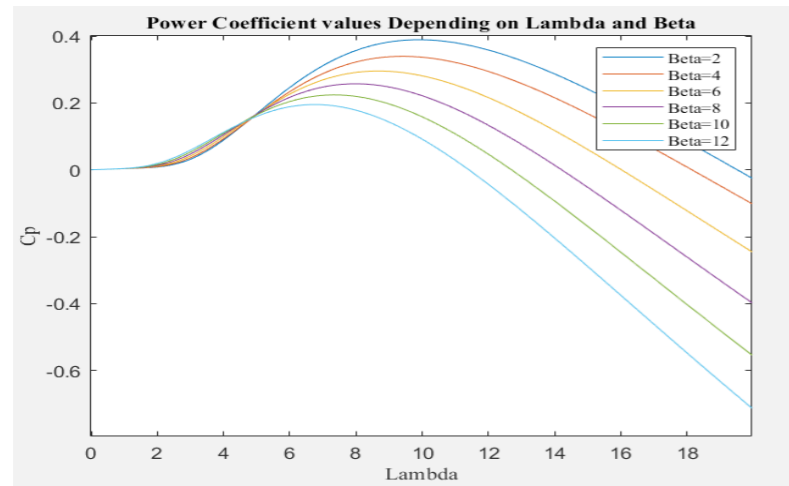


Figure 3 – Values of depending on Lambda and Beta

The figure illustrates that the maximum power can obtain from the wind is when the angle of blade Beta is two when lambda is 10, this power inversely proportional to Beta, therefore this value was selected in this study. Because of that, the study relies on high wind speed according to the vehicle speed.

If the rotor of the wind turbine spins too slowly, most of the wind will pass straight through the gap between the blades, therefore giving it no power. However, if the rotor spins too fast, the blades will be cannot seen and look like a solid wall to the wind. In addition, blades at very high speed can create turbulence as they spin through the air. If the next blade arrives too fast, it actually will hit that turbulent air. So sometimes, it is better to slow down the blades.

Taking into consideration lambda optimal is 10 to get the maximum power and represent the values in Matlab simulation.

The maximum power obtained when the air velocity was 30 m/s (108 Km/h) for first 15 sec was more than 1250 watt then raised to approximately 3000 watt when the wind speed was 40 m/s (144 Km/h)

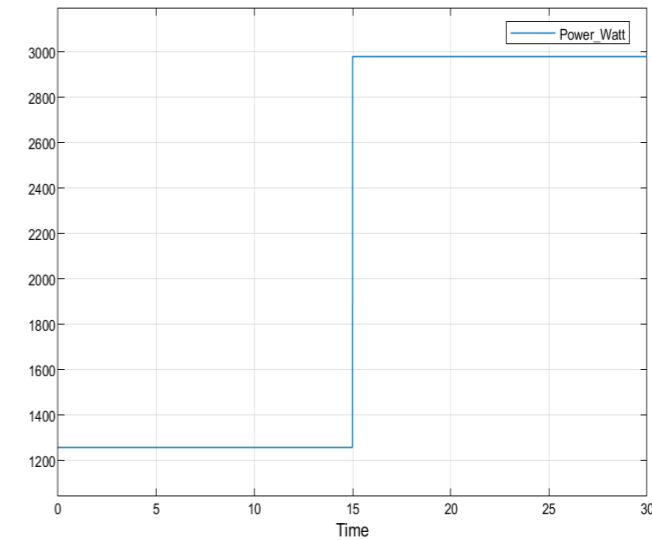


Figure 4 – The range of accepted power related to wind speed

When the wind speed is near to 31.5 m /s (113.4 Km/h), the optimal mechanical power required to drive the compressor could be obtained as shown below

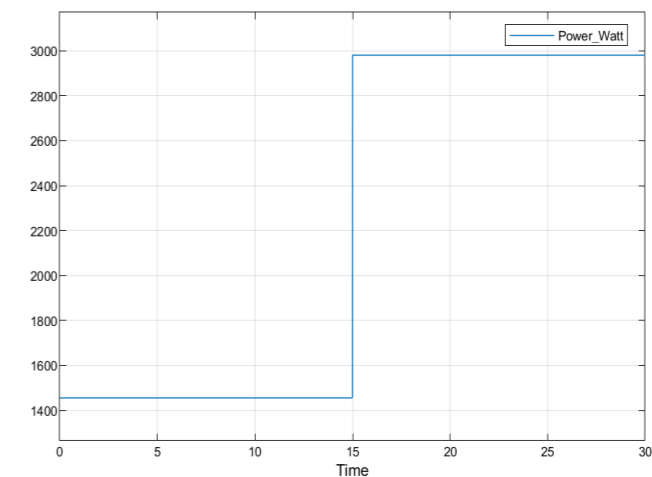


Figure 5 – Optimal power related to wind speed

**Conclusion**

Designing ordinary wind turbine with small shape and high performance to generate mechanical power for small mechanical devices is possible at wind speed condition. The study showed that optimal power for the small mechanical device could be obtained from small diameter, 2 – blade wind turbine. The wind turbine gives optimal power required at wind speed is near to 31.5 m /s (113.4 Km/h) and for less wind speed the device could work with less efficiency. However, more efficiency at higher wind speed may obtain.

## REFERENCES

- 1 **Yevtushenko, T. L., Kassenov, A. Z., Mussina, Z. K., Yanyushkin, A. S., Abishev, K. K.** Peakless Rotary Cutter Design for Finish Turning // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2023. – P. 915–924. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125>.
- 2 American National Park Service. From. [Electronic resource]. – <https://www.ekoenergy.org/ru>.
- 3 **Kasenov, A. Z., Abishev, K. K., Mazdubay, A. V., Taskarina, A. Z.** Broach for Cylindrical Holes and Slots // Russian Engineering Research. – 2022. – P. 698–700. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.3103>.
- 4 **Sundar, S.** Effect of automobiles on global warming : A modeling study. Computational Ecology and Software. – 2017. – 100 p.
- 5 **Abishev, K. K., Kasenov, A. Zh., Baltabekova, A. N.** Measuring Devices of Non-Invasive Form for the Study of the Psychophysiological State of the Driver of Motor Vehicles // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. – 2022. – P. 152–157. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.17587>.
- 6 **Sagar, G., Pathak, D., Gaur, P., & Jain, V.** A Su Do Ku puzzle based shade dispersion for maximum power enhancement of partially shaded hybrid bridge-link-total-cross-tied PV array. // Solar Energy. – 2004. – P. 161–180.
- 7 **Wisatesajja, W., Roynarin, W.** Analysis of Influence of Tilt Angle on Variable-Speed Fixed-Pitch Floating Offshore Wind Turbines for Optimizing Power Coefficient Using Experimental and CFD Models. // International Journal of Renewable Energy Development. – 2021. – 245 p.
- 8 **Song, D.; Fan, X.; Yang, J.; Liu, A.; Chen, S.; Joo, Y. H.** Power extraction efficiency optimization of horizontal-axis wind turbines through optimizing control parameters of yaw control systems using an intelligent method. // Appl. Energy. – 2018. – P. 267–279.
- 9 **Karthikeyan, N.; Murugavel, K.K.; Kumar, S.A.; Rajakumar, S.** Review of aerodynamic developments on small horizontal axis wind turbine blade. // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2015. – P. 801–822.
- 10 **Singh, R.K.; Ahmed, M.R.** Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications. // Renew. Energy. – 2013. – P. 812–819.
- 11 **Singh B and Gill HS.** Wind turbine blade design for low rotational inertia materials at variable speeds with different twisting angle Using Q-Blade. // Mater. Today. – 2020. – P. 1666–1670.

Accepted for publication 07.12.23.

\***Аббас Вахид Дахам<sup>1</sup>, А. Ж. Қасенов<sup>2</sup>, Басем Рахим Казем<sup>3</sup>, Қ. Қ. Әбішев<sup>4</sup>, А. С. Янюшкин<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Торайғыров атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>3</sup>Эл-Мустансирия университеті, Ирак Республикасы, Бағдад қ;

<sup>5</sup>Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті,

Ресей Федерациясы, Чебоксары қ.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

### ЖЕЛДІҢ ЖОҒАРЫ ЖЫЛДАМДЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖЕЛДІК БҰРУ ПАЛАҚТАРЫНЫҢ ЖОБАСЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ НЕГІЗДЕУ

*Бұл мақалада екі немесе үш қалақшасы бар кәдімгі жел турбинасы арқылы механикалық қуат қалақтардың дизайнын негіздеу арқылы өндіру арқылы отын шығынын азайту және қуатты азайту үшін жаңартылатын энергияны пайдалануды талқылайтын зерттеу сипатталған. Бета шегіне байланысты модельдеу арқылы көрсетілгендей, желдің максималды қуатына жету үшін әр жүздің ұзындығы 0,22 метр, ал қалақ бұрышы 2 градус. Турбинаны жобалау және оның инерция моментін және бастапқы параметрлерін анықтау үшін Solidwork бағдарламасы пайдаланылды.*

*Matlab бағдарламасын пайдалану жүйелік теңдеулерді модельдеуге, турбинаның қуат коэффициентін идеал қадам бұрышына (бета) және ұшы қатынасына (лямбда), әртүрлі шағын механикалық құрылғыларды басқаруға арналған механикалық қуаттың функциясы ретінде анықтауға арналған. қуаты 1400 Ватт. Жел турбинасында алынған нәтижелер сипатталған, ол шамамен 31,5 м/с (113,4 км/сағ) жел жылдамдығында қажетті оңтайлы қуатты өндіреді, ал желдің төмен жылдамдығында құрылғы төмен тиімділікпен жұмыс істей алады. Әйтпесе, жоғары жылдамдық максималды тиімділікті қамтамасыз етеді.*

*Кілтті сөздер: модельдеу, жобалау, қалақшалар, қуат, жел турбинасы, жаңартылатын энергия, тиімділік.*

\***Аббас Вахид Дахам<sup>1</sup>, А. Ж. Қасенов<sup>2</sup>, Басем Рахим Казем<sup>3</sup>, Қ. Қ. Әбішев<sup>4</sup>, А. С. Янюшкин<sup>5</sup>**

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

<sup>3</sup>Университет Аль-Мустансирия, Республика Ирак, г. Багдад;

<sup>5</sup>Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,

Российская Федерация, г. Чебоксары.

Принято к изданию 07.12.23.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОУСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

*В данной статье описывается исследование, посвященное обсуждению использования возобновляемых источников энергии для снижения расхода топлива и снижения мощности путем создания механической энергии*

путём обоснования конструкции лопастей ветряной турбины с двумя или тремя лопастями – длина каждой лопасти составляет 0,22 метра, а угол наклона лопасти составляет 2 градуса для достижения максимальной мощности ветра, как показывает моделирование в зависимости от предела Бета. Программа Solidwork использовалась для проектирования турбины и определения ее момента инерции и начальных параметров. Использование программы Matlab предназначалось для моделирования системных уравнений, определения коэффициента мощности турбины в зависимости от идеального угла наклона (бета) и передаточного отношения законцовки (лямбда), механической мощности для привода различных небольших механических устройств, с предполагаемой мощностью 1400 Ватт. Описываются полученные результаты ветряной турбины, которая дает оптимальную мощность, необходимую при скорости ветра около 31,5 м/с (113,4 км/ч), а при меньшей скорости ветра устройство может работать с меньшей эффективностью. В противном случае высокая скорость обеспечивает максимальную эффективность.

Ключевые слова: моделирование, конструкция, лопасти, мощность, ветряная турбина, возобновляемая энергия, КПД.

ZRWTI 55.19.03

<https://doi.org/10.48081/APMX5155>

\*S. A. Ibragimova<sup>1</sup>, D. A. Abzalova<sup>2</sup>, A. A. Dosmakanbetova<sup>3</sup>,  
N. N. Rachymtai<sup>4</sup>, S. N. Kurbanbajewa<sup>5</sup>

M. Auezov Südkasachische Universität, Republik Kasachstan, Shymkent

\*e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

### BEARBEITUNG VON ROTIERENDEN OBJEKTEN DURCH SCHNEIDEN MIT COMPUTERSIMULATION

*Die mechanische Bearbeitung von Metallen in Form eines Zylinders wird von wesentlichen thermodynamischen Prozessen begleitet. Die Wärmequelle beim Schneiden von Metallen ist die Arbeit, die für Verformungen in der Schnittschicht und in den Schichten neben der bearbeiteten Oberfläche und der Schnittfläche und für die Überwindung der Reibung an der Vorder- und Rückseite des Schneiders aufgewendet wird.*

*Die Prozessmodellierung kann einen großen Beitrag leisten und den Innovationsprozess beschleunigen und die Entwicklungszeit der Zyklen verkürzen, indem sie notwendige Experimente unterstützt, da sie im Vergleich zu experimentellen Studien weniger kostenintensiv, weniger gefährlich und weniger Vorbereitungszeit benötigen. Dabei werden die simulierten Schneidprozesse durch viele verschiedene Phänomene reguliert, beispielsweise die Mechanismen der Streu- und Trennenergie von Materialien, die gleichzeitig die Qualität der betreffenden Bearbeitungssysteme beeinflussen.*

*SPH ist wirklich keine Mesh-Methode, da es kein Hintergrundraster benötigt. In SPH wird der Rechenbereich mit Lagrange-Teilchen abgespeichert, die variable Felder tragen und sich mit dem Material bewegen. Die zelllose und lagrangeartige Natur von SPH macht es ideal für die mathematische Modellierung der Metallverarbeitung. Die Arbeiten zeigen, dass Scherbänder und Spannbildung natürlich ohne spezielle Behandlung, wie z. B. Knoten-Anreicherung oder Neuplanung, eingefangen werden. Die SPH-basierte Simulation in LS-DYNA wird durchgeführt, um Schnittkräfte, plastische Verformungen und die Schnittebene mit großer Präzision vorherzusagen.*

*Schlüsselwörter: Simulationsmodellierung, Schneiden, Verschleiß, Temperatur, Spannung.*

#### Einleitung

Die erste Untersuchung des grundlegenden Bearbeitungsprozesses für das orthogonale Schneiden mit der SPH-Methode wurde von J. Limido et al. im Jahr 2007. Aufgrund erheblicher Unterschiede zwischen ihrem Aufbau und dem realen Szenario, wie z. B. Variationen der räumlichen Auflösung, geometrische Bruchmodelle, empirische Bruchmodelle und SchnittDiskretisierungsmethoden auf der Grundlage von Partikeln und Dreiecken, wird in dieser Studie jedoch kein direkter Vergleich zwischen diesen beiden Modellen vorgestellt.

Wenn die Breite des Fräasers die Schnitttiefe stark überschreitet, stellt sich im Werkstück ein zweidimensionaler Spannungszustand ein, was zu einem ebenen Problem führt [1]. Dies ermöglicht die Anwendung eines 2D-Modells, das mit einem anorthogonalen Ausschnittmuster ausgepackt werden kann.

Orthogonale und schräge Zerspanungsprozesse beinhalten die relative Längsverschiebung des Schneidwerkzeugs und des Werkstücks. Solche Techniken werden üblicherweise bei der Oberflächenreinigung von harten Legierungen verwendet, wobei das Hauptanliegen die Sauberkeit der bearbeiteten Werkstückoberflächen ist, insbesondere bei Bohrvorgängen.

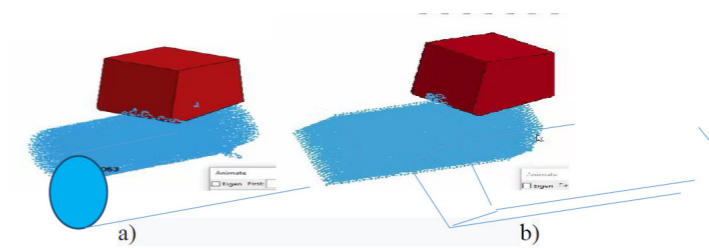
Ebenso bedeutsam, aber mit potenziellen breiteren Anwendungen, ist die mechanische Bearbeitung von rotierenden Körpern um eine zentrale Achse. In beiden festen Fällen entstehen beim Auftreffen des Werkzeugs auf das Werkstück instationäre Spannungsfeldverteilungen aufgrund von Wellenphänomenen. Die erhaltenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass im ersten Fall der Werkzeugfixierung im Moment der Fixierung Längsdruckspannungen in den geformten Spänen auftreten, gefolgt von einem allmählichen Abbau. Im zweiten Fixierungsfall werden Längsdruckspannungen an den Extrempunkten der Späne beobachtet, während Längszugspannungen in der Mitte der Späne auftreten [2].

#### Materialien und methoden

Hier verwenden wir die netzfreie SPH-Methodik (SmoothedParticleHydrodynamics), um die Simulation und Analyse eines 3D-Hartbearbeitungsprozesses darzustellen. Das auf Lagrangian SPH basierende Modell wird mit dem Ls-Dyna-Programm durchgeführt. Klassische Lagrange-, Euler- und ALE-Methoden wie Finite-Elemente-Methoden (FEM) können große Verzerrungen nicht sehr gut auflösen. Die bedingte Finite-Elemente-Analyse von Metallschneidprozessen scheitert häufig an einer starken Netzverformung [3].

Jüngste Entwicklungen sogenannter netzloser Methoden bieten eine Alternative zu herkömmlichen numerischen Methoden zur Modellierung von Bearbeitungsprozessen. SPH ist ein netzloser Ansatz, sodass endliche Verformungsprobleme leicht beseitigt werden können und die SPH-Kontaktsteuerung eine «interne» Span-Teiletrennung ermöglicht. Denn SPH vereint die Vorteile netzloser Lagrange-Partikel-Methoden. Der orthogonale Schneidprozess von AISI H13 l-Stahl wurde mit der SPH-Methode simuliert und analysiert. Das entwickelte SPH-Modell erlangte die Fähigkeit, die Schnittkräfte korrekt abzuschätzen, wie in zwei orthogonalen Schnittsituationen gezeigt (Abb. 1).

Die Schnittkräfte wurden für SPH, explizite Lagrange- und experimentelle Ergebnisse verglichen [4].



a – zylindrischer Stab, b – Stab mit rechteckigem Querschnitt

Abbildung 1 – Schema der mechanischen Bearbeitung von Metallen durch Schneiden von um eine Mittelachse rotierenden Werkstücken

Während die spanabhebende Bearbeitung zylindrischer Gegenstände die Sauberkeit der bearbeiteten Oberflächen gewährleistet, ist die spanabhebende Bearbeitung bei Stäben mit rechteckigem Querschnitt eine vergleichsweise kostengünstigere Methode, um den betreffenden Werkstücken verschiedene geometrische Formen zu verleihen (Abb. 2).

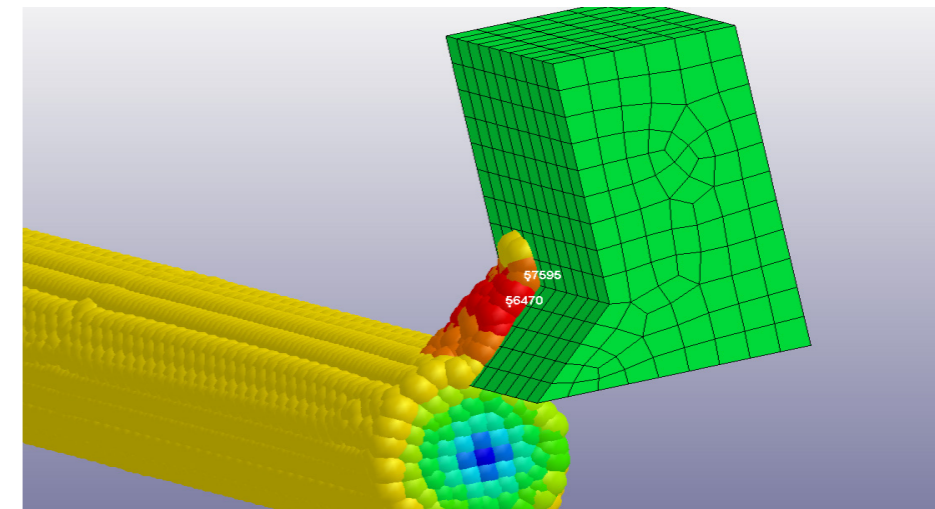
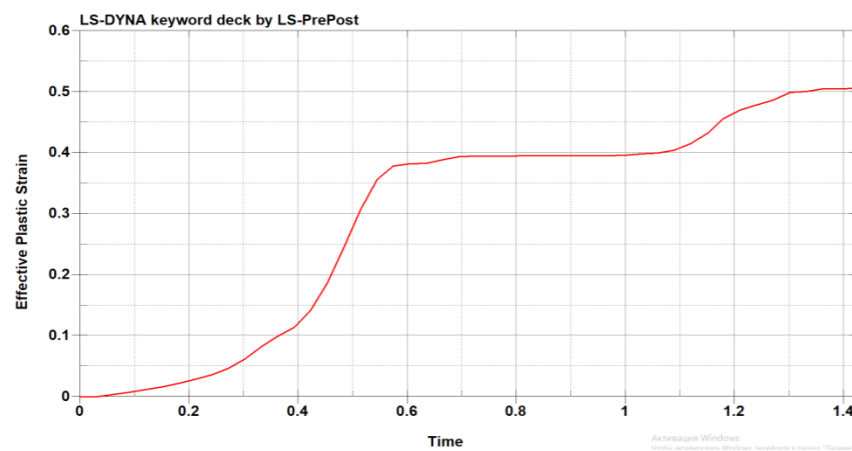
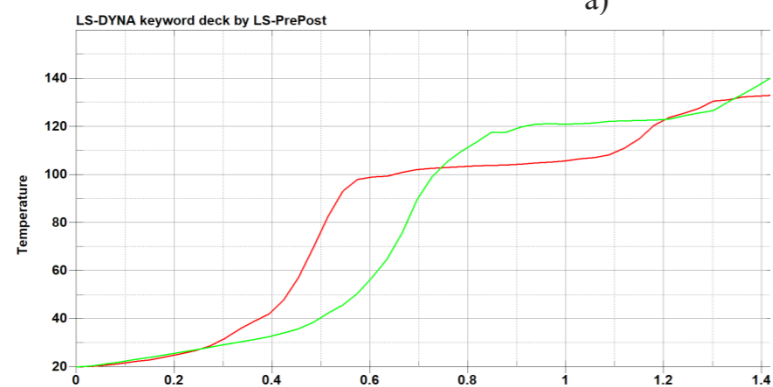


Abbildung 2 – Orthogonales Schneiden eines zylindrischen Werkstücks

Aus den erhaltenen Ergebnissen folgt, dass im Anfangsstadium der mechanischen Bearbeitung zylindrischer Proben aufgrund des Aufpralls des Schneidwerkzeugs ein synchroner plötzlicher Anstieg des Temperaturfelds und verbleibende Endverformungen beobachtet werden, was auf einen komplexen Spannungs-Dehnung-Zustand im Anfangsstadium der Spanbildung (Abb. 3) [5–6].



a)



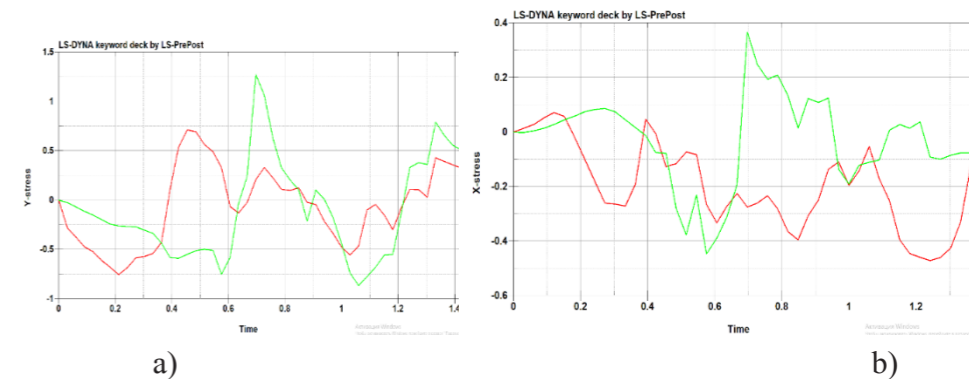
b)

a – цилиндрические Werkstücke durch Schneiden endlicher Verformungen,  
b – Temperaturfeld

Abbildung 3 – Diagramme der Änderungen, die während des Prozesses der Spanbildung während der Bearbeitung auftreten

Aus den erhaltenen Ergebnissen folgt, dass in der Anfangsphase der mechanischen Bearbeitung zylindrischer Proben eine synchrone Änderung des Spannungsfeldes in verschiedenen Knoten des Abfalls beobachtet wird. Gleichzeitig weist die vorübergehende Natur der Spannungsänderung auf die Komplexität der Spanbildung hin (Abb. 4).

Wird bei Längsspannungen überwiegend Druckcharakter beobachtet, so liegen bei Querspannungen abwechselnd Druck- und Zugspannungen vor. Dieser Sachverhalt lässt sich dadurch erklären, dass es in den Spänen im Moment ihrer Entstehung zu einer gegenseitigen Beeinflussung benachbarter Materialpunkte kommt, was eine monotone Änderung des Spannungsfeldes verhindert (Abb. 5) [7].



a)

b)

a – Längsspannungen, b – Querspannungen

Abbildung 4 – Diagramme der Veränderungen, die während des Prozesses der Spanbildung bei der Bearbeitung von zylindrischen Metallteilen auftreten

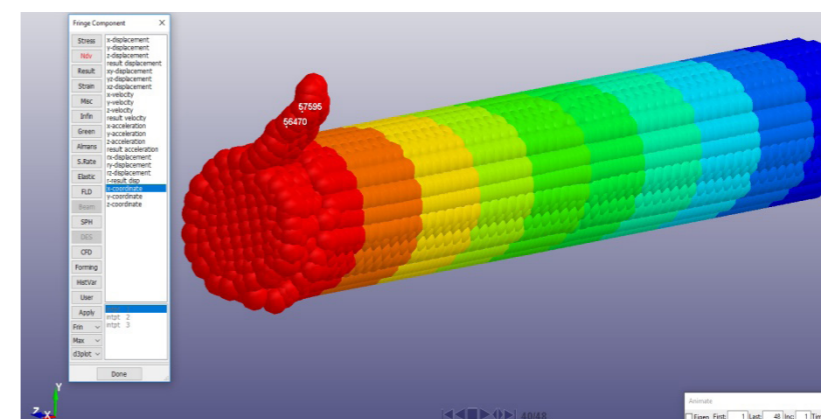


Abbildung 5 – Die Art der Änderung des Spannungs-Dehnungs-Zustands während des Spanbildungsprozesses bei der Bearbeitung von zylindrischen Metallschneiden mit zunehmendem Abstand vom Schnitzer

### Ergebnisse und Discussion

Aus den erhaltenen Ergebnissen folgt, dass in den nächstgelegenen Knoten des Schneidwerkzeugs ein großer Gradient in der Verteilung des Spannungs-Dehnungs-Zustands besteht, der sich mit der Entfernung entlang der Mantellinie des Zylinders allmählich einpendelt.

Somit spiegelt das entwickelte Simulationsmodell der mechanischen Bearbeitung zylindrischer Werkstücke die realen Prozesse beim Schneiden angemessen wider.

Die numerische Vorhersage von Metallverarbeitungsprozessen wie Metallpressen und -schneiden ist ein anspruchsvolles Problem. Zu diesen Prozessen gehören die Lokalisierung plastischer Verformung, die Bildung von Scherbändern, die Trennung von Materialien und ein Temperaturanstieg, der zur Erweichung des Materials führt. Hier werden SPH-Spurenelemente zur Simulation des Metallverarbeitungsprozesses eingesetzt. SPH-Partikel sind von Natur aus in der Lage, große plastische Verformungen

in Materialien einzufangen. Allerdings leidet SPH unter einer Zuginstabilität, die zu einem numerischen Versagen des Materials führt [8].

SPHs werden verwendet, um den Metallschneidprozess zu simulieren. Die akkumulierte effektive plastische Dehnung und Temperaturverteilung werden mit bekannten Ergebnissen aus der Literatur verglichen. Die dargestellten Ergebnisse stimmen mit Beobachtungen aus der Literatur überein. Änderungen der Vorschublänge wirken sich auf die Verformung des Materials aus. Mit zunehmender Vorschublänge erhöht sich die Schnittkraft. Dies führt zu einer Verringerung der Anzahl der Scherbänder und einer Vergrößerung der Breite zwischen zwei benachbarten Scherbändern. In dieser Arbeit wird der Einfluss der Reibung beim Metallschneiden vernachlässigt [9].

Die Anwendung der SPH-Methode für die Metallbearbeitung ist recht neu, ihre Merkmale sind noch nicht vollständig verstanden und die effektivsten Einsatzmöglichkeiten sind noch nicht vollständig entdeckt. Trotz ihrer Neuheit kann die SPH-Methode als ein vielversprechendes Werkzeug für die Untersuchung der Zerspanung angesehen werden.

Hier zeigt die SPH-Methode Möglichkeiten auf, die Hauptschwierigkeiten der Schnittsimulation zu überwinden. Das Wichtigste ist, dass diese Methode genau das Werkzeug ist, das die Untersuchung großer Verformungen, die in der Nähe eines Schneidwerkzeugs auftreten, ohne Verlust an Genauigkeit und Stabilität ermöglicht [10].

#### Abschluss

Als Ergebnis wurde der orthogonale Schneidprozess für H13-Stahlmaterial mit Hilfe der SPH-Methode simuliert und analysiert. Äquivalente plastische Dehnungsrate, äquivalente plastische Dehnung, effektive Spannung, Scherspannung und Schnittkraft wurden modelliert und für orthogonales Schneiden ermittelt. Das entwickelte SPH-Modell erlangte die Fähigkeit, Schnittkräfte korrekt abzuschätzen, wie in zwei orthogonalen Schnittfällen gezeigt.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Cherepashkov, A. A., Nosov, N. V.** Komp'yuternyye tekhnologii, modelirovaniye i avtomatizirovannyye sistemy v mashinostroyenii : uchebnoye posobiye [Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering : textbook] [Text]. – St.Petersburg : Prospekt Nauki, 2018. – 592 p.

2 **Mulenko, V. V.** Komp'yuternyye tekhnologii i avtomatizirovannyye sistemy v mashinostroyenii [Computer technologies and automated systems in mechanical engineering] [Text]. – Moscow : Izdatel'skiytsentrYUUrGU, 2016. – 98 p.

3 **Anna, V. CH.** Inzhenernayai komp'yuternaya grafika [Engineering and computer graphics] [Text]. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2016. – 250 p.

4 **Demidov, A. K.** Modelirovaniye processa rezaniya [Tekst] // Innovacii, kachestvo i servis v texnike i texnologiyax. – Kursk. – 2017. – P. 83-85.

5 **Khodzhbergenov, D. T., Khodzhbergenova, U. D., Akhmedov, A. B., Absadykov, B. N.** Some aspects of the construction of mathematical model for cutting

metalsText] // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – Almaty. – 2019. – № 2 (434). – P. 69–78.

6 **Anur'yev, V. I.** Spravochnikkonstruktora- mashinostroitelya: v 3-kh t [Handbook of mechanical engineering designer: in 3 volumes] [Text]. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2006. – 728 p.

7 **Khalifa, M., Duyun, T. A.** Primeneniye programmny`x paketov dlya chislenogo modelirovaniya processa rezaniya [Tekst] // Vserossiyskaya nauchno-metodicheskaya konferenciya, posyashennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya N. P. Malevskogo, 2020. – P. 56–60.

8 **Masyagin, V. B.** Matematicheskoye modelirovaniye protsessov v mashinostroyenii : uchebnik [Mathematical modeling of processes in mechanical engineering : textbook] [Text]. – Omsk : Izd-voOmGTU, 2017. – 32 p.

9 **Yermakov, YU. M.** Kompleksnyyes posoby effektivnoy obrabotki rezaniyem [Comprehensive methods for efficient machining] [Text]. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2005. – 272 p.

10 **Khodzhbergenov, D. T., Ibragimova, Z. A., Khodzhbergenova, U. D., Abdukarimov, A., Sherov, K. T., Yesirkeпов, A.** Nekotoryye aspekty programmnoy obespecheniya v proyektirovani i ispytanii rezhushchikh instrumentov [Tekst] // Zhurnal Vestnik mashinostroyeniya. OOO «Izdatel'stvo «Innovatsionnoye mashinostroyeniye». – 2019. – № 6. – P. 85–88.

Accepted for publication 22.11.23.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Черепашков, А. А., Носов, Н. В.** Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении : учебное пособие [Текст]. – СПб. : Проспект Науки, 2018. – 592 с.

2 **Муленко, В. В.** Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении [Текст]. – М. : Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 98 с.

3 **Анна, В. Ч.** Инженерная и компьютерная графика [Текст]. – М. : Машиностроение, 2016. – 250 с.

4 **Демидов, А. К.** Моделирование процесса резания [Текст] // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. – Курск. – 2017. – С. 83–85.

5 **Khodzhbergenov, D. T., Khodzhbergenova, U. D., Akhmedov, A. B., Absadykov, B. N.** Some aspects of the construction of mathematical model for cutting metals [Text] // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and technical sciences. – Almaty. – 2019. – № 2 (434). – P 69–78.

6 **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора- машиностроителя : в 3-хт [Текст]. – М. : Машиностроение. – 2006. – 728 с.

7 **Кхалифа, М., Дуюн, Т. А.** Применение программных пакетов для численного моделирования процесса резания [Текст] // Всероссийская научно-методическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Н. П. Малевского, 2020. – С. 56–60.

8 **Масягин, В. Б.** Математическое моделирование процессов в машиностроении : учебник [Текст]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 32 с.

9 **Ермаков, Ю. М.** Комплексные способы эффективной обработки резанием [Текст]. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.

10 **Ходжибергенов, Д. Т., Ибрагимова, З. А., Ходжибергенова, У. Д., Абдукаримов, А., Шеров, К. Т., Есиркепов, А.** Некоторые аспекты программного обеспечения в проектировании и испытании режущих инструментов [Текст] // Журнал Вестник машиностроения. ООО «Издательство «Инновационное машиностроение». – 2019. – № 6. – С. 85–88.

\***З. А. Ибрагимова<sup>1</sup>, Д. А. Абзалова<sup>2</sup>, А. А. Досмаканбетова<sup>3</sup>, Н. Н. Рахымтай<sup>4</sup>, С. Н. Курбанбаева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ. Басып шығаруға 22.11.23 қабылданды.

### КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, АЙНАЛМАЛЫ ОБЪЕКТІЛЕРДІ КЕСУ АРҚЫЛЫ МЕХАНИКАЛЫҚ ӨНДЕУ

*Цилиндр түріндегі металдарды механикалық өңдеу айтарлықтай термодинамикалық процестермен бірге жүреді. Металдарды кесу кезінде жылу көзі кесілген қабаттағы және өңделген бетке және кесу бетіне іргелес қабаттардағы деформацияларға және кескіштің алдыңғы және артқы беттеріндегі үйкелісті жеңуге жұмсалатын жұмыс болып табылады.*

*Процесті модельдеу инновация процесіне үлкен үлес қосып, жеделдетеді алады және қажетті эксперименттерді қолдай отырып, циклдарды әзірлеу уақытын қысқартады, өйткені олар аз шығынды, қауіпті емес және эксперименттік зерттеулермен салыстырғанда аз дайындық уақытын қажет етеді. Сонымен қатар, модельденген кесу процестері әртүрлі құбылыстармен реттеледі, мысалы, шапшау энергиясы мен материалдарды бөлу механизмдері, олар бір уақытта қарастырылып отырған өңдеу жүйелерінің сапасына әсер етеді.*

*SPH-расында тор жоқ әдіс, өйткені ол фондық торды қажет етпейді. SPH-де есептеу аймағы Лагранждың көмегімен таңдалады бөлшектер, ауыспалы өрістерді алып жүретін және материалмен бірге қозғалады. SPH-нің торсыз және лагранжды табиғаты оны металды өңдеуді математикалық модельдеу үшін өте қолайлы етеді. Жұмыста ығысу жолақтары мен жоңқалардың пайда болуы түйінді байыту немесе қайта құру сияқты арнайы өңдеусіз табиғи түрде ұсталатыны көрсетілген. LS-DYNA-да SPH негізіндегі модельдеу кесу күштерін, пластикалық деформацияларды және кесу жазықтығын үлкен дәлдікпен болжау үшін жасалады.*

*Кілтті сөздер: имитациялық модельдеу, кесумен өңдеу, тозу, температура, кернеу.*

\***З. А. Ибрагимова<sup>1</sup>, Д. А. Абзалова<sup>2</sup>, А. А. Досмаканбетова<sup>3</sup>, Н. Н. Рахымтай<sup>4</sup>, С. Н. Курбанбаева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Республика Казахстан, г. Шымкент  
Принято к изданию 22.11.23.

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ РЕЗАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Механическая обработка металлов в виде цилиндра сопровождается существенными термодинамическими процессами. Источником теплоты при резании металлов является работа, затрачиваемая на деформации в срезаемом слое и в слоях, прилегающих к обработанной поверхности и поверхности резания и на преодоление трения по передней и задней поверхностям резца.*

*Моделирование процесса может внести большой вклад и ускорить процесс инноваций и сократить время разработки циклов, поддерживая необходимые эксперименты, поскольку они менее затратные, менее опасны и требуют меньше времени на подготовку по сравнению с экспериментальными исследованиями. При этом моделируемые процессы резки регулируются множеством различных явлений, например, механизмы энергии рассеяния и разделения материалов, которые одновременно влияют на качество рассматриваемых систем механообработки.*

*SPH – действительно без сеточный метод, поскольку он не требует фоновой сетки. В SPH вычислительная область дискретизируется с помощью лагранжеских частицы, несущих переменные поля и движущиеся вместе с материалом. Бессеточная и лагранжеская природа SPH делает его идеальным для математического моделирования обработки металлов. В работах показано, что полосы сдвига и образование стружки улавливаются естественным путем без какой-либо специальной обработки, такой как узловое обогащение или перепланировка. Моделирование на основе SPH в LS-DYNA выполняется для прогнозирования сил резания, пластических деформаций и плоскости резки с большой точностью.*

*Ключевые слова: имитационное моделирование, обработка резанием, износ, температура, напряжения.*

**\*Н. Ж. Карсакова<sup>1</sup>, Т. Г. Насад<sup>2</sup>, Б. С. Доненбаев<sup>3</sup>,  
А. Б. Есиркепова<sup>4</sup>, Р. Габдысалык<sup>5</sup>**

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

Казахстан Республикасы, г. Караганда;

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Ю. Гагарина,  
Российская Федерация, г. Саратов;

<sup>5</sup>Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,  
Казахстан Республикасы, г. Усть-Каменогорск

\*e-mail: [karsakova-87@mail.ru](mailto:karsakova-87@mail.ru)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ СТУПЕНЧАТОГО ОТВЕРСТИЯ**

*В данной статье приводятся результаты исследования выполненные по растачиванию ступенчатого отверстия крупногабаритной детали Станина НП8 насоса погружного. Разработана конструкция и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. Также изготовлен образец – заготовка из СЧ15 для проведения экспериментальных исследований.*

*Экспериментальные исследования проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625.*

*В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия установлено, что с увеличением частоты вращения шпинделя и значения глубины резания твердость обработанной поверхности снижается, а при увеличении подачи твердость обработанной поверхности повышается.*

*Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия  $\Phi 295$  мм и  $\Phi 325$  мм детали Станина НП8 насоса погружного:  $S=0,26$  мм/об;  $n= 1250$  об/мин;  $t=1,0$  мм.*

*В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость твердости поверхности от режимов резания.*

*Ключевые слова. Крупногабаритные детали, ступенчатое отверстие, комбинированный расточной инструмент, одновременное растачивание, твердость, подача.*

#### **Введение**

Растачивание отверстий – считается не только одной из наиболее востребованных операций в металлообработке, но также и относится к категории достаточно трудоемких [1,2]. Исследования, проведенные в условиях

отечественных машиностроительных заводов, в частности Карагандинского региона показали, что существует проблема обеспечения точности и качества при изготовлении крупногабаритных деталей [3,4,5]. В результате анализа технологических процессов механической обработки этих деталей было выявлено, что самым сложным и трудоемким является обработка ступенчатых отверстий [3,4,5,6,7]. Для исследования и решения проблемы в качестве объекта была выбрана крупногабаритная деталь Станина НП8 насоса погружного и технология её изготовления, которая производится в условиях ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ (г. Караганда). Результаты исследования технологии изготовления и сущность проблемы обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного приведена в работе [3].

#### **Методы и материалы**

Для обеспечения точности и качества механической обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного было спроектирован и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. На рисунке 1 показан специальный комбинированный расточной инструмент.

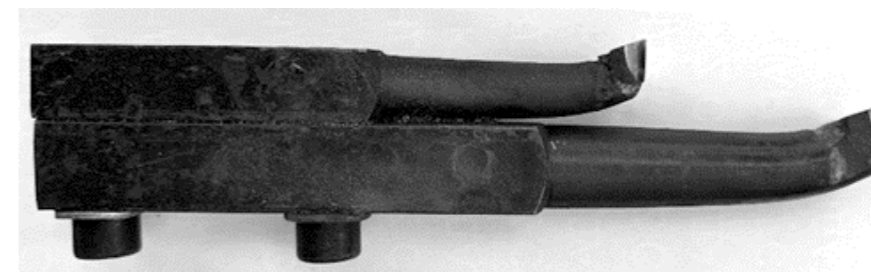


Рисунок 1 – Специальный комбинированный расточной инструмент

Для проведения экспериментальных исследований по обработке ступенчатых отверстий был изготовлен образец – заготовка приближенное по размерам и материалу, а также по расположению отверстий к основной детали Станина НП8 насоса погружного. Образец-заготовка был отлит в условиях ТОО «ТемирПромСтил» (г. Темиртау) из СЧ 15.

На рисунке 2 показана фотография образец – заготовки.





а) отливка; б) вид сверху

Рисунок 2 – Фотография образец – заготовки

Экспериментальные исследования по обработке ступенчатых отверстий были проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625. На рисунке 3 показана фотография токарно-винторезного станка 1К625.



Рисунок 3 – Токарно-винторезный станок 1К625

Для измерения твердости обработанных отверстий использован электронный прибор - Твердомер портативный ультразвуковой МЕТ-У1

На рисунке 4 показан Твердомер портативный ультразвуковой МЕТ-У1.



Рисунок 4 – Твердомер портативный ультразвуковой МЕТ-У1

Планирование многофакторного эксперимента. С целью получения зависимостей параметров показателей качества, то есть шероховатости ( $R_a$ ) и твердости (НВ) внутреннего поверхностного слоя детали от режимов резания составлен план эксперимента [8,9,10].

На качественные показатели внутреннего поверхностного слоя влияет большое количество факторов технологического процесса. Согласно проведенным экспериментам и литературному обзору были приняты три основных факторы, характеризующие режимы резания:

- 1)  $X_1$  – глубина резания, мм(t);
- 2)  $X_2$  – продольная подача, мм/об (S);
- 4)  $X_3$  – частота вращения шпинделя, об/мин (n).

По рисунку, приведенной в [11, стр. 16] был построен комбинированный квадрат для трехфакторного испытания (таблица 1).

Таблица 1 – Комбинированный квадрат для трехфакторного испытания

B	I					II					III					IV					V				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
C																									
A																									
I																									
II																									
III																									
IV																									
V																									

Для получения более адекватных зависимостей интервалы варьирования факторов выбирались по паспортным данным станка 1К62 (S и n) таким образом, чтобы получались примерно равные шаги переменных (таблица 2). А также количество переменных должны быть нечетным и начинаться с пяти.

Для уменьшения времени и затрат на испытания был выбран метод рационального планирования экспериментов, который сокращает по сравнению с полным экспериментом число необходимых опытов в  $m \cdot n - 2$  раз. Для нашего случая, при  $n = 5, m = 3$  – число опытов при использовании рационального планирования сокращается в пять раз и становится равным 25.

Таблица 2 – Диапазон изменения факторов

Уровни Факторы	1	2	3	4	5
X1 (t, мм)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
X (S, мм/об)	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52
C (n, об/мин)	500	800	1000	1250	1600

План трехфакторного эксперимента с выходными параметрами на пяти уровнях приведен в таблице 3.

Таблица 3 – План трехфакторного эксперимента

Факторы	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
Номера опытов					
1	0,2	0,17	1000	2,5	197
2	0,2	0,26	1600	1,66	166
3	0,2	0,34	1250	2,87	202
4	0,2	0,43	500	7,5	222
5	0,2	0,52	800	6,66	221
6	0,4	0,17	1250	1,875	191
7	0,4	0,26	500	4	208
8	0,4	0,34	1600	1,563	193
9	0,4	0,43	800	4,511	216
10	0,4	0,52	1000	4,167	213
11	0,6	0,17	1600	1,146	114
12	0,6	0,26	800	3,214	202
13	0,6	0,34	500	4,75	211
14	0,6	0,43	1000	3,5	207
15	0,6	0,52	1250	2,857	204
16	0,8	0,17	800	2,25	196
17	0,8	0,26	1250	1,563	190
18	0,8	0,34	1000	2,361	200
19	0,8	0,43	1600	1,607	195
20	0,8	0,52	500	7,5	219
21	1,0	0,17	500	2,5	197
22	1,0	0,26	1000	1,666	196
23	1,0	0,34	800	2,813	204
24	1,0	0,43	1250	1,812	199
25	1,0	0,52	1600	1,5	197

Здесь  $Y_1(R_a)$  – шероховатость обработанной поверхности;  $Y_2(HB)$  – твердость обработанной поверхности. Оценка результатов многофакторного эксперимента осуществлялась по программе «ANETR-5» разработанный профессорами КарГТУ Ермаковым М.А. и Маховым А.А. [10]. Варируя во входном файле параметр «р», который может принимать целые значения от 1 до 4, можем получить различные типы обобщенной формулы с различными параметрами оценивающий адекватность математической модели. Адекватность найденных математических

моделей оцениваются через СКО (среднего квадратичного отклонения) и коэффициентом множественной корреляции (R). Согласно литературе [12] модель считается отличной, если СКО меньше 20 % и хорошей, если СКО находится в пределах от 20 % до 50 %. И в результате обработки получили следующие зависимости показатели качества обработанной внутренней поверхности детали от режимов резания:

$$Y_2 = 50,344 \cdot X_1^2 - 66,81 \cdot X_1 + (X_2 / (2,2 \cdot 10^{-4} + 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot X_2)) - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot X_3^2 + 3,56 \cdot 10^{-2} \cdot X_3 + 416,58;$$

- СКО = 50%, R = 0,84.

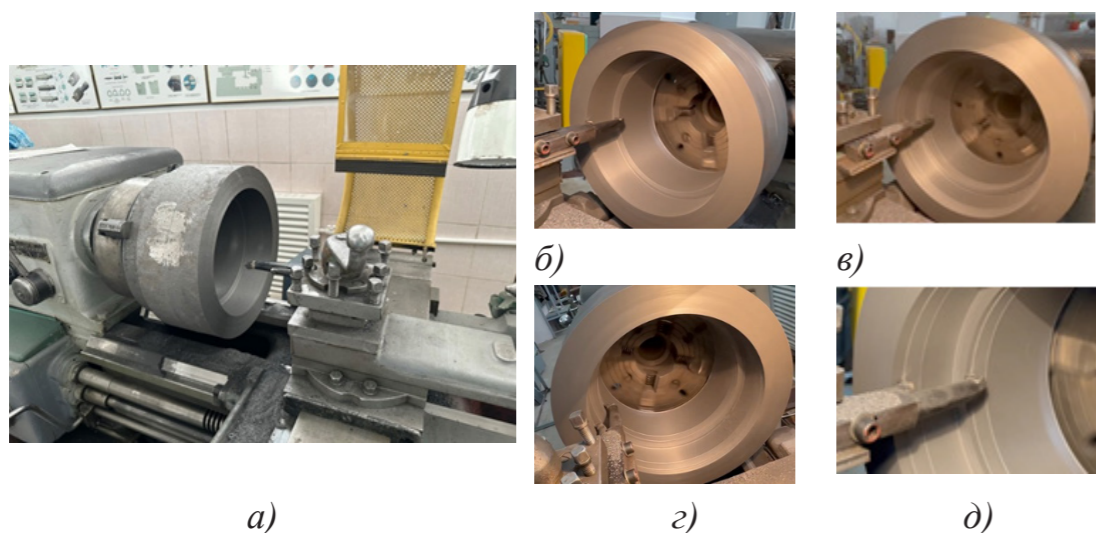
**Результаты и обсуждение**

При проведении экспериментальных исследований по одновременной обработке ступенчатых отверстий Ø295 мм и Ø325 мм были использованы режимы резания, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Режимы резания

Режимы резания	Значение режимов резания				
S, мм/об	0.17	0.26	0.34	0.43	0.52
n, об/мин	500	800	1000	1250	1600
t, мм	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

На рисунке 5 показан процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания.



а – процесс наладки; б,в,г,с – процесс одновременного растачивания ступенчатого отверстия на различных режимах

Рисунок 5 – Процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания

В результате обработки полученных данных были построены графики влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности (Рисунок 6).

а – t = 0,2 мм; б – t = 0,4 мм; в – t = 0,5 мм; с – t = 0,8 мм; д – t = 1,0 мм

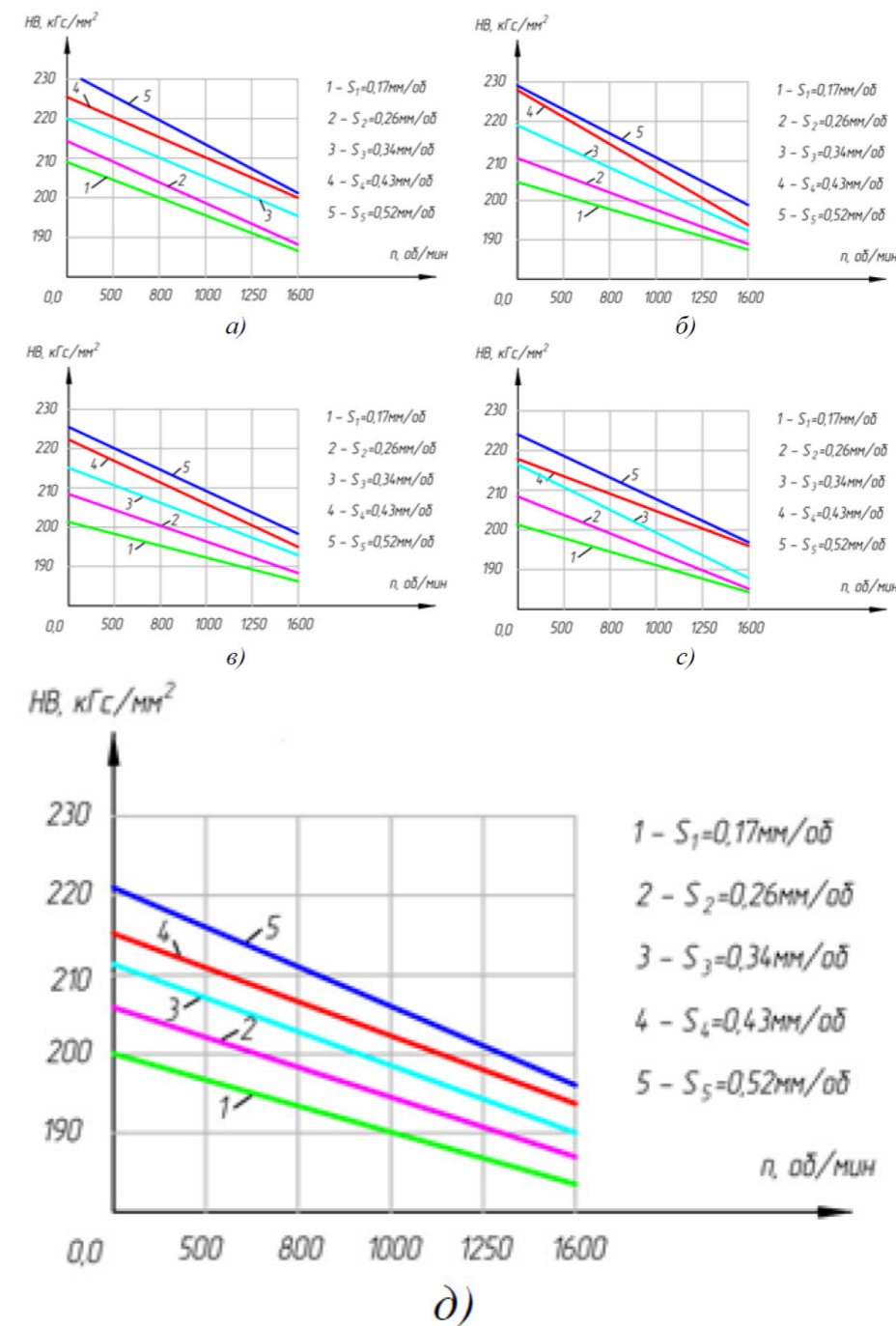


Рисунок 6 – Графики влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности

При обработке на различных режимах резания была достигнута твердость обработанной поверхности в широких пределах HB183-245 МПа (см. рис. 6). Деталь Станина НП8 насоса погружного изготавливается из СЧ15 ГОСТ 1412-85 твердость составляет HB134-241 МПа. Исходя из этого были определены оптимальные режимы резания:  $S=0,26$  мм/об;  $n=1250$  об/мин;  $t=1,0$  мм. При обработке оптимальными режимами резания твердость обработанной поверхности имеет HB190 МПа (см. рис.б,д, кривая 2).

Анализ результатов влияния режимов резания показали, что увеличение частоты вращения шпинделя отрицательно влияет на твердость обработанной поверхности (см. рис. б), а увеличение подачи, наоборот, положительно влияет на твердость обработанной поверхности (см. рис. б). С увеличением значения глубины резания уменьшается твердость обработанной поверхности (см. рис.б). Максимальный твердость обработанной поверхности наблюдался при назначении глубины резания  $t=0,2$  мм и составляло  $\approx$  HB245 (см. рис. б,а, кривая 5).

#### Выводы

1. Для одновременной обработки ступенчатого отверстия была разработана конструкция специального комбинированного расточного инструмента и изготовлен опытный образец в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова».

2. В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на твердость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия было установлено, что:

– увеличение частоты вращения шпинделя и значения глубины резания отрицательно влияют на твердость обработанной поверхности;

– увеличение подачи положительно влияет на твердость обработанной поверхности.

3. В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость твердости поверхности от режимов резания:  $Y_2 = 50,344 \cdot X_{12} - 66,81 \cdot X_1 + (X_2 / (2,2 \cdot 10^{-4} + 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot X_2)) - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot X_{32} + 3,56 \cdot 10^{-2} \cdot X_3 + 416,58$

4. Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия  $\varnothing 295$  мм и  $\varnothing 325$  мм детали Станина НП8 насоса погружного:  $S=0,26$  мм/об;  $n=1250$  об/мин;  $t=1,0$  мм.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Бурцев, В. М.** Технология машиностроения. В 2 т. Т.2. Производство машин : Учеб. для вузов под ред. Г.Н. Мельникова / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с.

2 **Kassenov, A. Zh., Abishev, K. K., Yanyushkin, A. S., Iskakova, D. A., Absadykov, B. N.** Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series

of geology and technical sciences. – Volume 2. – Number 452 (2022). – P. 89–103. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.

3 **Карсакова, Н. Ж., Шеров, К. Т., Насад, Т. Г.** Вопросы изготовления детали «станина» насоса погружного. Труды университета. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2022. – № 1(86) – С. 16–21. DOI [https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_1\\_16](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16).

4 **Karsakova N., Sherov K., Donenbayev B., Abulkhairov D., Sagynganova I., Usserbayev M., Teliman I., Sherov A., Tussupbekova G.** Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. // Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 21. – № 1. – 2023. – P. 300–312. – <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>.

5 **Шеров, К. Т., Сихимбаев М. Р., Габдысалык Р., Бузауова Т. М., Карсакова, Н. Ж., Имашева, К. И., Сейсенбаев, Д. С.** Исследование технологических возможностей контрольно-измерительных средств для контроля отверстий крупногабаритных деталей // Научное обозрение. – М. : Изд-во ИД «Академия Естествознания», 2019. – № 2. – С. 45–49.

6 **Donenbaev, B. S. Sherov K. T., Sikhimbayev, M. R. Absadykov, B. N. Karsakova N. Zh.** Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2021. – Volume 3. – Number 447. – (2021). – P. 20–27. – <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>.

7 **Шеров, К. Т., Доненбаев, Б. С. Карсакова, Н. Ж.** Ірі габаритті және корпус тетіктерді даярлауда қойылатын талаптар // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10). – 13–14 июня 2018 г. – Часть 3. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2018. – С. 102–104.

8 **Реброва, И. А.** Планирование эксперимента : учеб. пос. – Омск : СибАДИ, 2010. – 105 с.

9 **Кадыров, А. С., Кадырова, И. А.** Основы научных исследований. – Караганда : КарГТУ, 2015. – 279 с.

10 **Ермеков, М. А., Махов, А. А.** Статистико-детерминированный метод построения многомерных моделей с использованием ЭВМ : учеб.пособие. - Караганда, КПТИ, 1988. – 70 с.

11 **Протождьяконов, М. М., Тедер, Р. И.** Методика рационального планирования экспериментов. – М. : Издательство наука, 1970. – 73 с.

12 **Ковенский, И. М. и др.** Современные методы исследования металлических покрытий : учебное пособие. – Тюмень, 1982. – 67 с.

#### REFERENCES

1 **Burtsev, V. M.** Tekhnologiya mashinostroyeniya. V 2 t. T.2. Proizvodstvo mashin : Ucheb. dlya vuzov pod red. G.N. Mel'nikova [Mechanical engineering technology. In 2 volumes. T.2. Machine production : Textbook, for universities, ed. G.N. Melnikova]

/ V. M. Burtsev, A. S. Vasiliev, O. M. Deev. – Moscow. : MSTU Publishing House. N. E. Bauman, 2001. – 640 p.

2 **Kassenov, A. Zh., Abishev, K. K., Yanyushkin, A. S., Iskakova, D. A., Absadykov, B. N.** Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. – Volume 2. – Number 452. – (2022). – P. 89–103. – <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.

3 **Karsakova, N. Zh., Sherov, K. T., Nasad, T. G.** Voprosy izgotovleniya detali «stanina» nasosa pogruzhnogo. Trudy universiteta [Issues of manufacturing the «frame» part of a submersible pump. Proceedings of the University]. – Karaganda : Publishing House of KarTU, 2022. – № 1(86) – P. 16–21. – [https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_1\\_16](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16).

4 **Karsakova, N., Sherov, K., Donenbayev, B., Abulkhairov, D., Sagynganova, I., Ussebayev, M., Teliman, I., Sherov, A., Tussupbekova G.** (2023) Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. // Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 21. – № 1. – 2023. – P. 300–312. – <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>.

5 **Sherov, K. T., Sikhimbayev, M. R., Gabdysalyk, R., Buzauova T. M., Karsakova, N. Zh., Imasheva, K. I., Seysenbayev, D. S.** Issledovaniye tekhnologicheskikh vozmozhnostey kontrol'no-izmeritel'nykh sredstv dlya kontrolya otverstiy krupnogabaritnykh detaley [Study of technological capabilities of control and measuring means for monitoring holes of large-sized parts] // Scientific review. – Moscow : Publishing House Publishing House «Academy of Natural Sciences», 2019. – № 2. – P. 45–49.

6 **Donenbaev, B. S. Sherov, K. T., Sikhimbayev, M. R. Absadykov, B. N. Karsakova, N. Zh.** Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2021. – Volume 3. – Number 447. – (2021). – P. 20–27. – <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>.

7 **Sherov, K. T., Donenbayev, B. S. Karsakova, N. Zh.** Írí gabarittí zhëne korpus tetikterdi dayarlauda k,oyylatyn talaptar [Requirements for the preparation of large-sized and body mechanisms] // Proceedings of the international scientific and practical conference «Integration of science, education and production – the basis for the implementation of the Nation's Plan» (Saginov readings № 10). – June 13–14, 2018. Part 3. – Karaganda : Publishing house – KarSTU, 2018. – P. 102–104.

8 **Rebrova, I. A.** Planirovaniye eksperimenta : ucheb. pos. – Omsk : SibADI, 2010. – 105 p.

9 **Kadyrov, A. S., Kadyrova, I. A.** Osnovy nauchnykh issledovaniy [Fundamentals of scientific research]. – Karaganda : KarGTU, 2015. – 279 p.

10 **Yermekov, M. A., Makhov, A. A.** Statistiko-determinirovannyi metod postroyeniya mnogomernykh modeley s ispol'zovaniyem EVM : ucheb.posobiye [Statistical deterministic method for constructing multidimensional models using a computer: textbook]. – Karaganda : KPTI, 1988. – 70 p.

11 **Protod'yakonov, M. M., Teder, R. I.** Metodika ratsional'nogo planirovaniya eksperimentov [Methodology for rational planning of experiments]. – Moscow : Izdatel'stvo Nauka, 1970. – 73 p.

12 **Kovenskiy, I. M. i dr.** Sovremennyye metody issledovaniya metallicheskih pokrytiy : uchebnoye posobiye [Modern methods for studying metal coatings : textbook]. – Tyumen', 1982. – 67 p.

Принято к изданию 07.12.23.

\***Н. Ж. Карсакова<sup>1</sup>, Т. Г. Насад<sup>2</sup>, Б. С. Доненбаев<sup>3</sup>, А. Б. Есиркенова<sup>4</sup>, Р. Фабдысалық<sup>5</sup>**

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

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. ;

<sup>2</sup>Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Саратов қ. ;

<sup>5</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

#### САТЫЛЫ ТЕСІКТІ КЕҢЕЙТЕЖОНУ КЕЗІНДЕ КЕСУ РЕЖИМДЕРІНІҢ БЕТТІҢ ҚАТТЫЛЫҒЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Бұл мақалада НП8 суасты сорғысының станина тетігінің үлкен өлшемді сатылы тесіктерін өңдеу сапасын қамтамасыз ету үшін жасалған зерттеу нәтижелері келтірілген. Арнайы құрамалы кеңейтежону құралының конструкциясы әзірленді және тәжірибелік үлгісі жасалды. Сондай - ақ, эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін СШ15-тен үлгі дайындама жасалды.*

*Эксперименттік зерттеулер «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің» КеАҚ «Машина жасау» жұмысшы кәсіптер орталығы» зертханалық базасы жағдайында 1К625 токарлық-бұрандалы кескіш білдегінде жүргізілді. Кесу режимдерінің өңделген беттің қаттылығына әсерін эксперименттік зерттеу нәтижесінде сатылы тесіктерді кеңейтежону кезінде шпиндельдің айналу жиілігі мен өңделген беттің кесу тереңдігінің мәні жоғарылаған сайын өңделген беттің қаттылығы төмендей түсетіні, ал беріліс мәні артқан сайын қаттылықтың жоғарылайтындығы анықталды.*

*НП8 суасты сорғысының станина тетігінің өлшемдері Ø295 мм және Ø325 мм сатылы тесіктерін өңдеу үшін оңтайлы кесу режимдері анықталды: S=0,26 мм/айн; n= 1250 айн/мин; t=1,0 мм. Экспериментті жоспарлау және алынған деректерді «ANETR-5» бағдарламасы арқылы бағалау нәтижесінде беттің қаттылығының кесу режимдеріне тәуелділігін сипаттаушы теңдеу алынды.*

*Кілтті сөздер. Ірігабаритті тетіктер, сатылы тесік, құрамалы кеңейтежону құралы, бір уақытта кеңейтежону, қаттылық, беріліс.*

\*N. Zh. Karsakova<sup>1</sup>, T. G. Nasad<sup>2</sup>, B. S. Donenbaev<sup>3</sup>,  
A. B. Yesirkepova<sup>4</sup>, R. Gabdysalyk<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>Karaganda Technical University named after, A. Saginov,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda ;

<sup>2</sup>Saratov State Technical University named after, Yu. Gagarin,  
Russian Federation, Saratov;

<sup>5</sup>East Kazakhstan Technical University named after, D. Serikbaev,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Accepted for publication on 07.12.23.

### STUDY OF THE INFLUENCE OF CUTTING CONDITIONS ON SURFACE HARDNESS WHEN BORING A STEP HOLE

*This article presents the results of a study carried out on boring a stepped hole in a large part of the NP8 submersible pump bed. A design has been developed and a prototype of a special combined boring tool has been manufactured. A sample was also made – a blank from SCh15 for experimental research. Experimental studies were carried out in the laboratory base «Center for Working Professions «Mechanical Engineering»» NJSC «Karaganda Technical University named after, A. Saginova» on a screw-cutting lathe 1K625. As a result of experimental studies of the influence of cutting conditions on the hardness of the machined surface when boring a stepped hole, it was found that with increasing spindle speed and depth of cut, the hardness of the machined surface decreases, and with an increase in feed, the hardness of the machined surface increases.*

*The optimal cutting conditions for processing a stepped hole  $\Phi 295$  mm and  $\Phi 325$  mm parts have been determined. NP8 submersible pump frame:  $S=0.26$  mm/rev;  $n=1250$  rpm;  $t=1.0$  mm.*

*As a result of planning the experiment and evaluating the obtained data using the ANETR-5 program, the dependence of surface hardness on cutting conditions was obtained.*

*Keywords: Large parts, stepped hole, combined boring tool, simultaneous boring, hardness, feed.*

МРНТИ 55.42.45

<https://doi.org/10.48081/JRNA6312>

\*С. М. Нуркимбаев<sup>1</sup>, И. А. Шумейко<sup>2</sup>

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

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

### РАСЧЁТ МЕХАНИЗМА АВТОНОМНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО КОЛЕСА И БУРЕВОЙ ЗАЩИТЫ

*Малые ветроэнергетические установки представляют собой привлекательную альтернативу автономной электрификации и перекачиванию воды как в качестве автономных установок, так и в сочетании с другими энергетическими технологиями.*

*Одним из ответственных узлов установки является буревая защита которая, обеспечивается либо выводом ротора из потока ветра, либо изменением угла атаки лопастей и снижением оборотов вращения.*

*Исходя из опыта эксплуатации в конструкции ветрового колеса применены лопасти из листовой стали с уменьшающейся к периферии вогнутостью и с незначительной винтовой формой по длине.*

*В статье рассмотрена работа механизма буревой защиты, предназначенного для снижения частоты вращения ветрового колеса при повышенных скоростях ветра.*

*При различной скорости ветра на экран воздействует ветровой поток и путем системы тяг лопасти ветровое колесо поворачиваются на определенный угол, вплоть до флюгерного положения (90°). Разработанный механизм буревой защиты вступает в работу при скорости ветра свыше 9–10 м/с.*

*Для обеспечения нормальной работы механизма выполнен расчет мощности, создаваемой ветровым потоком, определены параметры пружины, приводящей механизм в исходное положение.*

*Достигнут технический результат, заключающийся в обеспечении защиты установки от буревых порывов ветра и повышении надежности работы установки.*

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

### Введение

В настоящее время прослеживается мировой тренд на децентрализацию энергетики. Переход к ВИЭ – общемировая тенденция. Развитию этой тенденции способствует совершенствование технологии машиностроения, доступность финансовых возможностей и различных программ стимулирования, а также осведомленность населения в вопросах экологии [1].

Рядом стран начата политика по развитию ветроэнергетики, в том числе внедрение и масштабирование установками малой мощности [2].

Спрос и интерес населения (домохозяйств и юридических лиц) к маломасштабным проектам есть и в нашей стране. Этот интерес основан на большой доле населения, проживающего в частном секторе, желании сократить и оптимизировать свои расходы на электроэнергию, для решения проблем, связанных с недоступностью коммунальной инфраструктуры в отдаленных регионах [3, 4].

В результате этого возникает необходимость создания такой ветроэнергетической установки (далее ВЭУ), которая будет максимально приспособлена для климатических особенностей регионов Казахстана. При создании ВЭУ необходимо создать конструкцию ветрового колеса, выдающего максимальные значения по частоте вращения, моменту и развиваемой мощности.

#### Материалы и методы

Исходными данными является: горизонтально-осевая ветроэнергетическая установка с генератором на неодимовых магнитах, мощностью  $P = 300$  Вт, номинальная частота вращения ротора генератора  $n_r = 600$  об/мин. Лопастей ветрового колеса (далее ВК) из листовой стали с уменьшающейся к периферии вогнутостью и с незначительной винтовой формой по длине (из опыта эксплуатации ветроэнергетических установок малой мощности) [5, 6] Ориентация навстречу воздушному потоку – флюгер.

Расчёт диаметра ВК выполним на основе известной зависимости [7]

$$D = \sqrt{\frac{8P}{\rho \vartheta^3 \pi \varepsilon}}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность ветроэнергетической установки;

$\vartheta$  – предельная рабочая скорость ветра, принятая равной 10 м/с;

$\varepsilon$  – коэффициент использования энергии ветра, идеальное значение  $\varepsilon = 0,593$ .

С учётом потерь примем  $\varepsilon = 0,467$ ;

$\rho$  – плотность воздуха, равная 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

$$D = \sqrt{\frac{8 \cdot 300}{1,29 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 0,467}} = 1,3 \text{ м}$$

Примечание: при скорости, выше указанной, равной 10 м/с, должен начинать работу механизм регулирования частоты вращения ВК и буревой защиты.

Предварительно диаметр обтекателя на основании опыта эксплуатации  $d$  принимаем из соотношения  $\frac{D}{d} = 4,0$ , т.е.  $d = \frac{1,3}{4} = 0,32$  м. Длина лопасти с фланцем ее оси принята равной 490 мм.

Размеры оснований трапеции лопасти нижнего – 120 мм, верхнего 260 мм. Площадь лопасти  $S_n = 0,093$  м<sup>2</sup>. Относительная площадь лопасти  $S_o$ , как отношение площади лопасти к омываемой ВК площади без учёта площади обтекателя, принята равной  $S_o = 0,074$ .

Быстроходность, как отношение окружной скорости конца лопастей к скорости ветра, определим по формуле [7].

$$X = \frac{\pi R n}{30 \vartheta}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус ВК, равный 0,65 м.

Номинальная скорость вращения ротора трехфазного генератора переменного тока с постоянными магнитами 300 Вт – 600 об/мин.

Передаточное отношение мультипликатора при передаче вращения от ВК к генератору принято равным  $i = 6$ . Тогда потребная номинальная частота вращения ВК

$$n = \frac{600}{6} = 100 \text{ об/мин.}$$

Быстроходность согласно формуле 2

$$X = \frac{\pi \cdot 0,65 \cdot 100}{30 \cdot 10} = 0,7$$

Расчеты параметров ориентации будем выполнять на основе предварительно конструктивно выбранных данных согласно рисунку 1. Площадь экрана флюгера рассчитана по формуле 3 и составляет 0,4 м<sup>2</sup> [7].

$$A = D^2 \cdot \frac{a}{c} \cdot k_k,$$

где  $A$  – площадь флюгера;

$a$  и  $c$  – размеры, соответственно от плоскости ВК до оси поворота силовой головки и от оси поворота силовой головки до центра флюгера ( $a$  и  $c$  приняты равными  $a = 0,46$  м,  $c = 1,625$  м);

$D$  – диаметр ВК;

$k_k$  – коэффициент, принятый для тихоходных ВК  $k_k$  [7]

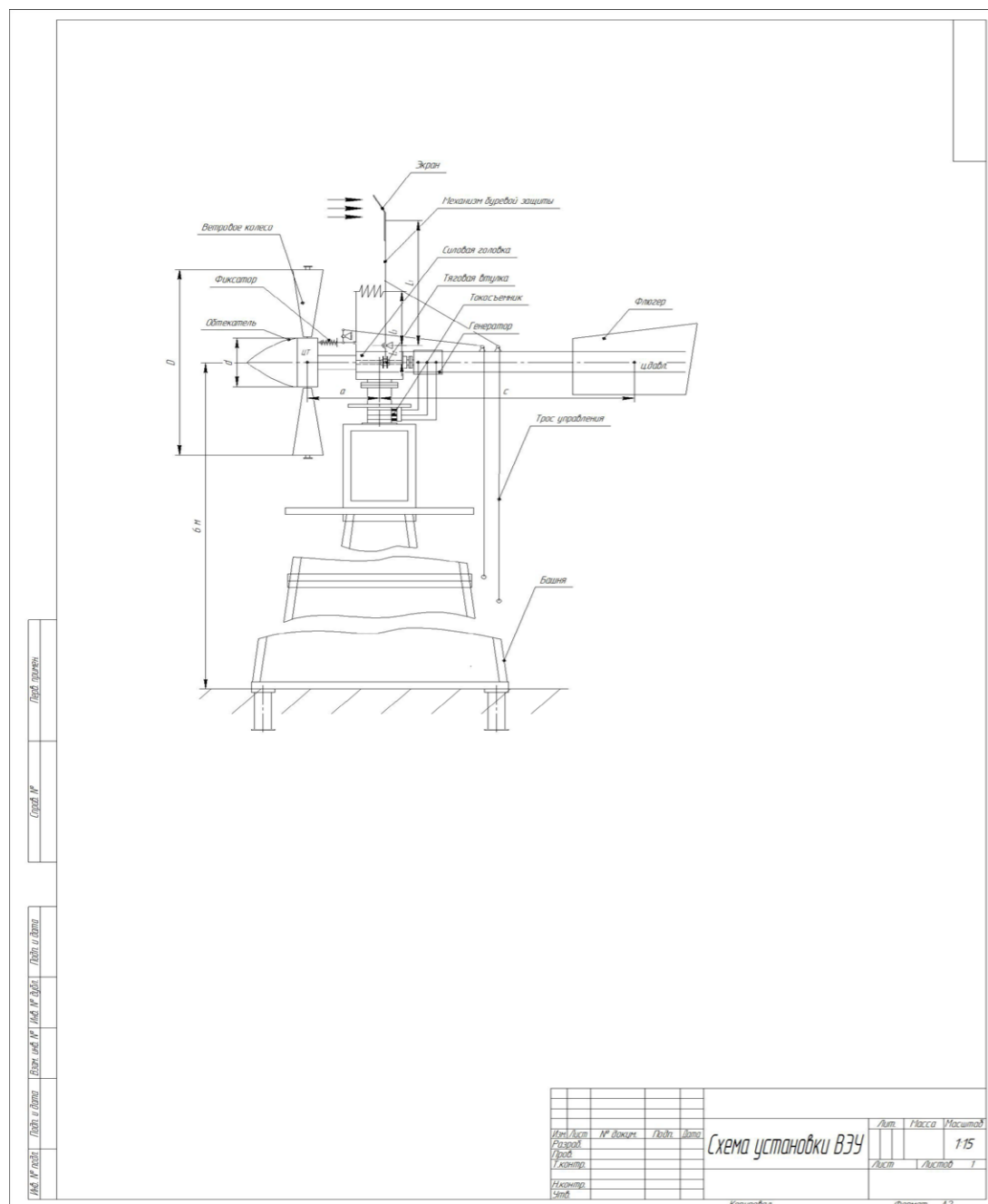


Рисунок 1 – Общая схема ветроэнергетической установки малой мощности

Расчет силы, действующей на флюгер, выполнен по формуле [7]

$$F = \frac{N}{v} \cdot A, \tag{4}$$

где N – секундная мощность, заключенная в воздушном потоке, имеющем сечение 1 м<sup>2</sup> [7]

Таблица 1 – Силы действия воздушного потока на экран при различной скорости ветра

Номер п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость ветра	4	6	8	9	10	12	14	18	22
<i>v</i> , м/с									
<i>F</i> , Н	4	8,7	16	20	24	38	48	80	125
Момент	6,5	14	26	33	39	62	78	130	203
<i>M</i> , Нм									

Момент рассчитан из условия действия воздушного потока перпендикулярно плоскости флюгера. С целью снижения интенсивности рывков при ориентации навстречу воздушному потоку флюгер будет выполнен из двух плоскостей с расположением друг относительно друга под углом 20°.

**Результаты и обсуждения**

Механизм буревой защиты предназначен для снижения частоты вращения ВК при повышении скорости воздушного потока свыше скорости равной 9–10 м/с и выше. Частота вращения ВК для различных значений скорости ветра может быть определена по формуле (5) [7].

$$n = \frac{60 \cdot X \cdot v}{\pi \cdot D} \tag{5}$$

Для  $v_1 = 4$  м/с,

$$n_1 = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 4}{\pi \cdot 1,3} = 41 \text{ об/мин,}$$

Развиваемая генератором мощность при этой частоте вращения ВК может быть найдена из соотношения

100 об/мин – 300 Вт,  
41 об/мин – N<sub>1</sub>

Отсюда,

$$N_1 = \frac{41 \cdot 300}{100} = 123 \text{ Вт}$$

Аналогично выполнены расчеты для других скоростей ветра. Данные расчетов сведены в таблицу 2.



Таблица 2 – Развиваемая мощность при различной скорости ветра

Номер п.п.	1	2	3	4	5	6
Скорость ветра	4	6	8	9	10	12
$\vartheta$ , м/с						
Частота вращения ВК	41	62	82	93	103	123
$n$ , об/мин						
Развиваемая мощность	123	186	246	279	309	369
$N$ , Вт						

$$n_T = 103 \cdot 6 = 618 \text{ об/мин,}$$

Частота вращения ротора генератора незначительно превышает допустимую (600 об/мин).

$$n_T = 123 \cdot 6 = 738 \text{ об/мин,}$$

такое превышение частоты вращения ротора генератора не допустимо, т.к. может привести к выходу из строя генератора. Поэтому при скорости воздушного потока свыше 9–10 м/с необходимо обеспечить первоначальное и последующее отклонение экрана рычага буревой защиты.

Снижение частоты вращения ВК осуществляется за счет поворота лопастей на угол, больше номинального, равному предварительно принятому  $\alpha=15^\circ$  (из опыта эксплуатации ветроэнергетических установок малой мощности) [8, 9, 10, 11]. При повышении скорости воздушного потока свыше 9-10 м/с экран двуплечего рычага механизма буревой защиты отклоняется и перемещает вдоль оси вала ВК втулку с тягой, последняя, в свою очередь, перемещает тяговую «тарелку» с подшипниками, установленными на концах рычагов осей лопастей (на рисунке не показано). Чем больше скорость ветра, тем больше угол поворота лопастей, тем меньше частота вращения ВК. При скорости ветра больше 20–22 м/с лопасти поворачиваются на угол до  $90^\circ$ , т.е. они практически устанавливаются во флюгерное положение и ВК останавливается. В этом положении рычаг экрана, а следовательно, и лопасти, фиксируются до снятия с фиксатора вручную.

Далее выполним расчет мощности, создаваемой ветровым потоком, действующим на экран рычага буревой защиты, для различных скоростей воздушного потока.

$$\text{При скорости ветра } \vartheta_1 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad N_{\vartheta 1} = N \cdot S_{\vartheta} = 40 \cdot 0,35 = 14 \text{ Вт}$$

где  $N$  – табличное значение мощности, кВт/м<sup>2</sup>;

$$\text{при скорости ветра } \vartheta_2 = 6 \text{ м/с} \quad N_{\vartheta 2} = N \cdot S_{\vartheta} = 130 \cdot 0,35 = 46 \text{ Вт и т. д.}$$

$S_{\vartheta}$  площадь экрана, предварительно принята равной 0,35 м<sup>2</sup>.

Результаты расчета для всех значений  $\vartheta$  сведены в таблицу 3

Выполним расчет силы  $F_{\vartheta}$ , действующей на экран, по формуле

$$F_{\vartheta} = \frac{N_{\vartheta}}{\vartheta} \cdot S_{\vartheta},$$

$$F_{\vartheta 1} = \frac{14}{4} \cdot 0,35 = 1,2 \text{ Н, } F_{\vartheta 2} = \frac{46}{6} \cdot 0,35 = 2,7 \text{ Н и т.д.}$$

Расчетные значения силы  $F_{\vartheta}$  занесены в таблицу 3. Момент, создаваемый силой  $F_{\vartheta}$  на длине плеча  $l_2 = 0,873$  м (рисунок 1),

$$F_{\vartheta 1} = 1,2 \cdot 0,873 = 1,0 \text{ Нм, } F_{\vartheta 2} = 2,7 \cdot 0,873 = 2,4 \text{ Нм и т.д.}$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 3.

Для определения силы создаваемой возвратной пружиной, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \Sigma M_i = F_{\vartheta} \cdot l_2 - F_{\text{пр}} \cdot l_3 - F_T \cdot l_1 = 0 \\ \Sigma F_i = F_{\vartheta} - F_{\text{пр}} + F_T = 0 \end{cases}$$

где  $F_T$  – сила, необходимая для перемещения тяговой втулки и следующим за ним поворотом лопастей на угол от  $\alpha = 15^\circ$  (номинальный угол) до  $\alpha = 90^\circ$ .

Из уравнения II выражаем силу  $F_T$  через  $F_{\vartheta}$  и  $F_{\text{пр}}$  т.е.  $F_T = F_{\text{пр}} - F_{\vartheta}$ .

Подставляя в уравнение I это значение силы  $F_T$  и решая его относительно  $F_{\text{пр}}$ , получим:

$$F_{\text{пр}} = \frac{(l_2 + l_1) \cdot F_{\vartheta}}{l_3 + l_1} = \frac{(0,873 + 0,125) \cdot F_{\vartheta}}{0,328 + 0,125} = 2,2 \cdot F_{\vartheta}$$

Результаты расчета силы  $F_{\text{пр}}$  заносим в таблицу 3. Силу  $F_T$ , необходимую для перемещения тяговой втулки, определим из равенства  $F_T = F_{\text{пр}} - F_{\vartheta}$ . Результаты расчетов также занесем в таблицу 4. Действительная сила тяги  $F_{\text{ТД}}$  (без действия пружины) определялась экспериментально с помощью динамометра на опытном образце ветроэнергетической установки мощностью 0,3 кВт. Результаты измерений под буквенным символом занесены в таблицу 3. Значения углов поворота лопастей  $\alpha$  начиная с исходного равного  $\alpha = 15^\circ$  для полученных значений усилий  $F_{\vartheta}$  в центре экрана определялись экспериментально, путем задания нагрузки по динамометру и регистрацией углов  $\alpha$  с помощью угломера. Значения углов  $\alpha$  и соответствующие им удлинения  $h$  в мм предварительно подобранной пружины занесены в таблицу 3.

По расчетному значению усилия  $F_{\text{пр}}$  выполнены расчеты и подобраны параметры пружины:  $D = 15$  мм,  $d = 1,6$  мм,  $C = 0,88$  Н/мм, количество витков – 42, общая длина 63 мм, длина при максимальном растяжении 173 мм.

Частота вращения ВК при этом могла иметь недопустимо большое значение.

Таблица 4 – Результаты расчётов

Номер п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\vartheta, м/с$	4	6	8	9	10	12	14	18	22
$\rho, Вт$	14	46	109	160	214	400	585	1260	2188
$H$	1,2	2,7	4,9	6,2	7,5	11,7	14,6	26	34
	1	2,4	4,3	5,4	6,5	10,2	12,7	21,4	31
	2,2	6	10,8	13,6	16,5	26	32	54	85
	1,2	3,6	6	7,4	9	14,3	17,4	29,5	42
$h, мм$	0	0	11	14	18	30	39	68	84
$\alpha, град$	15	15	21	25	28	38	46	75	90
	3	4	4	8	8,5	8,5	16	20	26

### Выводы

Из приведенных в таблице цифровых значений видно, что при скорости ветра равной 8 м/с, расчетная сила тяги, равная  $F_T = 6$  Н, превышает действительную  $F_{ТД} = 4$  Н, что соответствует началу поворота лопастей на угол до  $21^\circ$ , начиная с номинального угла.

Далее значение угла поворота лопастей растёт, частота вращения ВК при этом падает. Резкое падение частоты вращения ВК будет иметь место при скорости ветра 18–20 м/с, при которой расчетное значительно превышает действительное, а угол поворота лопастей достигает предельных значений  $72^\circ$ – $90^\circ$ . При скорости ветра 21–22 м/с угол поворота достигает значения  $\alpha=90^\circ$ , т.е. лопасти устанавливаются во флюгерное положение, ВК останавливается, а рычаг экрана фиксируется в этом максимально отклоненном положении.

Следовательно, выбранная площадь экрана  $S_3 = 0,35$  м<sup>2</sup> обеспечивает правильное управление частотой вращения ВК.

Следует отметить, что выполнялся расчет параметров с применением экрана площадью  $S_3 = 0,25$  м<sup>2</sup>, поворот лопастей при этом начинался при скорости воздушного потока равном 10–12 м/с, что не допустимо, т.к. это может вызвать риск выхода из строя генератора.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Выступление Президента Республики Казахстан К.К. Токаева на международной конференции по достижению углеродной нейтральности. Официальный сайт Президента Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – <https://www.akorda.kz/ru/prezident-vystupil-na-mezhdunarodnoy-konferencii-podostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-1393134>.

2 **Лим, Н., Жанадилова, Ж., Чадьярова, Д., Ким, М.** PWC. First edition. Обзор рынка возобновляемых источников энергии в Казахстане : потенциал, проблемы и перспективы. – 2021.

3 **Mathivanan S., Amrith S., Jemshid A., Anvar Sadik N.** ETEDM. Проектирование и изготовление механизма перекачки воды с использованием энергии ветра. – Выпуск 9. – № 10. – 2021.

4 Использование ветроэнергетических установок малой мощности. Официальный сайт Глобального Совета по ветроэнергетике. – [электронный ресурс]. – <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021>.

5 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М., Христордов, А. А.** Выбор оптимального варианта формы и относительной площади лопасти ветрового колеса ветродоподъемной установки на основе моделирования // Наука и техника Казахстана. – 2013. – № 1–2. – С. 61–71.

6 **Шумейко, И. А., Касенов, А. Ж., Нуркимбаев, С. М.** Высокоэффективная ветроэнергетическая установка малой мощности с буревой защитой. // Вестник Торайгыров университета. Наука и техника Казахстана. Энергетическая серия – 2022. – № 3. – С. 224–243.

7 **Шефтер, Я. И.** Использование энергии ветра. – М. : «Энергия», 1983. – 201 с.

8 **Коваль, Ю. А., Шумейко, И. А.** №26174 «Бұрғылаумен қорғалған жел қозғалтқышы» өнертабысына патент.

9 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М.** «Повышение эффективности маломощных ветровых электрических установок», // Praha, Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2013. – 7 с.

10 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М., Касенов, А. Ж.** Выбор оптимального варианта формы и относительной площади лопасти ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности, // Республиканский журнал Труды университета – 2023 – № 2. – С. 25–33.

11 **Нуркимбаев, С. М., Шумейко, И. А., Итыбаева, Г. Т.** Исследование и обоснование параметров ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности различного назначения, // Республиканский журнал Труды университета – 2023 – № 3. – С. 72–78.

Принято к изданию 07.12.23.

### REFERENCES

1 Vy`stuplenie Prezidenta Respubliki Kazaxstan K. K. Tokaeva na mezhdunarodnoj konferencii po dostizheniyu uglerodnoj nejtral`nosti. Oficial`ny`j sajt Prezidenta Respubliki Kazaxstan [Speech by the President of the Republic of Kazakhstan K. K. Tokayev at the international conference on achieving carbon neutrality. Official website of the President of the Republic of Kazakhstan] [Electronic resource]. . – <https://www.akorda.kz/ru/prezident-vystupil-na-mezhdunarodnoy-konferencii-podostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-1393134>.

2 **Lim, N., Zhanadilova, Zh., Chadyarova, D., Kim, M.** PWC. First edition. Obzor ry`nka vozobnovlyaemy`x istochnikov e`nergii v Kazaxstane : potencial, problemy` i perspektivy` [PWC. First edition. Overview of the renewable energy market in Kazakhstan: potential, problems and prospects]. – 2021.

3 **Mathivanan S., Amritha S., Jemshid A., Anvar Sadik N.** ETEDM. Proektirovanie i izgotovlenie mexanizma perekachki vody` s ispol`zovaniem e`nergii

vetra [ETEDM. Design and manufacture of a water pumping mechanism using wind energy]. Issue 9 – № 10 – 2021.

4 Ispol'zovanie vetroe`nergeticheskix ustanovok maloj moshhnosti [The use of low-power wind power plants]. [electronic resource]. Official website of the Global Wind Energy Council <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021>.

5 Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M., Khristoforov, A. A. Vy`bor optimal`nogo varianta formy` i odnositel`noj ploshhadi lopasti vetrovogo koleasa vetrovodopod`emnoj ustanovki na osnove modelirovaniya [Choosing the optimal variant of the shape and relative area of the blade of the wind wheel of a wind-lifting installation based on modeling] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2013. – № 1–2. – P. 61–71.

6 Shumeyko, I. A., Kasenov, A. Zh., Nurkimbayev, S. M. Vy`sokoe`ffektivnaya vetroe`nergeticheskaya ustanovka maloj moshhnosti s burevoj zashhitoy [Highly efficient low-power wind power plant with storm protection] // Bulletin of Toraighyrov University. Science and Technology of Kazakhstan. Energy Series. – 2022. – № 3. – P. 224–243.

7 Shefter, Ya. I. Ispol'zovanie e`nergii vetra [The use of wind energy]. – Moscow : «Energy», 1983. – 201 p.

8 Koval, Yu. A., Shumeyko, I. A. [Patent for the invention «Wind turbine with storm protection»]. – № 26174.

9 Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M. «Povy`shenie e`ffektivnosti malomoshhny`x vetrovy`x e`lektricheskix ustanovok» [«Improving the efficiency of low-power wind power plants»]. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2013. – 7 p.

10 Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M., Kasenov, A. Zh. Vy`bor optimal`nogo varianta formy` i odnositel`noj ploshhadi lopasti vetrovogo koleasa vetroe`nergeticheskoy ustanovki maloj moshhnosti. [Choosing the optimal variant of the shape and relative area of the blade of the wind wheel of a low-power wind power plant] // Republican Journal Proceedings of the University. – 2023. – № 2. – P. 25–33.

11 Nurkimbayev, S. M., Shumeyko, I. A., Itybayeva, G. T. Issledovanie i obosnovanie parametrov vetrovogo koleasa vetroe`nergeticheskoy ustanovki maloj moshhnosti razlichnogo naznacheniya [Investigation and substantiation of the parameters of the wind wheel of a low-power wind power plant for various purposes] // Republican Journal Proceedings of the University. – 2023. – № 3. – P. 72–78.

Принято к изданию 07.12.23.

\*С. М. Нуркімбаев<sup>1</sup>, И. А. Шумейко<sup>2</sup>

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

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

### ЖЕЛ ДӨҢГЕЛЕГІНІҢ АЙНАЛУ ЖИЛІГІН ЖӘНЕ БҰРҒЫЛАУ ҚОРҒАНЫСЫН АВТОНОМДЫ РЕТТЕУ МЕХАНИЗМІН ЕСЕПТЕУ

*Шағын жел қондырғылары автономды қондырғылар ретінде де, басқа энергетикалық технологиялармен үйлескенде де автономды электрлендіруге және суды айдауға тартымды балама болып табылады.*

*Орнатудың жауапты қондырғыларының бірі-бұрғылау қорғанысы роторды жел ағынынан шығару немесе пышақтардың шабуыл бұрышы өзгерту және айналу жылдамдығын төмендету арқылы қамтамасыз етіледі.*

*Жел дөңгелегінің конструкциясындағы жұмыс тәжірибесіне сүйене отырып, периферияға қарай кішірейетін ойыс және ұзындығы бойынша шамалы бұрандалы пішіні бар қаңылтыр болаттан жасалған қалақтар қолданылады.*

*Мақалада желдің жоғары жылдамдығында жел дөңгелегінің айналу жиілігін төмендетуге арналған бұрғылау механизмінің жұмысы қарастырылады.*

*Желдің әр түрлі жылдамдығымен жел ағыны экранға және қалақ тарту жүйесі арқылы жел дөңгелегі белгілі бір бұрышқа бұрылып, ауа райына дейін (900) әсер етеді. Бұрғылаудан қорғаудың әзірленген механизмі желдің жылдамдығы 9–10 м/с жоғары болған кезде іске қосылады.*

*Механизмнің қалыпты жұмысын қамтамасыз ету үшін жел ағынынан пайда болатын қуатты есептеу орындалды, механизмді бастапқы күйге келтіретін серіппенің параметрлері анықталды.*

*Қондырғыны желдің дауыл екінінен қорғауды қамтамасыз ету және қондырғының сенімділігін арттыру болып табылатын техникалық нәтижеге қол жеткізілді.*

*Кілтті сөздер: айналу моменті, айналу жиілігі, жел дөңгелегі механизмі, бұрғылау механизмі, жел дөңгелегі, қалақ, бұрғылау қорғанысы.*

\*S. M. Nurkimbaev<sup>1</sup>, I. A. Shumeiko<sup>2</sup>

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

Accepted for publication on 07.12.23.

### CALCULATION OF THE MECHANISM OF AUTONOMOUS CONTROL OF THE WIND WHEEL ROTATION SPEED AND STORM PROTECTION

*Small wind power plants represent an attractive alternative to autonomous electrification and water pumping, both as stand-alone installations and in combination with other energy technologies.*

*One of the critical components of the installation is the storm protection provided either by removing the rotor from the wind flow, or by changing the angle of attack of the blades and reducing the rotation speed.*

*Based on operational experience, the design of the wind wheel uses blades made of sheet steel with a concavity decreasing to the periphery and with a slight helical shape along the length.*

*The article considers the operation of the storm protection mechanism designed to reduce the rotation frequency of the wind wheel at increased wind speeds.*

*At different wind speeds, the wind flow affects the screen and by means of a thrust system, the blades of the wind wheel turn at a certain angle, up to the weather vane position (90°). The developed storm protection mechanism comes into operation at wind speeds above 9–10 m/s.*

*To ensure the normal operation of the mechanism, the calculation of the power generated by the wind flow was performed, the parameters of the spring that brings the mechanism to its initial position were determined.*

*A technical result has been achieved, which consists in ensuring the protection of the installation from wind gusts and increasing the reliability of the installation.*

*Keywords: torque, rotation speed, wind wheel mechanism, wind protection mechanism, wind wheel, blade, wind protection.*

SRSTI 55.13.17

<https://doi.org/10.48081/WUTY7402>

**Y. Y. Shayakhmetov<sup>1</sup>, Y. T. Abilmazhinov<sup>2</sup>, D. K. Dukenbayev<sup>3</sup>,  
S. S. Shakhova<sup>4</sup>, \*R. A. Sovetbayev<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Shakarim University of Semey city, Republic of Kazakhstan, Semey;

<sup>5</sup>K. I. Satbayev Kazakh National Research Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

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

### **ALGORITHM FOR PREDICTING THE ROUGHNESS OF THE INNER SURFACE DURING TURNING PROCESS**

*The article analyzes the main technological factors affecting the quality of parts, specifically the quality of the treated surface or the roughness of the surface of the part. Turning (boring) was considered as an example, and a number of measures aimed at improving the quality of the surface at the design stage were also proposed. A simulation stochastic model of surface roughness shaping during surface turning was proposed. Based on this model, an algorithm and a computer program were developed to calculate the roughness at the design stage. The initial data for modeling are the main angle in the plan  $\phi$ , the auxiliary angle in the plan  $\phi_1$ , the radius at the tip of the cutter  $r$  and the feed  $S$ , as factors that most strongly affect the roughness during boring. An experiment was carried out, where not only average values were obtained, but also histograms of the distribution of roughness parameters, the adequacy of this model was proved. When calculating the roughness, additional factors were taken into account, for example, the condition of the machine, which made it possible to correct the simulation stochastic model and introduce vibration components associated with the forces acting during cutting and elastic squeezes of the cutter during boring process.*

*Keywords: turning processing, surface quality, surface roughness, imitating model, stochastic model.*

#### **Introduction**

The quality provision of detail surface with technological methods usually comes down to the processing technology, choice of the metal-cutting calculation of processing which can provide demanded parameters with the smallest expenses. Forecasting of processed surface quality of the detail on the projecting stage is an actual task as it allows minimizing probability of defecting products, to optimize cutting conditions, to avoid defect products and with these essentially to save means.

A host of reasons influence on the surface roughness formation: properties of detail material, condition and parameters of the machine, cutting tool, its geometry, processing type etc. And the forecast of the possible surface roughness after processing is carried out, as a rule, on the basis of mathematical modeling which being in any case only approximate to real process of the form building at boring, nevertheless, allows to receive very large volume of information and often can even be more exact than real model that

allows to replace with it expensive experiments. However, not all mathematical models as they are often heavy and difficult, are suitable for practical application, aspiring to cover as the bigger quantity of influencing elements is possible and to receive fuller information [1–4]. And here it is especially possible to note stochastic models allowing to consider casual parameterization on the basis of which it is possible to define not only demanded average output values of roughness parameters (in our case), but also to receive their vibration and accumulated distribution [5,6].

**Materials and methods**

The height of roughness (or height match mark of the micro profile of the processed surface) is closely connected with geometry of the cutter and some parameters of cutting modes and is increased at great values of S, φ, φ<sub>1</sub> and r<sub>b</sub> value reduction, and on the contrary. In reality, random factors influence on formation of the surface micro profile [7–9].

When turning, which includes boring; four main types of drawings are formed on the treated surface [10].

The initial data for modeling are the main angle in the plan φ, the auxiliary angle in the plan φ<sub>1</sub>, the radius at the tip of the cutter r and the feed S. Calculations by the formulas of roughness are quite labor-intensive therefore it is possible to use roughness calculations by means of numerical algorithms in the Excel program where match mark profile is in the form of tabular data presented. The height of such received profile thus any more will not be identical and integration is conducted within base length l. Thus it simplifies calculation, actually being imitating model of the form building microprofile of the processed surface and gives the open space for further modernization of the program by means of introduction of additional factors (random factors) influencing on the process of roughness formation. Proceeding from principles of stochastic modeling on initial parameters overlay influence of random factors; it is in particular fluctuations of tool parameters of the main angle in the plan φ, an auxiliary angle in the plan φ<sub>1</sub>, radius at top r. The normal law of distribution which was accepted is most suitable for a large number of influencing factors (1):

$$\begin{cases} f(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp\left(-\frac{(\varphi - \bar{\varphi})^2}{2\sigma_1^2}\right) \\ f(\varphi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp\left(-\frac{(\varphi_1 - \bar{\varphi}_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) \\ f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r}} \exp\left(-\frac{(r - \bar{r})^2}{2\sigma_r^2}\right) \end{cases} \quad (1)$$

All distributions parameters are defined according to the rule of three sigma (2):

$$\begin{aligned} \bar{\varphi} &= \frac{\varphi_{\max} + \varphi_{\min}}{2}; \quad \bar{\varphi}_1 = \frac{\varphi_{1\max} + \varphi_{1\min}}{2}; \quad \bar{r} = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2}; \\ \sigma_\varphi &= \frac{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}{6}; \quad \sigma_{\varphi_1} = \frac{\varphi_{1\max} - \varphi_{1\min}}{6}; \quad \sigma_r = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{6}; \end{aligned} \quad (2)$$

Thus, there is the determined model with a certain set of initial parameters on the basis of imitating stochastic model:

Initial parameters for calculation are:

- Maximum and minimum of the main angle in the plan φ;
- Maximum and minimum of auxiliary angle in the plan φ<sub>1</sub>;
- Maximum and minimum of the radius at the cutter top r;
- Maximum and minimum of cutting depth t;
- Feeding S;

The algorithm of imitating stochastic modeling was made on the basis of the data.

According to algorithm after input of basic data there is generation of casual variability of data j, j<sub>1</sub>, r, set number of calculations N (it is recommended not less than 100). On the well known restrictions (to r> 0 or r=0, values φ, φ<sub>1</sub>) is chosen match mark option after which match mark junction points are calculated on formulas and its profile is calculated, too. After match mark profile calculation there is its processing, and the program can calculate average values of roughness, their disorder and receive curve distribution density of each from parameters, in our case values R<sub>acp</sub>, R<sub>amax</sub>, Ramin and curves of the distribution range R<sub>a</sub>.

Taking into account all given above restrictions and on the basis of stochastic imitating model the program for modeling of roughness formation was created at boring of the internal surface, allowing at introduction of cutting parameters to predict numerical profile parameters of the processed surface, in particular distribution of Ra, Racp and some others. Modeling allows to reduce time and in many respects to reduce expenses on researches.

**Results and discussion**

Carrying out of adequacy estimation of model of stochastic imitating modeling and offered on the basis of algorithm of the computer program «Calculation of laws of parameters distribution of roughness at turning» is possible experimentally. The imitating stochastic model is created for turning processing of internal surface, it was allocated operation-internal surface turning 2, (Ø70, 5/Ø71,5)

Output data for modeling and experiment:

- type of processing – internal turning;
- the equipment – screw cutting lathe;
- fixing in the three-jaw self-centering chuck Ø315 mm;
- cutting tool – a cutter turning boring, tool section 25x25, total length L=200 mm; tool overhang l=70 mm;

- Geometry of cutting tool-main angle in the plan  $\varphi = 60^\circ$ , auxiliary angle in the plan  $\varphi_1=30^\circ$ , Radius at cutter top  $r=0,2$ ;
  - Geometry pointing errors of the tool before processing:  $j = 60 \pm 2,5^\circ$ ,  $\varphi_1=30^\circ \pm 2,5^\circ$ ,  $\varphi = 0,2^{+0,2}$  mm.
  - Cutting modes- feeding  $S=0,09^{1/4}/\text{min.}$ , depth of cutting on the side  $t=0,5$  mm, spindle turns at cutting  $n = 630$  t/min.;
  - Material of processed detail-steel 30.
- Processing of the batch of work pieces, all twelve, with the subsequent measurement of roughness of internal processed surface on profile meter was made.



Figure 1 – Production run of the processed details

During experiment after processing of each preparation the cutter was taken away and fixed again to the cutter holder of the machine for creation of setting error on the anglej. Three cutters with soldered plates from hard alloy metal T15K6 are used for approaching to real production; cutter change after processing of each feedstock, i.e. each cutter processed four feedstock.

After processing details on the machine with identical cutting modes were made measurements of twelve samples with usage of the profile meter SurfTest SJ-210 the producer the firm Mitutoyo (Japan), profilogram was taken from each sample. Data of measurements are entered in table 1.

Table 1 – Values of obtained at measurement roughness parameters Ra

No. sample	Ra (μm)	No. sample	Ra (μm)
1	1,710	7	1,690
2	1,634	8	1,524
3	1,577	9	1,451
4	1,533	10	1,449
5	1,689	11	1,780
6	1,507	12	1,733

The modeling of surface roughness formation for boring at these modes of cutting with application of geometrical parameters used at processing tool was made after carrying out the experiment. The imitating stochastic model and computer program developed on its basis «Calculation of laws of distribution parameters of roughness at boring» was applied to modeling.

At modeling processing conditions similar to our carried out experiment, it is necessary to consider equipment condition, namely screw cutting lathe 16K20 (Production Russia). The machine condition at visual survey is estimated as satisfactory, however the presence of vibrations when processing which will have certainly consequences for roughness formation of the surface which we should consider in the course of program The imitating stochastic model has to be corrected for calculation of vibrating component at roughness calculation and to make changes in it connected with forces operating at cutting and elastic cutting pressing at boring.

The calculation of cutting force at boring [7]:

$$P_z = 10C_p t^x S^y V^n K_p \quad (3)$$

According to the reference  $C_p = 300$ ,  $K_p=1,55$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

From data on processing cutting modes:  $t = 0,5$  mm,  $S = 0,09$  mm / run,  $n = 630$  run/min.,  $D = 71,5$ mm.

$$\text{From where } V = \frac{\pi D n}{1000} = 141 \text{ m/min. } P_z = 178 \text{ N.}$$

Elastic pressing can be calculated:

Flexural deformation of the cutter under the influence of cutting force:

$$\Delta z = P_z / C \quad (4)$$

Where, C– rigidity of technological system (N/mm).

Rigidity of the cantilevered beam:

$$C = \frac{3EJ}{L^3} \quad (5)$$

where E-elasticity module (for steel  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  n/m<sup>2</sup>); L – tool overhang ( $L = 0,07$  m); J– inertia moment of cutter section (cutter 25x25mm).

$$J = \frac{ab^3}{12} = 3,255 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Having substituted the obtained data in the formula (5) for rigidity calculation, we will receive  $C=5,98 \cdot 10^4$  N/mm.

Substituting  $P_z$  and C in the formula (4) we receive elastic pressing  $\Delta z \approx 3$  microns. The vibrating component of roughness is developed from making roughness from geometrical copying:

$$h_2 = \frac{h_2' \omega^2}{\omega^2 - \lambda^2}, \quad (6)$$

where  $\omega$  – frequency of free vibrations;  $\lambda$  – frequency of forced vibrations.

For calculation of frequency of free vibrations it is necessary to calculate the specified weight.

$$m = \frac{\rho \cdot a \cdot b}{f_0^2} \int_0^L \left[ \frac{Lx^2}{6EJ} \left( 3 - \frac{x}{L} \right) \right]^2 dx = 0,038 kg, \quad (7)$$

Where  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$  – steel density;  $f_0 = 1/C$  -maximum ratio of deflection.

Then frequency of free vibrations is equal to:  $\omega = \sqrt{C/m} = 39700 \text{ Hz}$

Frequency of forced vibrations is defined with run out details and frequency of its rotation:  $\lambda = 2n/60 \pi = 66 \text{ Hz}$ .

Because of the fact forced frequency on some orders are less than free,  $h_2 = h_2' = 0, 2 \cdot \Delta z = 0,6 \text{ microns}$ . Actually it means that distribution of values of roughness parameter will move towards increase at 0,6 microns.

After correction of the program, we enter known output data into the program for profile calculation of surfaces (fig. 2), further casual values of geometrical corners of cutter in the prescribed limits were generated, the profile match mark is calculated and expected values  $R_{acp}$ , distribution Ra and range of distribution parameter Ra (fig. 3) are received.

The distributions range (fig. 3) characterizes roughness variation and reasons of this variation: geometry errors of the tool and vibration.

input parameters		additional options	
Geometric parameters		Cutting modes	
$\Phi_{min}$	57,5	n=	630
$\Phi_{max}$	62,5	S=	0,09
$\Phi_{1min}$	27,5	d=	71,5
$\Phi_{1max}$	32,5	V=	2,358550685
$r_{min}$	0,2	K=	0
$r_{max}$	0,4		141,5130411
Calculation		number of sheets 200	

Calculation results										
the actual geometry of the cutting edge										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Phi$	60,95677	60,26307679	59,94349299	59,1934748	59,42964171	58,48185351	59,15058	59,24341	60,64355	59,84228
$\Phi_{1}$	29,8222	29,65898606	31,09626447	29,0700809	30,67102462	31,58245413	30,271084	30,58991	29,00462	29,55972
$r$	0,324871	0,248597238	0,235471806	0,26289908	0,322774102	0,307183247	0,3215193	0,343975	0,301328	0,290758
$h$	0,003132	0,004106775	0,004339871	0,00387992	0,003152262	0,003313954	0,0031647	0,002956	0,003379	0,003503
Topographic parameters										
Ra=	0,018144	0,018143594	0,018143594	0,01814359	0,018143594	0,018143594	0,0181436	0,018144	0,018144	0,018144
Sres	0,079267	0,079267131	0,079267131	0,07926713	0,079267131	0,079267131	0,0792671	0,079267	0,079267	0,079267
L	1,135629	1,135629445	1,135629445	1,13562945	1,135629445	1,135629445	1,1356294	1,135629	1,135629	1,135629

Figure 2 – Output data (screenshot) entered into the program for calculation

Note: Actually geometry of the cutter received by generation of their casual values in prescribed limits was defined in 200 options.

The distribution density is submitted to the normal law (check on criterion  $\chi^2$ ) with parameters  $R_{acp} = 1,488 \text{ microns}$ ,  $\sigma Ra = 0,105 \text{ microns}$ , these data are received as a result of calculation more than 200 roughness values for different cutters on the program.

Where parameter  $\sigma Ra$  is standard deviation or dispersion in the sampling population.

$$\sigma_{Ra} = \sqrt{\frac{\sum (Ra_i - R_{acp})^2}{n-1}} \quad (8)$$

On the rule of three sigma for normal law

$$R_{acp} - 3\sigma < Ra < R_{acp} + 3\sigma$$

$$1,173 \leq Ra \leq 1.803 \text{ microns.}$$

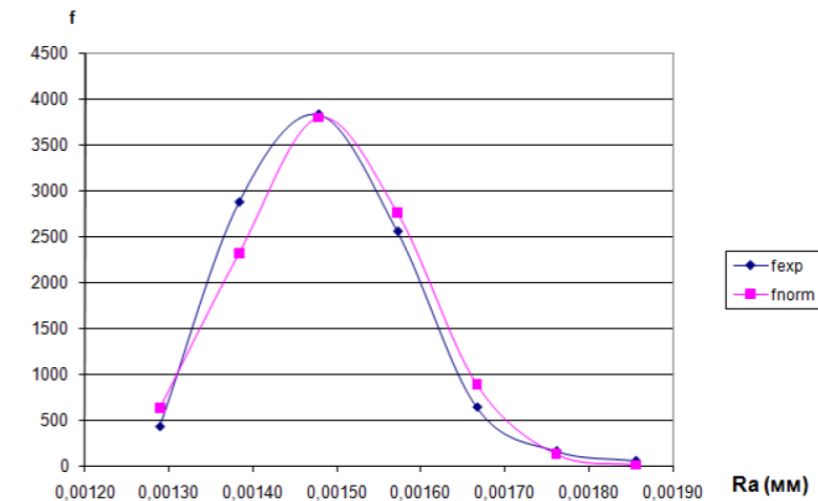


Figure 3 – Distribution range of the parameter Ra (mm) taking into account shift on vibration

Experimental data are kept within this range of the theoretical variation of roughness received by us that also confirms adequacy of model.

### Conclusion

1 A simulation stochastic model of roughness formation during turning of internal surfaces is proposed, taking into account various processing parameters, such as tool geometry, tool vibrations, parameters of cutting modes;

2 A program has been created to calculate the laws of distribution of roughness parameters during boring of the inner surface, theoretical data on the roughness spread have been obtained and its convergence with experimental data has been proved, which shows the adequacy of the computer program.

3 Received results allow approving that the imitating stochastic model of roughness formation is adequate to real process at internal surface boring and allows receiving not only average values, but also histograms of distribution of roughness parameters.

4 This also gives the chance to forecast roughness of the processed surface at projecting stage and correspondingly to select necessary cutting tools, equipments and cutting modes for achievement of necessary roughness.

## REFERENCES

- 1 **Shayakhmetov, Y., Mendebaev, T., Manezhanov, B., Temirtasov, O., Ibragimova, R., Abilmazhinov, Y.** Prediction of development prospects of roller support designs for conveyor systems // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. – № 17. – P. 38110–38115. – <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095040>.
- 2 **Manezhanov, B., Temirtasov, O., Shayakhmetov, Y., Shaikhanova, A., Abilmazhinov, Y., Mansurov, S.** Prospective design of conveyor rollers // *Research Journal of Applied Sciences*. – 2016. – № 5. – P. 197–201. – <https://doi.org/10.3923/rjasci.2016.197.201>.
- 3 **Kulinowski, P., Kasza, P., Zarzycki, J.** Influence of Design Parameters of Idler Bearing Units on the Energy Consumption of a Belt Conveyor // *Sustainability*. – 2021. – № 13 (1). – P. 437–450. – <https://doi.org/10.3390/su13010437>.
- 4 **Shayakhmetov, Y., Manesanov, B., Dildebaeva, Z., Shaikhanova, A., Kochan, R., Zawislak, S.** The loading computation algorithm on bearings of rollers of belt conveyor // *Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. – 2017. – № 2. – P. 584–589. – <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095040>.
- 5 **Denkena, B., Dittrich, M., Huuk, J.** Simulation-based surface roughness modelling in end milling // *Paper presented at the Procedia CIRP*. – 2021. – № 99. – P. 151–156. – <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.096>.
- 6 **Voronov, S. A., Kiselev, I. A., Voronova, I. S.** A stochastic model of plane grinding dynamic for the texture formation analysis // *Vibroengineering Procedia*. – 2021. – P. 185–192. – <https://doi.org/10.21595/vp.2021.22096>.
- 7 **Суслов, А. Г., Шалыгин, М. Г., Кузнецов, С. В.** Исследование поверхностей с различной механической обработкой на уровне субшероховатости // *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. – 2015. – № 9. – С. 45–47.
- 8 **Deepanraj, B.** Investigation and Optimization of Machining Parameters Influence on Surface Roughness in Turning AISI 4340 Steel // *FME Transactions*. – 2020. – № 2. – P. 383–390. – <https://doi.org/10.5937/FME2002383B>.
- 9 **Verma, V., Kumar, J., Singh, A.** Optimization of Material Removal Rate and Surface Roughness in Turning of 316 Steel by using Full Factorial Method // *Materials Today*. – 2019., – № 25. – P. 793–798. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.029>.
- 10 **Serebrennikova, A. G., Savilov, A. V.** A Study of Effects of the Cutting Tool Geometry on the Output Parameters when Turning VT22 Titanium Alloy // *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering*. – 2021. – P. 642–649. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_76](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_76).

## REFERENCES

- 1 **Shayakhmetov, Y., Mendebaev, T., Manezhanov, B., Temirtasov, O., Ibragimova, R., Abilmazhinov, Y.** Prediction of development prospects of roller support designs for conveyor systems // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. – № 17. – P. 38110–38115. – <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095040>.
- 2 **Manezhanov, B., Temirtasov, O., Shayakhmetov, Y., Shaikhanova, A., Abilmazhinov, Y., Mansurov, S.** Prospective design of conveyor rollers // *Research Journal of Applied Sciences*. – 2016. – № 5. – P. 197–201. – <https://doi.org/10.3923/rjasci.2016.197.201>.
- 3 **Kulinowski, P., Kasza, P., Zarzycki, J.** Influence of Design Parameters of Idler Bearing Units on the Energy Consumption of a Belt Conveyor // *Sustainability*. – 2021. – № 13 (1). – P. 437–450. – <https://doi.org/10.3390/su13010437>.
- 4 **Shayakhmetov, Y., Manesanov, B., Dildebaeva, Z., Shaikhanova, A., Kochan, R., Zawislak, S.** The loading computation algorithm on bearings of rollers of belt conveyor. *Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. – 2017. – № 2. – P. 584–589. – <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095040>.
- 5 **Denkena, B., Dittrich, M., Huuk, J.** Simulation-based surface roughness modelling in end milling // *Paper presented at the Procedia CIRP*. – 2021. – № 99. – P. 151–156. – <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.096>.
- 6 **Voronov, S. A., Kiselev, I. A., Voronova, I. S.** A stochastic model of plane grinding dynamic for the texture formation analysis // *Vibroengineering Procedia*. – 2021. – P. 185–192. – <https://doi.org/10.21595/vp.2021.22096>.
- 7 **Suslov, A. G., Shalygin, M. G., Kuznecov, S. V.** Issledovanie poverxnostej s razlichnoj mexanicheskoj obrabotkoj na urovne [Study of surfaces with various mechanical treatments at the sub-roughness level] // *Science-intensive technologies in mechanical engineering*. – 2015. – № 9. – P. 45–47.
- 8 **Deepanraj, B.** Investigation and Optimization of Machining Parameters Influence on Surface Roughness in Turning AISI 4340 Steel // *FME Transactions*. – 2020. – № 2. – P. 383–390. – <https://doi.org/10.5937/FME2002383B>.
- 9 **Verma, V., Kumar, J., Singh, A.** Optimization of Material Removal Rate and Surface Roughness in Turning of 316 Steel by using Full Factorial Method // *Materials Today*. – 2019., – № 25. – P. 793–798. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.029>.
- 10 **Serebrennikova, A. G., Savilov, A. V.** A Study of Effects of the Cutting Tool Geometry on the Output Parameters when Turning VT22 Titanium Alloy // *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering*. – 2021. – P. 642–649. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_76](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_76).

Accepted for publication on 06.11.23.



*Е. Я. Шаяхметов<sup>1</sup>, Е. Т. Әбілмәжінов<sup>2</sup>, Д. К. Дүкенбаев<sup>3</sup>,  
С. С. Шахова<sup>4</sup>, \*Р. А. Советбаев<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

Қазақстан Республикасы, Семей қ. ;

<sup>5</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық

Зерттеу Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Басып шығаруға 06.11.23 қабылданды.

### ТОКАРЛЫҚ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ ІШКІ БЕТТІҢ КЕДІР-БҰДЫРЫН БОЛЖАУ АЛГОРИТМІ

*Мақалада бөлшектердің сапасына, атап айтқанда, өңделген беттің сапасына немесе бөлік бетінің кедір-бұдырына әсер ететін негізгі технологиялық факторларға талдау жасалады. Мысал ретінде токарлық өңдеу (жонып өңдеу) қарастырылды, сонымен қатар жобалау кезеңінде бет сапасын жақсартуға бағытталған бірқатар шаралар ұсынылды. Токарлық өңдеу кезінде беттің кедір-бұдырлығының пайда болуының имитациялық стохастикалық моделі ұсынылды. Осы модель негізінде, жобалау кезеңінде кедір-бұдырлықты есептеу үшін алгоритм мен компьютерлік бағдарлама жасалды. Модельдеудегі бастапқы деректері, жонып өңдеу кезінде кедір-бұдырлыққа ең көп әсер ететін факторлар ретінде, пландағы негізгі бұрыш  $\varphi$ , пландағы көмекші бұрыш  $\varphi_1$ , кескіштің жоғарғы жағындағы радиус  $r$  және азықтандыру  $S$  болып табылады. Эксперимент жүргізілді, онда тек орташа мәндер ғана емес, сонымен қатар кедір-бұдырлық параметрлерінің таралу гистограммалары алынды, оған қоса, бұл модельдің сәйкестігі дәлелденді. Кедір-бұдырды есептеу кезінде қосымша факторлар ескерілді, мысалы, машинаның күйі, бұл Имитациялық стохастикалық модельді түзетуге және кесу кезінде әсер ететін күштермен және кесу кезінде кескішті серпінді қысумен байланысты діріл компоненттерін енгізуге мүмкіндік берді.*

*Кілтті сөздер: токарлық өңдеу, беттің сапасы, беттің кедір-бұдырлығы, имитациялық модель, стохастикалық модель.*

*Е. Я. Шаяхметов<sup>1</sup>, Е. Т. Әбілмәжінов<sup>2</sup>, Д. К. Дүкенбаев<sup>3</sup>,  
С. С. Шахова<sup>4</sup>, \*Р. А. Советбаев<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Университет имени Шакарима г. Семей, Республика Казахстан, г. Семей ;

<sup>5</sup>Казахский национальный научно-исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

Принято к изданию 06.11.23.

### АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

*В статье проведен анализ основных технологических факторов, влияющих на качество деталей, а конкретно на качество обработанной поверхности или шероховатость поверхности детали. В качестве примера была рассмотрена токарная обработка (расточивание), а также предложен ряд мер, направленных на повышение качества поверхности еще на этапе проектирования. Была предложена имитационная стохастическая модель формирования шероховатости поверхности при токарной обработке поверхности. На основе этой модели был разработан алгоритм компьютерная программа для расчета шероховатости на этапе проектирования. Исходными данными при моделировании являются главный угол в плане  $\varphi$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ , радиус при вершине резца  $r$  и подачу  $S$ , как факторы наиболее сильно влияющие на шероховатость при растачивании. Проведен эксперимент, где были получены не только средние значения, но и гистограммы распределения параметров шероховатости, доказана адекватность данной модели. При проведении расчета шероховатости были учтены дополнительные факторы, например состояние станка, что позволило скорректировать имитационную стохастическую модель и внести вибрационные составляющие, связанную с силами, действующими при резании и упругими отжатами резца при растачивании.*

*Ключевые слова: токарная обработка, качество поверхности, шероховатость поверхности, имитационная модель, стохастическая модель.*

МРНТИ 53.03.05

<https://doi.org/10.48081/OWQK4194>**\*Л. А. Бекбаева<sup>1</sup>, А. М., Макашева<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.\*e-mail: [lyazzat.bekbayeva@mail.ru](mailto:lyazzat.bekbayeva@mail.ru)**НАТРИЙ ХЛОРИДИНІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ  
ТҮТҚЫРЛЫҒЫНЫҢ ТЕМПЕРАТУРАҒА  
ТӘУЕЛДІЛІГІНІҢ КЛАСТЕРЛІ-АССОЦИАТТЫҚ МОДЕЛІ**

Мақалада авторлар күрделі бейорганикалық зат – натрий хлориді тұтқырлығының температураға тәуелділігін алды және ұсынылған математикалық модельді тексерді.

Тұтқырлық сұйықтықтың қозғалыста және тыныштықта болатын хаосқа сезімтал қасиеті ретінде қарастырылады. Тұтқырлықтың математикалық моделі Больцманның таралуы мен ретсіз қозғалатын бөліктер тұжырымдамасын қолдану арқылы жасалды. Осы негізде тұтқырлықтың иерархиялық кластерлі-ассоциаттық моделі құрылды, ол тек бастапқы кластерлердің түзілуін ғана емес, сонымен қатар кластерлердің ассоциациялану дәрежесін анықтау мүмкіндігімен оларға қатысы бойынша екінші ретті ассоциаттарды да ескереді.

Кластерлі-ассоциаттық модельді эксперименттік деректерге бейімдеу үшін модельдің белгісіз параметрлерін анықтау үшін деректерді өңдеудің белгілі бір әдістері жасалды. Тұтқырлық бойынша деректерді өңдеу әдісі барлық жиынтық ішінен тек үш негізгі нүктелерді қолдана отырып, ассоциаттардың агрегация дәрежесі көрсеткішін анықтауға мүмкіндік береді.

Натрий хлоридінің тұтқырлығы бойынша деректерді өңдеу кезінде анықтамалық шамалармен есептелген шамаларды салыстырғанда корреляцияның жоғары коэффициенті анықталды, бұл жаңа тәуелділіктің адекваттылығын, барабарлығын көрсетеді. Берілген модель натрий хлориді тұтқырлығының әрекетін әлдеқайда жоғары температуралар аймағында болжауға мүмкіндік береді. Тұтастай тұтқырлыққа және ассоциаттардың бұзылу динамикасына сәйкес, температураның жоғарылауымен кластерлердің ассоциация дәрежесі төмендейді.

Кілтті сөздер: Больцманның таралуы, динамикалық тұтқырлық, хаотикалық бөліктер, ассоциат, кластер, натрий хлориді.

**Кіріспе**

Сұйық металдардың [1] тұтқырлығы үшін арналған өрнектеу сұйықтық теориясына негізделген теориялық модельді қолдану арқылы алынды. Теңдеу

будың таралу функциясы және уақыт бойынша орташаланған атомаралық жиілік сияқты фундаменталды физикалық параметрлер тұрғысынан өрнектеледі. Теңдеу тұтқырлық бойынша эксперименттік деректерді сәтті шығарады.

Құю кезінде тұтқырлық металдардың маңызды реологиялық қасиеті болып табылады [2], өйткені ол сұйық металдардың тасымалдану жылдамдығын реттейді, бұл құйма ақауларына әкелуі мүмкін, мысалы, қыздыру кезінде жырытылу және кеуектілік. Бұл мақалада бүгінгі күнге дейін жарияланған сұйық және жартылай қатты күйдегі металдардың тұтқырлығын өлшеу әдістері мен сандық модельдеріне шолу берілген. Эксперименттік өлшемдердің көпшілігі айналмалы және тербелмелі вискозиметрлер арқылы жүзеге асырылды, бұл әсіресе тұтқырлықтың төмен мәндерінде артықшылықтар береді. Тұтқырлықты өлшеудің осы екі дәстүрлі әдісінен басқа, бірнеше зерттеулер жартылай қатты күйдегі қорытпаларды изотермиялық қысу әдісін, тіпті шлактардың тұтқырлығының оптикалық негізділігін анықтау әдісін де енгізді. Сандық модельдерге келетін болсақ, жарияланған нәтижелердің көпшілігі сұйық және жартылай қатты металдардың тұтқырлығын Аррениус, Андраде, Каптай немесе Будаи-Бемка-Каптай теңдеулерімен сипаттауға болатындығын көрсетеді. Сонымен қатар, күш моделі және кернеу-деформацияның изотермиялық моделі сияқты бірнеше балама модельдер бар.

Тұтқырлық - аққыш сұйық металдың сипаттамаларын анықтай алатын және ликвидус құрылымын көрсететін маңызды [3] қасиет. Сондықтан тұтқырлықтың эксперименттік мәнін калибрлеу үшін нақты модельдің болуы қажет. Қазіргі уақытта таза сұйық металдың тұтқырлығын, тұтқырлықтың температураға тәуелділігін және көп компонентті қорытпа жүйелерінің тұтқырлығын бағалау үшін көптеген модельдер ұсынылған. Бұл мақалада бірқатар танымал модельдер келтірілген, сонымен қатар олардың фундаменталды, іргелі модельдеу теориясы, модель сипаттамалары және қолданылуы жеткілікті түрде талқыланады. Таза сұйық металдың тұтқырлығын болжауда өте сәтті болған жалпы жартылай эмпирикалық модельдер екі тармаққа бөлінеді: Andrade және Eyring. Балкыманың тұтқырлығын болжаудың жалпы көп өлшемді модельдері негізінен термодинамикалық параметрлерді біріктіретін және жақсы сенімділікті қамтамасыз ететін негізгі молекулалық теория әдісіне негізделген. Финалда фазалық диаграммадағы тұтқырлықты болжаудың сәйкес моделі болашақта болжаудың тәуелсіз жалпы теңдеуін алмастыру ықтималдығы жоғары деп күтілуде.

Тұтқырлық және электр өткізгіштік [4] сұйық металдар мен қорытпалардың құрылымдық сезімтал тасымалдау қасиеттері ретінде балқу және катаю процестерін модельдеу үшін маңызды. Тұтқырлық пен электр өткізгіштік деректері қоспалардың сұйық күйдегі құрылымдық өзгерістерді түсіну үшін пайдалы сұйық металл матрицасының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсері туралы қосымша ақпарат береді. Бұл жұмыста Sn-3,8 Ag-0,7 Cu сұйық қорытпасының тұтқырлығы мен электр өткізгіштігіне шамалы Co қоспаларының әсері зерттелді. Co шамалы қосындылары кезінде тұтқырлықтың жоғарылауы термодинамикалық тәсілдер арқылы алынған болжамды модельдік деректерге қанағаттанарлық

түрде сәйкес келеді және атомаралық өзара әрекеттесудің айтарлықтай әсерін болжайды. Кобальт қоспалары электр өткізгіштікке айтарлықтай әсер етеді, ол Со мөлшерінің жоғарылауымен біртіндеп төмендейді. Сонымен қатар, үлгінің микроқұрылымы рентген құрылымдық талдау және сканерлеуші электронды микроскопия арқылы зерттелді. Құрамында Со 1 мас. % асатын қорытпаларда Sn негізінде Со-Sn интерметалл қосылыстарының түзілуі анықталды.

Құю үрдістерін модельдеу [5] математикалық модельдерге дұрыс берілуі үшін таңдалған қорытпалардың термофизикалық қасиеттері туралы нақты ақпаратты қажет етеді. Осындай қасиеттердің бірі-таза сұйық металдар мен қорытпалардың тұтқырлығы, оны әдебиетте эксперименттік деректер ретінде табуға немесе теориялық модельдер арқылы есептеуге болады. Дегенмен, кейбір таза металдар үшін эксперименттік деректер мен модельдеу нәтижелері арасында айтарлықтай алшақтық жиі кездеседі, бұл эксперименттік өлшенген мәндерден екі есе көп. Әдебиеттерде бірнеше модельдерді табуға болады, мысалы, Аррениус типті теңдеулер түрінде, олар көрінетін активтену энергиясын және экспоненциалды тұрақты параметрлерді анықтау мақсатымен тәжірибиелік деректердің қолжетімділігіне тәуелді. Сонымен қатар, Андраде теңдеуіне және оның кенеюіне негізделген модельдер айқын активтену энергиясымен және еркін көлем концепциясымен жұмыс істеу үшін әдетте тек термодинамикалық мәліметтерге, яғни молярлық массаға, молярлық көлемге, тұтқыр ток активтенуінің Гиббс энергиясына, Гиббс энергиясына және қорытпа компоненттерінің түзілу энтальпиясына және молярлық үлестеріне тәуелді. Аррениус типті теңдеумен, таза металдарға арналған Каптай және Такахира модельдерімен, сондай-ақ Аррениус типті теңдеумен, Каптай моделімен және көп компонентті қорытпаларға арналған осы тәсілмен ұсынылған модельдер арасында салыстырулар жасалды. Модельдеу нәтижелері таза сұйық металдарға (Al, Cu, si және Mg) және Al негізіндегі үштік және төрттік коммерциялық қорытпаларға арналған әдебиеттерден алынған тәжірибелік тұтқырлық деректерімен салыстырылады. Көп компонентті қорытпаларға арналған ұсынылған тәсіл эксперименттік таралулармен және қарастырылған барлық жағдайларға арналған Каптай моделімен жақсы сәйкес келетіні көрсетілген.

Жартылай қатты металдарды өңдеу (SSMP) [6] құю технологиясында ақаулары аз жоғары сапалы өнімді өндірудің тамаша әдісі болып табылады. Тұтқырлық-SSMP өтімділігін сипаттау үшін ең маңызды физикалық және химиялық қасиет. Қазіргі уақытта жартылай қатты металдардың тұтқырлығын бағалаудың бірнеше теориялық және эксперименттік тәсілдері бар. Авторлар бұл мақалада SSMP үшін бір нүктелі және көп нүктелі вискозиметрияны жан-жақты қарастырды. Содан кейін SSMP-де қолдану үшін әртүрлі вискозиметрлердің сипаттамалары, ұқсастықтары мен шектеулері салыстырылды. SSMP тұтқырлығына әсер ететін факторлардың әсері де атап өтілді. Дендритті емес сфералық микроқұрылымның маңыздылығы және SSMP кезінде қатты бөлшектердің шашырауынан туындаған тұтқырлықтың лезде төмендеуі түсіндірілді. Зерттеу зерттеушіге SSMP кезінде тұтқырлықты өлшеудің ең жақсы әдісін анықтауға көмектеседі деп күтілуде.

[7] жұмыс авторлары Ni нанобөлшектерінің кішігірім қоспаларының Sn-3.0 Ag-0.5 Cu (SAC305; мас.%) сұйық қорытпасының динамикалық тұтқырлығына әсерін зерттеді. Нанокөмпозит үлгілері коммерциялық SAC305 ұнтағы мен Ni нано ұнтағынан суық басу арқылы алынды. Қыздыру және салқындату кезінде өлшенген 100–xNi қорытпаларының динамикалық тұтқырлығы (Sn96,5Ag3,0Cu0,5) балқу температурасынан 100 К жоғары температура диапазонында гистерезис көрсетті. Бұл қыздырылған кезде Sn негізіндегі сұйық матрицада Ni нанобөлшектерінің еруінен туындаған құрылымдық түрлендірулерге байланысты деп болжанады. 100–xNi (Sn96,5Ag3,0Cu0,5) қорытпаларының тұтқырлығының тәжірибиелік мәндері термодинамикалық тәсілдерді қолдана отырып, есептік деректермен жақсы үйлеседі.

Cu85In11Sn4, Cu80In15Sn5, Cu75In15Sn10, Cu55In7Sn38, Cu33In50Sn17 және Cu26In55Sn19 сұйық қорытпалардың тұтқырлығын өлшеу [8] жұмыста тербелмелі шыны әдісімен орындалды. Cu-In-Sn сұйық қорытпаларының тұтқырлығының алынған температуралық тәуелділіктері Аррениус түріндегі экспоненциалдық теңдеуіне сәйкес тұтқырлық мәндерінің төмендеуін және температураның жоғарылауын көрсетеді. Динамикалық тұтқырлық коэффициенті 1073 К кезінде Cu85In15-In15Sn85, Cu-In75Sn25 және In-Cu60Sn40 үшеуі үшін бірқатар термодинамикалық модельдер арқылы есептелді. Тәжірибиелік және есептік деректер арасында қанағаттанарлық сәйкестік табылды.

Монография авторлары [9] хаотикалық бөлшектер тұжырымдамасына негізделген қарапайым заттар үшін сұйық күйдің толық диапазонындағы температурадан тұтқырлықтың жаңа тәуелділіктерін жасады. Осы тұжырымдамаға сәйкес, Больцманнның фундаменталды таралуына сәйкес, тұтқыр ағын кластерлер арасындағы ван-дер-ваальс тартылыс күштерін жеңу арқылы ассоциаттарды бұзу ретінде қарастырылады, бұл негізінен тұтқыр ағым туралы қолданыстағы идеяларға қайшы келмейді және жаңа тәуелділікке бағынады [10, 11]:

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^a = a_2 (T_2/T)^b, \quad (1)$$

мұндағы  $\eta_1$  –  $T_1$  (К) тиісті температурадағы динамикалық тұтқырлықтың анықтамалық нүктесі;  $a$  – кластерлер ассоциациялануының дәрежесі,  $b$ -кластерлер ассоциациялану дәрежесінің төмендеу өлшемі.  $a$  және  $b$  көрсеткіштерін анықтау үшін  $\eta_2$ ,  $T_2$  және  $\eta_3$ ,  $T_3$  екінші және үшінші негізгі анықтамалық нүктелер болу керек

$$a = a_2 (T_2/T)^b \quad (2)$$

$$a_2 = \frac{\ln(\eta_2/\eta_1)}{\ln(T_1/T_2)}, \quad (3)$$

$$a_3 = \frac{\ln(\eta_3/\eta_1)}{\ln(T_1/T_3)}. \quad (4)$$

$$b = \frac{\ln(a_3/a_2)}{\ln(T_2/T_3)} \quad (5)$$

Анықтамалық нүктелерді  $\eta_i, T_i$  тәжірибиелік массивінің басында, ортасында және соңында сәйкесінше таңдаған жөн. Бұл жағдайда бүкіл эксперименттік массивті өндемей-ақ,  $a_2, a_3$  және  $b$  есептеуімен (1) модельге қажетті шамаларды әрі қарай енгізе отырып және корреляция коэффициенті бойынша барлық эксперименттік мәндермен салыстыру үшін  $\eta$  есептеумен шектелуге болады.

Қарапайым ғана емес, сонымен қатар күрделі заттар үшін кластерлі-ассоциаттық моделінің динамикалық тұтқырлығын барабар көрсетуінің мысалы ретінде біз түсті металл концентраттарын өндеуде реагент ретінде, сонымен қатар тамақ өнеркәсібінде, техникада, медицинада, каустикалық сода, сода өндіру үшін кеңінен қолданылатын натрий хлориді бойынша талдау жүргіземіз.

**Теориялық талдау**

Натрий хлориді кейінгі жұмыста келесі мәліметтермен ұсынылған [12]: балку температурасы  $T_m = 1074$  К, және қайнау температурасы  $T_b = 1738$  К. Бұл деректер әрі қарай есептеу үшін алынды.

Берілген анықтамалық деректер жиынтығынан  $\eta_i, T_i$  [12,13]  $T_1 = 1123$  К,  $\eta_1 = 1,275$  мПа·с;  $T_2 = 1190$  К,  $\eta_2 = 0,95$  мПа·с;  $T_3 = 1248$  К,  $\eta_3 = 0,752$  мПа·с ретінде негізгі нүктелер таңдалды. (2)-(5) формулалар арқылы  $a_2 = 5,0775$ ,  $b = 0,3124$  мәндері есептелді және (1) модельге сәйкес есептелген тұтқырлық тендеуі алынды:

$$\eta = 1,275 \left(\frac{1123}{T}\right)^{5,0775} (1190/T)^{0,3124}, \text{ мПа}\cdot\text{с} \quad (6)$$

Осы тендеу бойынша есептеу нәтижелері кластерлердің ассоциациялану дәрежесінің температураға тәуелділігін есептеулерімен бірге

$$a = 5,0775 (1190/T)^{0,3124} \quad (7)$$

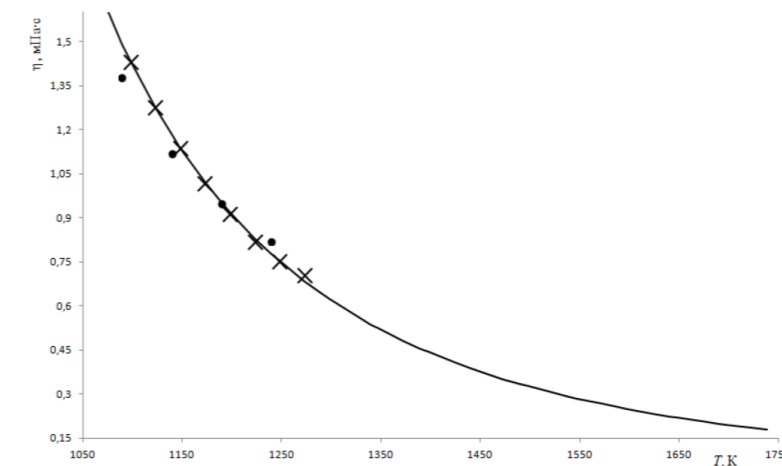
1-кестеде және 1-суретте [12,13] тұтқырлығы бойынша анықтамалық деректермен салыстыра отырып келтірілген.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау**

Кестелік және графикалық мәліметтерге сүйене отырып, ұсынылған модель (6) қарастырылып отырған диапазондардағы анықтамалық шамаларға толық сәйкес келеді, бұл сызықтық емес көпше корреляция коэффициентімен салыстырудың статистикалық сипаттамаларымен расталады [14,15]:  $R = 0,989$ , оның маңыздылығымен  $t_R = 43,261 \gg 2$ , бұл натрий хлоридінің сұйық күйін толық сипаттау үшін (6) тәуелділікті ұсынуға мүмкіндік береді, бұл тұтқырлықтың температураға тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық моделіне тән [9].

Кесте 1 – Сұйық натрий хлоридінің динамикалық тұтқырлығы бойынша анықтамалық [12,13] және (6) есептелген деректер

T, К	$\eta$ [12], мПа·с	$\eta$ [13], Па·с	$\eta$ (6), Па·с	a	T, К	$\eta$ [12], мПа·с	$\eta$ [13], Па·с	$\eta$ (6), Па·с	a
1074	-	-	1,611	5,243	1423	-	-	0,409	4,802
1090	1,38	-	1,490	5,219	1440	-	-	0,388	4,784
1098	-	1,432	1,434	5,207	1448	-	-	0,379	4,776
1123	-	1,275	1,275	5,170	1473	-	-	0,351	4,750
1140	1,12	-	1,180	5,146	1490	-	-	0,334	4,733
1148	-	1,138	1,139	5,135	1498	-	-	0,327	4,725
1173	-	1,017	1,021	5,100	1523	-	-	0,304	4,701
1190	0,95	-	0,950	5,078	1540	-	-	0,290	4,685
1198	-	0,912	0,919	5,067	1548	-	-	0,284	4,677
1223	-	0,82	0,830	5,034	1573	-	-	0,266	4,654
1240	0,82	-	0,776	5,013	1590	-	-	0,254	4,638
1248	-	0,752	0,752	5,003	1598	-	-	0,249	4,631
1273	-	0,704	0,684	4,972	1623	-	-	0,234	4,608
1290	-	-	0,642	4,951	1640	-	-	0,224	4,593
1298	-	-	0,623	4,942	1648	-	-	0,220	4,586
1323	-	-	0,570	4,912	1673	-	-	0,207	4,565
1340	-	-	0,537	4,893	1690	-	-	0,199	4,551
1348	-	-	0,523	4,884	1698	-	-	0,195	4,544
1373	-	-	0,480	4,856	1723	-	-	0,184	4,523
1390	-	-	0,454	4,837	1738	-	-	0,178	4,511
1398	-	-	0,443	4,828					



Сурет 1 – Температуранан сұйық натрий хлоридінің динамикалық тұтқырлық тәуелділігі. Нүктелер – анықтамалық деректер [12], кресттер – анықтамалық деректер [13], сызық – (5) бойынша

**Қорытынды**

Сұйық натрий хлориді үшін динамикалық тұтқырлықтың температураға тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық моделі алғаш рет әзірленді, ол эксперименттік деректерді барабар сипаттайды.

Кластерлі-ассоциаттық модельдің артықшылығы – қайнау температурасына дейін жоғары температураларда да, сонымен қатар төмен температураларда да тұтқырлықтың мінез-құлқын болжау мүмкіндігі. Сұйық натрий хлоридінің динамикалық тұтқырлығының температураға тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық моделін сенімді экстраполяциясыменен, оны қайнау және балқу температурасы аймағында сұйық күйдің барлық диапазонында пайдалануға мүмкіндік береді.

Тұтқырлықтың температуралық тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық моделінде балқымалардың құрамына ешқандай шектеулер жоқ деп санауға болады, бұл оны кез-келген заттарға қолдану перспективасын ашады

**ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Lida T., Guthrie R. I. L., Morita Z.** An equation for the viscosity of liquid metals // Canadian Metallurgical Quarterly. – 2016. – V. 27(1). – P. 1–5. – <https://doi.org/10.1179/cmq.1988.27.1.1>.

2 **Cheng J., Grobner J., Hort N., Kainer K. U., Schmid-Fetzer R.** Measurement and calculation of the viscosity of metals - A review of the current status and developing trends // Measurement Science and Technology. – 2014. – V. 25(6). – N. 062001. – <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/6/062001>.

3 **Shanchao Gao, Kexin Jiao, Jianliang Zhang.** Review of viscosity prediction models of liquid pure metals and alloys // Philosophical Magazine. – 2019. – V. 99(7). – P. 853–868. <https://doi.org/10.1080/14786435.2018.1562281>.

4 **Yakymovych A., Sklyarchuk V., Plevachuk Yu., Sokoliuk B.** Viscosity and Electrical Conductivity of the Liquid Sn-3.8Ag-0.7Cu Alloy with Minor Co Admixtures // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2016. – V. 25(10). – P. 4437–4443. – <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2297-8>.

5 **Ferreira I. L., de Castro J. A., Garcia A.** On the prediction of temperature-dependent viscosity of multicomponent liquid alloys // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019. – V. 31(5). – P. 1369–1385. – <https://doi.org/10.1007/s00161-019-00753-7>.

6 **Megalingam A., Ahmad A.H.B., Maarof M.R.B., Sudhakar K.** Viscosity measurements in semi-solid metal processing: current status and recent developments // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – V. 119. – P. 1435–1459. – <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08356-w>.

7 **Yakymovych A., Weber H., Kaban I., Ipser H.** Dynamic viscosity of a liquid Sn-3.0Ag-0.5Cu alloy with Ni nanoparticles. – Journal of Molecular Liquids. – 2018. – V. 268(10). – P. 176–180. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.069>.

8 **Yakymovych A., Vus V., Mudry S.** Viscosity of liquid Cu-In-Sn alloys // Journal of Molecular Liquid. – 2016. – V. 219. – P. 845–850. – <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.055>

9 **Малышев, В. П., Бектурганов, Н. С., Турдукожаева (Макашева) А. М.** Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М. : Научный мир, 2012. – 288 с.

10 **Малышев, В. П., Толымбеков, М. Ж., Турдукожаева, А. М., Кажикенова А. Ш., Ақуов А. М.** Течение расплавов – разрушение ассоциатов кластеров. Расплавы. – 2010. – № 6. – С. 43–49.

11 **Малышев, В. П., Турдукожаева, А. М.** Уточнение кластерно-ассоциатной модели вязкости расплавов на основе учета влияния температуры на степень ассоциации кластеров. – Расплавы. – 2011. – № 6. – С. 72–79.

12 **Рабинович, В. А., Хавин, З. Я.** Краткий химический справочник. – Л. : Химия, 1978. – С. 56.

13 **Никольский, Б. П.** Справочник химика. – Т. 1, втор. изд. – Л. : Химия, 1966. – 984 с.

14 **Налимов, В. В.** Теория эксперимента. – М. : Наука, 1977. – 207 с.

15 **Рузинов, Л. П.** Статистические методы оптимизации химических процессов. – М. : Химия, 1972. – 486 с.

**REFERENCES**

1 **Lida T., Guthrie R.I.L., Morita, Z.** An equation for the viscosity of liquid metals // Canadian Metallurgical Quarterly. – 2016. – V. 27(1). – P. 1–5. – <https://doi.org/10.1179/cmq.1988.27.1.1>.

2 **Cheng J., Grobner J., Hort N., Kainer K.U., Schmid-Fetzer R.** Measurement and calculation of the viscosity of metals - A review of the current status and developing trends // Measurement Science and Technology. – 2014. – V. 25(6). – N. 062001. – <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/6/062001>.

3 **Shanchao Gao, Kexin Jiao, Jianliang Zhang.** Review of viscosity prediction models of liquid pure metals and alloys // Philosophical Magazine. – 2019. – V. 99(7). – P. 853–868. – <https://doi.org/10.1080/14786435.2018.1562281>.

4 **Yakymovych A., Sklyarchuk V., Plevachuk Yu., Sokoliuk B.** Viscosity and Electrical Conductivity of the Liquid Sn-3.8Ag-0.7Cu Alloy with Minor Co Admixtures // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2016. – V. 25(10). – P. 4437–4443. – <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2297-8>.

5 **Ferreira, I. L., de Castro, J. A., Garcia, A.** On the prediction of temperature-dependent viscosity of multicomponent liquid alloys // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019. – V. 31(5). – P. 1369–1385. – <https://doi.org/10.1007/s00161-019-00753-7>.

6 **Megalingam A., Ahmad, A.H.B., Maarof, M.R.B., Sudhakar, K.** Viscosity measurements in semi-solid metal processing: current status and recent developments

// International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – V. 119. – P. 1435–1459. – <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08356-w>.

7 **Yakymovych, A., Weber, H., Kaban, I., Ipsier, H.** Dynamic viscosity of a liquid Sn-3.0Ag-0.5Cu alloy with Ni nanoparticles. – Journal of Molecular Liquids. – 2018. – V. 268(10). – P. 176–180. – <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.069>.

8 **Yakymovych, A., Vus, V., Mudry, S.** Viscosity of liquid Cu-In-Sn alloys // Journal of Molecular Liquid. – 2016. – V. 219. – P. 845–850. – <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.055>

9 **Maly`shev, V. P., Bekturganov, N. S., Turdukozhayeva (Makasheva), A. M.** Vyazkost`, tekuchest` i plotnost` veshhestv kak mera ix xaotizacii [Viscosity, fluidity and density of substances as a measure of their randomization]. – Moscow : Nauchny`j mir, 2012. – 288 p.

10 **Maly`shev, V. P., Toly`mbekov, M. Zh., Turdukozhayeva, A. M., Kazhikenova, A. Sh., Akuov, A. M.** Tehenie rasplavov – razrushenie asociatov klasterov [Melt flow – destruction of cluster associates] // Rasplavy`. – 2010. – № 6. – P. 43–49.

11 **Maly`shev, V. P., Turdukozhayeva, A. M.** Utochnenie klasterno-associatnoj modeli vyazkosti rasplavov na osnove ucheta vliyaniya temperatury` na stepen` asociacii klasterov [Refinement of the cluster-associate model of melt viscosity based on taking into account the influence of temperature on the degree of cluster association]. // Rasplavy`. – 2011. – № 6. – P. 72–79.

12 **Rabinovich, V. A., Xavin, Z. Ya.** Kratkij ximicheskij spravochnik [Brief Chemical Reference]. – L.: Ximiya, 1978. – P. 56.

13 **Nikol`skij, B. P.** Spravochnik ximika [Chemist`s Handbook]. – T. 1, vtor. izd. – L. : Ximiya, 1966. – 984 p.

14 **Nalimov, V. V.** Teoriya e`ksperimenta [Theory of experiment]. – Moscow : Nauka, 1977. – 207 p.

15 **Ruzinov, L. P.** Statisticheskie metody` optimizacii ximicheskix processov [Statistical methods of optimization of chemical processes]. – Moscow : Ximiya, 1972. – 486 p.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

\***Л. А. Бекбаева<sup>1</sup>, А. М. Макашева<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда  
Принято к изданию 07.12.23.

### КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ХЛОРИДА НАТРИЯ

*В статье авторами была получена температурная зависимость вязкости сложного неорганического вещества – хлорида натрия и проведена проверка предложенной математической модели.*

*Вязкость рассматривается как хаосочувствительное свойство жидкости, присутствующее ей в движении и в покое. Математическая модель вязкости была разработана с использованием распределения Больцмана и концепции хаотизированных частиц. На этой основе построена иерархическая кластерно-ассоциатная модель вязкости, которая учитывает не только образование первичных кластеров, но и вторичных по отношению к ним ассоциатов с возможностью выявления степени ассоциации кластеров.*

*Для адаптации кластерно-ассоциатной модели к экспериментальным данным разработаны определенные приемы обработки данных для идентификации неизвестных параметров модели. Метод обработки данных по вязкости с использованием из всего множества трех реперных точек позволяет определить показатель степени агрегации ассоциатов.*

*При обработке данных по вязкости хлорида натрия был установлен высокий коэффициент корреляции рассчитанных по сравнению со справочными величинами, что указывает на адекватность новой зависимости.*

*Данная модель позволяет прогнозировать поведение вязкости хлорида натрия в более высокий температурный диапазон. Степень ассоциации кластеров с повышением температуры понижается, соответствуя динамике разрушения ассоциатов и вязкости в целом.*

*Ключевые слова: распределение Больцмана, динамическая вязкость, хаотизированные частицы, ассоциат, кластер, хлорид натрия.*

\*L. Bekbayeva<sup>1</sup>, A. Makasheva<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda,

Accepted for publication on 07.12.23.

**CLUSTER-ASSOCIATE MODEL OF TEMPERATURE DEPENDENCY OF SODIUM CHLORIDE DYNAMICAL VISCOSITY**

*In the article, the authors obtained the temperature dependence of the viscosity of a complex inorganic substance – sodium chloride and tested the proposed mathematical model.*

*Viscosity is considered as a chaosensitive property of a liquid inherent in its motion and in motion. The mathematical model of viscosity was developed using the Boltzmann distribution and the concept of chaotic particles. On this basis, a hierarchical cluster-associate viscosity model is constructed, which takes into account not only the formation of primary clusters, but also secondary associates with respect to them, with the possibility of identifying the degree of cluster association.*

*To adapt the cluster-associate model to experimental data, certain data processing techniques have been developed to identify unknown parameters of the model. The method of processing viscosity data using a total of three reference points allows us to determine the indicator of the degree of aggregation of associates.*

*When processing data on the viscosity of sodium chloride, a high correlation coefficient was established calculated in comparison with reference values, which indicates the adequacy of the new dependence.*

*This model makes it possible to predict the behavior of the viscosity of sodium chloride in a higher temperature range. The degree of association of clusters with increasing temperature decreases, corresponding to the dynamics of destruction of associates and viscosity in general.*

*Keywords: Boltzmann's distribution, dynamic viscosity, randomized particles, associate, cluster, sodium chloride.*

FTAMP 53.31.21

<https://doi.org/10.48081/WLJX8085>

**Д. А. Есенғалиев<sup>1</sup>, \*Б. С. Келаманов<sup>2</sup>, А. А. Абілберікова<sup>3</sup>,  
А. А. Муканова<sup>4</sup>, А. А. Нуржанов<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

\*e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)**«ҮШҚАТЫН III» КЕН ОРНЫНЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ НЕГІЗДІ МАРГАНЕЦ КЕНІН ПЕТРОГРАФИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ**

*Осы мақалада металлургиялық өндіріске қажет «Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кендерінің петрографиялық және термографиялық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей осы кен орнындағы марганец кені құрамында зиянды қоспа фосфордың аз болуы және кальций тотығы мөлшерінің жоғары болуы бұл кен орнын марганец қорытпаларын балқытуға оңтайлы шикізат ретінде қарастыруға болады. Осыған байланысты жоғары негізді марганец кеннің металлургиялық өндіріске қажеттілігін анықтау үшін оны рентгенофазалық, минералогиялық және термографиялық зерттеулері жүргізілді. Сәйкесінше, ДРОН-2, 0 рентген аппарат нәтижесі бойынша, кеннің құрамында келесі минералдар табылды: браунит ( $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), биксбиит ( $Mn, Fe)_2O_3$ , кальцит ( $CaCO_3$ ), гематит ( $\alpha-Fe_2O_3$ ). Минералдық-петрографиялық талдау «NYMCS-605» моделінің портативті металлургиялық микроскопының көмегімен жүргізілді. Микроскопиялық зерттеулер көрсеткендей, жоғары негізді марганец кенінде жылтыр қара жолақты құрылымға ие гаусманит ( $Mn_3O_4$ ) және ашық түске ие бос жыныстардан, яғни карбонат негізіндегі аз мөлшерде халцедон ( $SiO_2$ ), кристалды тефроит ( $Mn_2SiO_4$ ) бар екені анықталды. Карбонат ұсақ кристалды кальциттен құрамында родохрозит ( $MnCO_3$ ), кей жерлерде барит ( $BaCO_3$ ) пен тефроиттен тұрады. Сонымен қатар жоғары негізді марганец кенін термографиялық талдауы жасалды. Дифференциалдық-термографиялық талдауды F. Paulik, J. Paulik, L. Erdei дериватографта  $Q=1000$   $10$  °C/мин қыздыру қадамымен  $25-1000$  °C температура диапазонында зерттеу жүргізілді. «Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кенінің микроқұрылымын петрографиялық, термографиялық талдау нәтижелері бойынша оны марганец негізіндегі ферроқорытпа балқыту технологиясына қолдану мүмкіндігі дәлелденді.*

*Кілтті сөздер: марганец кені, ферромарганец, негізділік, минералогиялық-петрографиялық талдау, рентгенофазалық талдау, термографиялық талдау.*

**Кіріспе**

Марганец негізіндегі ферроқорытпаларды балқыту бай марганец концентраттарына негізделген. Өнеркәсіптің марганецке бай концентраттарына деген қажеттілігі қазірдің өзінде қиындықпен қамтамасыз етілуде [1–3]. Марганец кендеріне өсіп келе жатқан қажеттілікті қанағаттандыру үшін, ферроқорытпа өндірісіне кедей кендер мен жаңадан ашылған кен орындарының кендерін тарту қажет. Марганец кендерінің сапасы жағынан бірегей «Үшқатын III» (Қарағанды облысы) кен орны үлкен қызығушылық тудырады. Оның химиялық құрамы төмен фосфор концентрациясымен және жоғары негізділікпен ( $CaO/SiO_2 = 1,69$ ) түсіндіріледі. Марганец қорытпа-ларын балқыту кезінде қождама ретінде әк (әктас) қолдануын ескерсек, осы кенді таптырмас шикізат көзі ретінде бағалауға мүмкіндік береді [4–7].

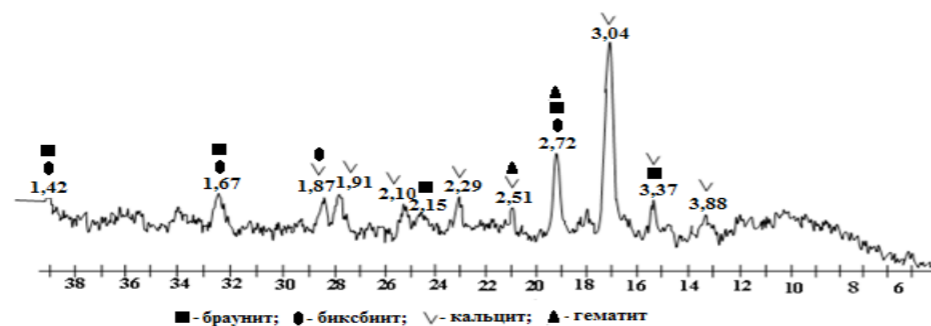
Жұмыстың мақсаты – «Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кенінің металлургиялық өңдеуге жарамдылығын анықтау мақсатында, рентгенограмма, петрографиялық және термографиялық зерттеулер жүргізу.

Материалдар мен әдістер

Жоғары негізді марганец кеннің технологиялық тұрғыдан минералогиялық, фазалық, температура әсерінен болатын өзгерістерді анықтау үшін кешенді зерттеулер жүргізілді, олар: рентгенографиялық, минералогиялық және термографиялық талдаулар [8–10].

Жоғары негізді марганец кенінің толық зерттеуін жүргізу үшін, одан алдында сынама алар дайындалды.

Сонымен, «Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кеніндегі сынаманы ДРОН-2,0 рентген аппаратында жүргізілген фазалық талдау негізінде құрамында келесі минералдар анықталды: браунит ( $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), биксбиит ( $(Mn,Fe)_2O_3$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), гематит ( $\alpha-Fe_2O_3$ ). Рентгенограмма нәтижесі сурет 1-де келтірілген.

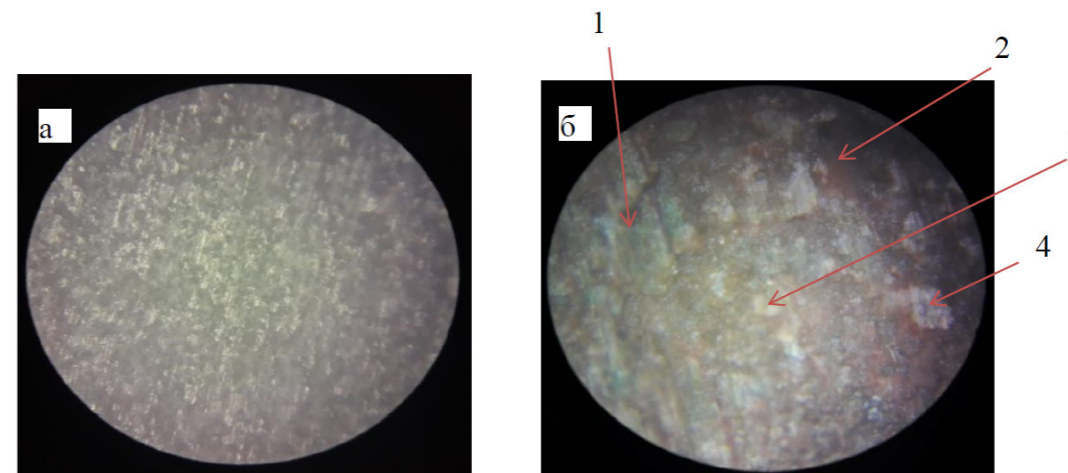


Сурет 1 – Жоғары негізді марганец кенінің рентгенограмма нәтижесі

Жұмыс барысында кенді және кенді емес (бос жыныс) компоненттердің минералогиялық құрамының текстуралық-құрылымдық ерекшеліктері

зерттелді. Минералдық-петрографиялық талдауды «NYMCS-605» моделіндегі металлургиялық микроскоп көмегімен жүргізілді.

Зерттелетін марганец кенін микроскопиялық талдау нәтижесінде сынама көлемі 5,0 мм өткір бұрышты сынықтардан тұратыны анықталды. Сынықтың текстурасы жағынан да, құрылымы жағынан да біркелкі емес. Кейбір сынықтар жіңішке, ырғақты қабаттану бар, сонымен қоса күйе тектес және колломорфты құрылымды аймақтар бар екені байқалды. Кейбір бөліктерінде кальцитпен толықтырылған күйіндегі кірінділер бар. Кен сынығының түсі біркелкі емес, қара-қоңырдан қараға дейін өзгереді. Негізінде текстура массивке жақын. Сурет 2-де жоғары негізді марганец сынамасының микроқұрылымы келтірілген.



а – 100 есе ұлғайтылған, б – 500 есе ұлғайтын

1 – гаусманит; 2 – родохрозит; 3 – браунит; 4 – кальцит;

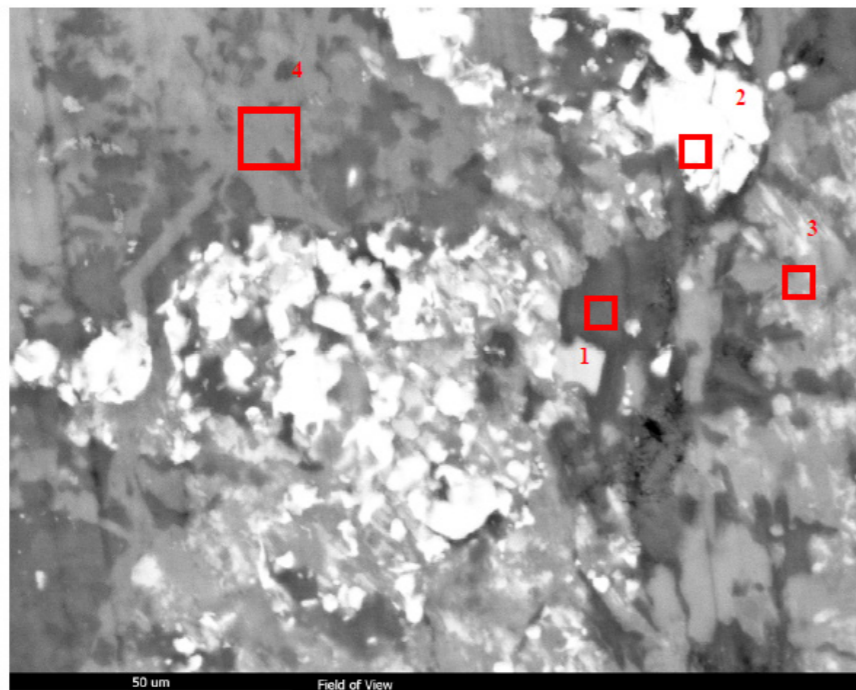
Сурет 2 – Жоғары негізді марганец сынамасының микроқұрылымы

Микроскопиялық зерттеулер көрсеткендей, жоғары негізді марганец кенінде тығыз орналасқан гаусманит ( $Mn_3O_4$ ) және ашық түске ие бос жыныстардан, яғни карбонат негізіндегі аз мөлшерде халцедон ( $SiO_2$ ), кристалды тефроит ( $Mn_2SiO_4$ ) бар екені анықталды.

Карбонат ұсақкристалды кальциттен құрамында родохрозит ( $MnCO_3$ ), кей жерлерде барит ( $BaCO_3$ ) пен тефроиттен тұрады. Кеннің кейбір бөліктерінде гаусманит дала шпаты жыныстарымен байланысқан. Ал браунит шлифте ұсақкристалды кірінді түрінде кальцитпен жанасып, карбонатты жыныс түзілген [11].

Үлгіні егжей-тегжейлі зерттеу үшін Philips XL 20 энергодисперсиялық детекторымен (ESD) жүргізілген сандық талдауға зерттеулер жүргізілді. Процестің мәні келесідей болды: бірнеше нүктелер (немесе аймақтар) орнатылды, біздің жағдайда зерттеу үшін сурет 2-ге сәйкес 4 аймақ таңдалды, содан кейін бағдарлама әртүрлі аймақтардан спектрлер жинай бастады. Барлық терілген спектрлер автоматты түрде сақталады және элементтерді тексергеннен кейін әр таңдалған нүктеде сандық құрамдар анықталатын болды (1-ші кесте). Нәтижелер көрсеткендей, негізгі элементтер мыналардан тұрады: Mn, Ca, O, Fe.





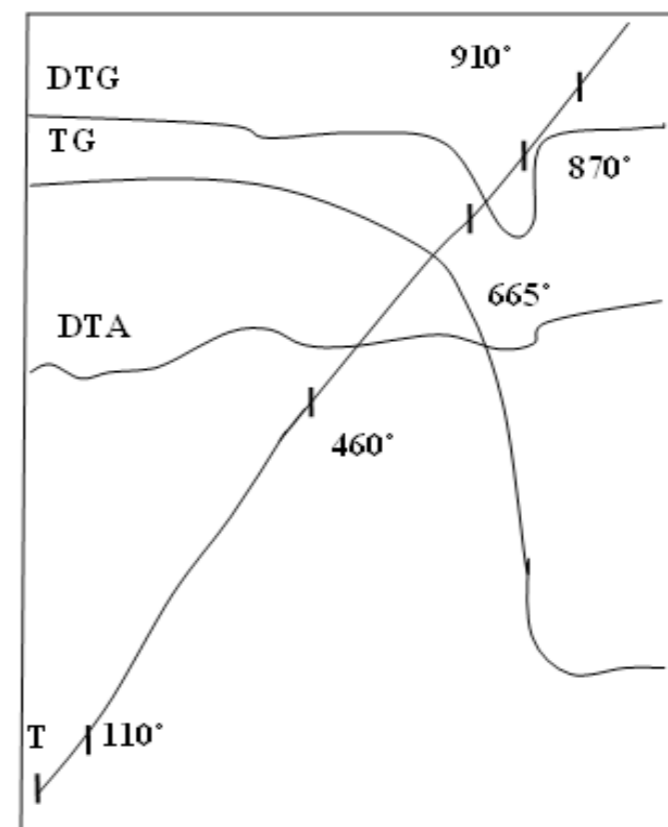
Сурет 3 – Энергодисперсионды талдаудан кейінгі сынама фрагменті

Кесте 1 – Үлгі аймақтарының сандық құрамы

Аймақ	Құрамы	Элементтер, %								
		C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Аймақ 1	Массалық үлесі	0	37,2	3,4	12,6	11,9	15,8	0	19,1	0
	Атомдық массасы	0	53,5	3,4	12,0	10,2	12,9	0	8,0	0
Аймақ 2	Массалық үлесі	1,4	21,5	0	0	0	0,5	1,1	29,7	45,8
	Атомдық массасы	4,0	46,9	0	0	0	0,6	0,9	18,8	28,6
Аймақ 3	Массалық үлесі	2,7	33,4	1,5	1,5	1,4	16,0	3,1	40,3	0
	Атомдық массасы	5,8	53,8	1,7	1,5	1,4	14,7	1,9	18,9	0
Аймақ 4	Массалық үлесі	8,5	36,8	5,6	0	0	1,5	15	32,5	0
	Атомдық массасы	16,5	53,4	5,7	0	0	1,3	8,7	13,8	0

Сонымен қатар, «Үшқатын III» кен орнының жоғары негізді марганец кеніне термографиялық зерттеулер F. Paulik, J. Paulik, L. Erdei Derivatograph дериватограф жүйесінде Q=1000 T=25–1000 °C температура диапазонында 10 °C/мин қыздыру қадамымен жүргізілді. Температура платина-платина-родий термопаралар көмегімен өлшенді. Зерттеулер тотықтырғыш атмосферада жүргізілді.

Термографиялық қисықтар нәтижесінен көріп тұрғанымыздай, (сурет 4) T = 107–120 °C аралығында әлсіз эндотермиялық әсер байқалғанын көруге болады, оны адсорбцияланған ылғалдың бөлінуіне байланысты түсіндіруге болады. T = 435–460 °C температурадан бастап DTA (дифференциалды-термиялық талдау) қисықтарында тағы да эндотермиялық әсерді көруге болады, оны родохрозиттің ыдырауы арқылы MnO, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> марганец тотықтарының түзілуімен түсіндіріледі. Одан кейін T = 730–765 °C температура аралығында аз ғана экзотермиялық әсер байқалады, ол β-курнакитке дейін (β- Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) түзілген тотықтардың нәтижесі. T = 770 °C температурада дифференциалдық қисық сызығында айқын эндотермиялық әсер пайда болды, ол кальций карбонатының диссоциациялануы нәтижесінде CaO түзілуімен дәлелденді.



Сурет 4 – Марганец концентратының дериватограммасы

T = 930–950 °C температура диапазонында үлгіде елеусіз әсердің байқалғанын көреміз, ол бұрын түзілген β-курнакиттің ыдырауы нәтижесінде β-гаусманит түзілуі әсерінен болды. Температураның 1000 °C-ге дейін одан әрі жоғарылауы 40 мг салмақ жоғалтуға әкеледі.

**Нәтижелер және талқылау**

Жүргізілген зерттеуден келесі нәтижелерді алуға болады:

Рентгендік-фазалық сынама талдау, темір (Fe), бірнеше минералды көздер: браунит ( $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), биксбиит ( $Mn,Fe)_2O_3$ , кальцит ( $CaCO_3$ ), гематит ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) комбинациясын қолдана отырып, ДРОН-2,0 визуалды дифрактометрде жүргізілді. Минералдардың талшықтарынан химиялық кенде марганец пен темір оксидтері, сондай-ақ кальцит бар екенін білуге болады.

Зерттелетін марганец кенін минералдық-петрографиялық талдауы «NYMCS-605» моделінің портативті металлургиялық микроскопының көмегімен жүргізілді. Бұл талдау кенді және кенді емес компоненттердің минералогиялық құрамының текстуралық-құрылымдық ерекшеліктерін зерттеуге мүмкіндік береді. Микроскопиялық талдау нәтижелері марганец кенінің сынамасы 5,0 мм өткір бұрышты сынықтармен ұсынылғанын көрсетті. Бұл сынықтардың құрылымы да, құрамы да біркелкі емес.

Дифференциалды-термиялық талдау нәтижесі бойынша марганец кенінің фазалық ауысуларын ДТА қисық сызықтар арқылы дәлелденді. ДТА қисық сызықтардың температуралық максимумдарын сараптай келе, пеш жағдайында жоғары негізді марганец кенінің тотықсыздандырғыштармен толық байланысқа түсетіні анықталды.

#### Қорытынды

«Үшқатын-III» кен орнының жоғары негізді марганец кенінің петрографиялық құрамы зерттелді, ол тығыз ұсақ кристалды гаусманиттің жылтыр қара қабаттарының кезектесуіне байланысты жолақты құрылымның гаусманит кенін білдіреді, және кеуекті емес жолақтар, аз мөлшерде халцедон және кристалды тефроит бар карбонаттан тұрады.

Осылайша, «Үшқатын III» кен орнының бастапқы марганец кендерінің микроқұрылымын петрографиялық, термографиялық талдау нәтижелері одан әрі ферромарганецтің орташа және төмен көміртекті сорттарына қайта өңдеудің орындылығын көрсетеді.

Алынған термографиялық мәліметтер марганец шикізатын пирометаллургиялық өңдеу процестерін зерттеуде пайдаланылуы мүмкін.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Manganese, The Global Picture – A Socio Economic Assessment : report. International Manganese Institute. – London, 2015. – 58 p.

2 **Байсанов, С. О., Байсанов, А. С., Исагулов, А. З., Есенғалиев, Д. А., Оспанов, Н. И.** Разработка технологии выплавки рафинированного ферромарганца с применением специальных комплексных восстановителей [Текст] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – Том 61. – № 9. – С. 689–694.

3 **Жучков, В. И., Смирнов, Л. А., Зайко, В. П., Воронов, Ю. И.** Технология марганцевых ферросплавов [Текст]. Ч.2. – Екатеринбург : УрОРАН, 2008. – 442 с.

4 **Букетов, Е. А., Габдуллин, Т. Г., Такенов, Т. Д.** Металлургическая переработка марганцевых руд Центрального Казахстана [Текст]. – Алма-Ата. : Наука, 1979. – 184 с.

5 **Гасик, М. И., Лякишев, Н. П.** Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст]. – М. : Интермет, Инжиниринг, 1999. – 764 с.

6 **Григорьев, В. М., Борисенко, Л. Ф., Кравченко, Г. Г. и др.** Справочник по рудам чёрных металлов для геологов. [Текст] – М. : Недра. – 1985. – 287 с.

7 **Александров, А. А., Дашевский, В. Я., Леонтьев, Л. И.** Доизвлечение марганца из шлака процесса выплавки рафинированного марганцевых ферросплавов [Текст] // Сталь. – 2013. – № 10. – С. 66–70.

8 **Ожогина, Е. Г.** Минералогические исследования как основа априорной оценки технологических свойств марганцевых руд и оптимизации разрабатываемых технологических схем [Текст] // Материалы IV конгресса обогатителей стран СНГ. – М., 2003. – Том I. – С. 57–58.

9 **Ожогина, Е. Г.** Технологическая минералогия карбонатных марганцевых руд [Текст] // Обогащение руд. – 2004. – № 1. – С. 38–42.

10 **Есенғалиев, Д. А., Байсанов, С. О., Исагулов, А. З., Байсанов, А. С.** Петрографическое исследование первичных марганцевых руд месторождения «Ушқатын III» [Текст] // Вестник ПГУ, Энергетическая серия. – 2019. – № 2. – Б. 122–127.

11 **Zhabanov, E. Zh., Baisanov, A. S., Toleukadyr, R. T., Inkarbekova, I. S.** Study of phase transformations during heating of briquetted mono-charge from chromium-containing materials and carbon reducing agents [Text] // CIS Iron and Steel Review. – 2023. – Vol. 25. – P. 26–30.

#### REFERENCES

1 Manganese, The Global Picture – A Socio Economic Assessment: report. London : International Manganese Institute, 2015. – 58 p.

2 **Bajsanov, S. O., Bajsanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliev, D. A., Ospanov, N. I.** Razrabotka tekhnologii vyplavki rafinirovannogo ferromarganca s primeneniem special'nyh kompleksnyh vosstanovitelej [Development of technology for smelting refined ferromanganese using special complex reducing agents] [Text] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya. – 2018. – № 9. – T. 61 – P. 689–694.

3 **Zhuchkov, V. I., Smirnov, L. A., Zajko, V. P., Voronov, Yu. I.** Tekhnologiya margancevyh ferrosplavov [Technology of manganese ferroalloys] [Text] Ch.2. Ekaterinburg : UrORAN, 2008. – 442 p.

4 **Buketov, E. A., Gabdullin, T. G., Takenov, T. D.** Metallurgicheskaya pererabotka margancevyh rud Central'nogo Kazahstana [Metallurgical processing of manganese ores of Central Kazakhstan] [Text]. – Alma-Ata : Nauka, 1979. – 184 p.

5 **Gasik, M. I., Lyakishev, N. P.** Teoriya i tekhnologiya elektrometallurgii ferrosplavov [Theory and technology of electrometallurgy of ferroalloys] [Text]. – Moscow : Intermet, Inzhiniring, 1999. – 764 p.

6 **Grigor'ev, V. M., Borisenko, L. F., Kravchenko, G. G. i dr.** Spravochnik po rudam chyornyh metallov dlya geologov [Handbook of Ferrous metal ores for geologists] [Text]. – Moscow : Nedra, 1985. – 287 p.

7 **Aleksandrov, A. A., Dashevskij, V. YA., Leont'ev, L. I.** Doizvlechenie marganca iz shlaka processa vyplavki rafinirovannogo margancevyh ferrosplavov [Additional extraction of manganese from the slag of the smelting process of refined manganese ferroalloys] [Text] // Stal'. – 2013. – № 10. – P. 66–70.

8 **Ozhogina, E. G.** Mineralogicheskie issledovaniya kak osnova apriornoj ocenki tekhnologicheskikh svojstv margancevyh rud i optimizacii razrabatyvaemyh tekhnologicheskikh skhem // Materialy IV kongressa obogatitelej stran SNG [Mineralogical studies as a basis for a priori assessment of the technological properties of manganese ores and optimization of the technological schemes being developed // Materials of the IV CONGRESS of concentrators of the CIS countries] [Text]. – M., 2003. – tom I. – P. 57–58.

9 **Ozhogina, E. G.** Tekhnologicheskaya mineralogiya karbonatnyh margancevyh rud [Technological mineralogy of carbonate manganese ores] [Text] // Obogashchenie rud. – 2004. – № 1. – P. 38–42.

10 **Esengaliev, D. A., Bajsanov, S. O., Isagulov, A. Z., Bajsanov, A. S.** Petrograficheskoe issledovanie pervichnyh margancevyh rud mestorozhdeniya «Ushkatyn III». [Petrographic exploration of the first manganese ore settlement «Ushkatyn III»] [Text] // Vestnik PGU, Energeticheskaya seriya. – 2019. – № 2. – P. 122–127.

11 **Zhabanov E. Zh., Baisanov A. S., Toleukadyr R. T., Inkarbekova I. S.** Study of phase transformations during heating of briquetted mono-charge from chromium-containing materials and carbon reducing agents [Text] // CIS Iron and Steel Review. – 2023. – Vol. 25. – P. 26–30.

Басып шығаруға 29.11.23 қабылданды.

*Д. А. Есенгалиев<sup>1</sup>, \*Б. С. Келаманов<sup>2</sup>, А. А. Абілберікова<sup>3</sup>,*

*А. А. Муканова<sup>4</sup>, А. А. Нуржанов<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актобе.

Принято к изданию 29.11.23.

**ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ И ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ ВЫСОКООСНОВНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ  
РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УШКАТЫН III»**

*В данной статье представлены результаты петрографических и термографических исследований высокоосновных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III». Высокоосновные марганцевые руды месторождения «Ушкатын III» характеризуются низким содержанием фосфора при одновременном высоким содержанием окиси кальция в руде. Поэтому данную руду можно рассматривать как комплексное сырье для производства марганецсодержащих сплавов. Для получения объективной картины применимости высокоосновных марганцевых руд для металлургического передела были проведены рентгенофазный, минерало-петрографический и термографический анализ. В результате рентгенофазового анализа выяснилось, что основная фаза представлена кальцитом ( $CaCO_3$ ), браунитом ( $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ) и биксбиитом ( $(Mn,Fe)_2O_3$ ), а также присутствует в небольшом количестве гематитовая фаза ( $Fe_2O_3$ ). В том числе в ходе работ были изучены текстурно-структурные особенности минералогического состава рудных и нерудных составляющих. Микроскопическими исследованиями установлено, что пробы высокоосновных марганцевых руд представляют гаусманитовую руду ( $Mn_3O_4$ ) полосчатого строения благодаря чередованию блестящих темных прослоев плотного мелко-кристаллического гаусманита и более светлых нерудных полос, состоящих из карбоната с небольшим количеством хальцедона ( $SiO_2$ ) и местами кристаллическим тейфройтом ( $Mn_2SiO_4$ ). Далее дифференциально-термическим анализом были определены фазовые превращения высокоосновной марганцевой руды в виде кривых линий. По результатам комплексного анализа высокоосновных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III» доказана возможность применения как сырья для выплавки марганецсодержащих ферросплавов.*

*Ключевые слова: марганцевая руда, ферромарганец, основность, минерало-петрографический анализ, рентгенофазовый анализ, термографический анализ.*

**D. Yessengaliyev<sup>1</sup>, \*B. Kelamanov<sup>2</sup>, A. Abilberikova<sup>3</sup>,**

**A. Mukanova<sup>4</sup>, A. Nurzhanov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>K. Zhubanov Aktobe regional university, Republic Kazakhstan, Aktobe

Accepted for publication 29.11.23.

**PETROGRAPHIC AND THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS  
OF HIGH-BASE MANGANESE ORE DEPOSIT «USHKATYN III»**

*This article presents the results of petrographic and thermographic studies of high-base manganese ores of the «Ushkatyn III» deposit, necessary for metallurgical production. The research results have shown that the manganese ore at this deposit has a low phosphorus content in harmful impurities and a high content of calcium oxide. This deposit can be considered as the optimal raw material for melting manganese alloys. In this regard, radiophasic phase and mineral-petrographic, thermographic analysis of concentrates was carried out to obtain the quantitative mineralogical and chemical composition of the primary manganese ores of the deposit. A selective sample of the manganese ore of the deposit was carried out on*

an X-ray diffractometer DRON-2.0. In connection with the radiophasic analysis, the following minerals were found in the ore: brownite ( $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), bixbyite ( $Mn,Fe)_2O_3$ , calcite ( $CaCO_3$ ), hematite ( $\alpha-Fe_2O_3$ ). Mineralogical and petrographic analysis was carried out using a portable metallurgical microscope model «NYMCS-605». Microscopic studies have established that the samples of primary manganese ores represent gausmanite ore ( $Mn_3O_4$ ) of a banded structure due to the alternation of shiny dark interlayers of dense fine-crystalline gausmanite and lighter non-metallic bands consisting of carbonate with a small amount of chalcedony ( $SiO_2$ ) and in places crystalline tephroite ( $Mn_2SiO_4$ ). In the thermographic analysis of manganese ore F. Paulik, J. Paulik, L. Erdei Derivatograph  $Q = 1000$ , the study was carried out in the temperature range of 25–1000 °C with a heating step of 10 °C/min. According to thermographic calculations, in the temperature ranges of 930–950 °C, an insignificant endothermic effect of the decay of the previously formed  $\beta$ -kurnakite with the formation of  $\beta$ -gausmanite in the sample was observed. According to the results of petrographic, thermographic analysis of the microstructure of high-base manganese ores of the «Ushkatyn III» deposit, the possibility of its application on manganese ferroalloys has been proved.

*Keywords:* manganese ore, ferromanganese, basicity, mineralogical and petrographic analysis, X-ray phase analysis, thermographic analysis.

SRSTI 53.47.01

<https://doi.org/10.48081/CBPX3907>\*A. T. Zhakupova<sup>1</sup>, A. N. Zhakupov<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar\*e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

### CAST HOLLOW BILLET STRUCTURE SIMULATION MODELING FOR OIL GRADE PIPES

Simulation modeling of hollow billet casting processes for the production of seamless oil grade pipes was performed. The aim of the work was to study the influence of geometric shape on the quality and properties of a continuously cast pipe billet. Modeling parameters, initial and boundary conditions were selected taking into account the conditions of the current production. The object of the study was a pipe billet with a diameter of 210 mm. When modeling the process of casting and solidification of billets, low-alloy structural chromium-molybdenum steel was used. For the simulation processes, three-dimensional models of billets were created, as well as models of shapes. Several factors were taken into account when modeling continuous casting and crystallization of a hollow billet: casting speed, chemical composition of the alloy being poured; casting temperature; geometric dimensions of the billet section. Modeling of hollow billet casting in the «LVM Flow» software package predicted the non-shrinking structure formation a decrease in microporosity (more than 0.85 according to the Niyama criterion) of the billet. As a result of simulation modeling, the improvement of the structure is theoretically confirmed when using a hollow steel billet as a starting point for the production of seamless hot-rolled pipes. There were no signs of shrinkage and microporosity on the hollow billet exceeding the permissible value according to the Niyama criterion.

*Keywords:* hollow billet, steel, modeling, pipe, 25CrMoV.

#### Introduction

Close conditions for the production and distribution of hydrocarbons cause a constant increase in the oil industry requirements to the pipe products properties level. This requires the intensification of work to improve the technological properties and quality indicators of continuously cast billets used for the seamless pipes production [1]. To obtain high strength characteristics of pipes, it is necessary to manufacture a high-quality continuously cast billet with minimal chemical and structural heterogeneity. Improving the quality indicators of continuously cast blanks requires technological processes optimization of continuous steel casting based on modeling.

There is a problem of continuously cast billets internal defects intended for the production of seamless oil grade pipes. Improving the production of continuously cast billets, which allows to reduce the level of pipe defects, is relevant to increase the competitiveness of domestic metal products [2,3].

The work purpose is to study the influence of the shape on the pipe billet quality and properties. At the present stage of steel production development, the continuous casting

process is the most rational way to obtain blanks for the seamless pipes production. Distinctive features of a continuously cast billet are high crystallization rates and a short duration of its complete solidification. The axial zone of cast billets is the thermal center that hardens last. When solidifying a continuously cast billet in conditions of a deep, highly elongated location of the crystallizing metal well, significant convective flows are formed. These flows enhance axial segregation in a continuously cast billet and cause the formation of porosity and segregation spots in the axial zone. At the same time, an area of metal depleted by alloying impurities is often formed around the segregation spot [4,5].

As a result of the study [6], it was found that a two- or three-zone structure is formed in a continuously cast billet, depending on the extent of the two-phase state zone. For billets of large cross-sections, a three-zone structure is formed: the peripheral zone of small crystals, the zone of columnar crystallization, which has limited development, and differently oriented crystals in the axial zone.

In [7], a diagram of the continuously cast solidification process a billet. At the first stage of solidification, a relatively uniform advance of columnar crystals solidification front of occurs. At the second stage, the uniform advance of the front is disrupted. Part of the columnar crystals grows faster, and there are prerequisites for the formation of bridges in the middle uncured part of the billet. At the third stage, bridges are formed as a result of the closure of the solidification fronts. These bridges are formed when columnar crystals meet and as a result of the large crystals lowering that are “entangled” between the solidification fronts. At the fourth stage, the bridges thicken and strengthen. There are remnants of liquid metal under the bridges, which hardens similarly to metal in a conventional mill, but at a much lower speed. Micro-heterogeneity in local volumes can be almost completely eliminated as a result of heating before deformation and deformation itself. Improving the macrostructure of a continuously cast billet requires a wide zone of solid-liquid state with a solid phase predominance, where the course of shrinkage and segregation phenomena is limited.

The quality of seamless pipes is largely determined by the initial billet quality. The production process of rolled metal products includes a number of alterations, each of which contributes to the formation of the final complex of metal properties. Nevertheless, in most cases, the foundations for the formation of planned characteristics are laid primarily in steelmaking. Defects formed due to deviations from a given technology significantly reduce the technological plasticity of the metal during its further processing and operation.

A modern, relatively new technology for the production of high-quality seamless pipes is the use of initial hollow continuous cast billet. To date, there are enough known methods of forming an axial cavity in the billet. Methods of forming hollow billets directly from the melt have advantages. For example, a billet with a large cross-section entering rolling always has an increased carbon content and most impurities in the axial zone [8]. The low plasticity of the billet with a high metal impurities content in the axial zone creates a risk of ruptures during subsequent rolling. Ruptures and accumulations of impurities are stress concentrators and greatly reduce the fatigue strength of finished

pipes. In this regard, the absence of the axial zone continuously cast metal billet is advisable.

It seems promising to study the formation of hollow billets directly from the melt. The advantages of a hollow billet are manifested at the stage of subsequent deformation processing. The cavity prepared during casting, made strictly axially, avoids the appearance of a large difference during subsequent piercing of the billet on a cross-screw mill [9,10].

**Materials and methods**

Computer simulation of forming process a hollow continuously cast billet in «LVM Flow» postprocessors has been performed. The object of the study is a pipe billet with a diameter of 210 mm made of 25CrMoV steel, the chemical composition of which is given in Table 1.

Table 1 – Continuously cast billet steel chemical composition, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Cu
0.25	0.19	0.56	0.11	0.004	0.009	1.63	0.33	0.17	0.13

The following requirements for the billet were taken into account: the macrostructure of the pipe billet should not have cracks, bubbles, crusts, foreign metal and slag inclusions and flakes. The permissible defects of the macrostructure normalized in points should not exceed the norms specified in Table 2.

For simulation processes, three-dimensional models of billet, as well as tools (crystallizer and mandrel) were created in the Compas 3D program. Next, three-dimensional models were imported into «LVM Flow». «LVM Flow» is a program for analyzing various foundry technologies, built on a modular principle and consisting of several modules, the work in which is performed sequentially. The initial and boundary conditions were set for the calculation: steel grade, material and size of the crystallizer for casting, initial temperature of the tools, melt temperature and casting speed. Alloys were selected in the materials database [11].

Table 2 – Permissible defects in the macrostructure of the pipe billet in points, no more

Steel class	center porosity	edge point contaminations	light stripes	axial segregation	segregation stripes
Alloyed	2	1	3	2	1
Unalloyed	3	2	3	3	2

When modeling in the processor module «Solidification», phase transitions and gravity were taken into account. Solidification in the program was analyzed on the basis of the thermal conductivity theory, taking into account the peculiarities of solidifying melt and shape heat transfer. The solution of the problem was based on the kinetics of the increase in the solid phase volume of the solidifying melt and the advance of the solid metal front. The ability of the crystallizer to remove heat, the thermophysical properties of the melt and the crystallizer design were taken into account. Metal seemed to be a continuous medium. To analyze the result of melt pouring and crystallization, the

Niyama criterion was used to assess the microporosity of the metal. The shrinkage of the metal was taken into account to assess the reduction in volume and linear dimensions during solidification [12].

Several factors were taken into account when modeling continuous casting of a hollow billet: casting speed, chemical composition of the alloy being poured; casting temperature; geometric dimensions of the billet section. The temperature of the casting beginning was assigned to 80–100 °C above the melting point of steel. The casting speed corresponded to that used at the operating plant of «KSP Steel» LLP. The microporosity index, the Niyama criterion, is taken as the output parameter Niy (1):

$$Niy = G/\sqrt{R} \quad (1)$$

where G, R are the temperature gradient and the cooling rate in the region under research, respectively, when the point is in a two-phase zone near the solidus temperature [13,14].

Results and discussion

All the specified input and output parameters were used in the simulation of continuous casting in «LVM Flow». The factors and their variation levels are given in Table 3.

Table 3 – The factors and their variation levels

Name of factors	- 1	0	+ 1
$x_1$ – casting speed, tons/min	0.271	0.273	0.275
$x_2$ – casting temperature, °C	1600	1655	1710
$x_3$ – cross-sectional area, 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	333.1	339.7	346.2

For a three-factor experiment, the planning matrix will contain N=2<sup>3</sup>=8 experiments according to Table 4.

Table 4 – Planning matrix

Experiment number	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
1	+1	+1	+1	1.52
2	-1	+1	+1	1.65
3	+1	-1	+1	0.87
4	-1	-1	+1	1.58
5	+1	+1	-1	0.89
6	-1	+1	-1	1.64
7	+1	-1	-1	0.69
8	-1	-1	-1	0.95

Regression analysis has produced a mathematical model (2):

$$y = 1.22 - 0.23x_1 + 0.20x_2 - 0.18x_3 \quad (2)$$

After building a mathematical model, a statistical analysis was performed. Comparison of t-statistics with the tabular value Students coefficient showed that all coefficients are statistically significant and the regression equation remains unchanged. The Fischer test confirms the adequacy of the mathematical model.

Thus, the influence of changes in the casting speed, casting temperature and the cross-sectional area of the billet on the microporosity index has been confirmed. This model shows that reducing the cross-sectional area has a positive effect on improving the quality of the billet.

Then, to confirm the influence of casting geometry and technological parameters, computer simulation of the casting was carried out.

Figure 1 shows the results of modeling a hollow billet, where one feeding point was used when casting metal.

After completing the casting and solidification process, the shrinkage of the metal was analyzed (Figure 2). It can be seen that there are no shrinkage defects on the hollow billet.

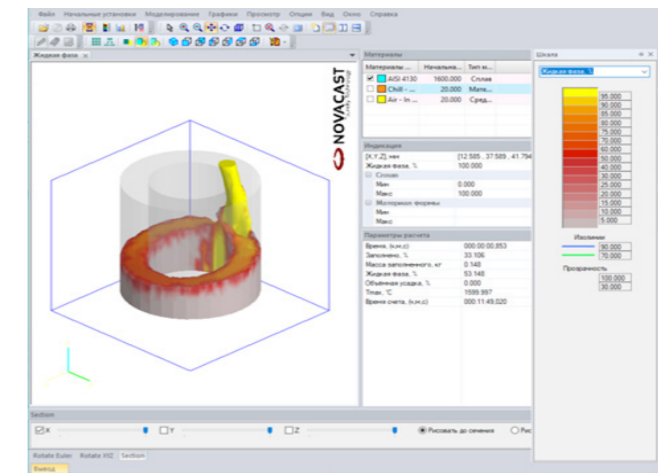


Figure 1 – Modeling of hollow billet casting

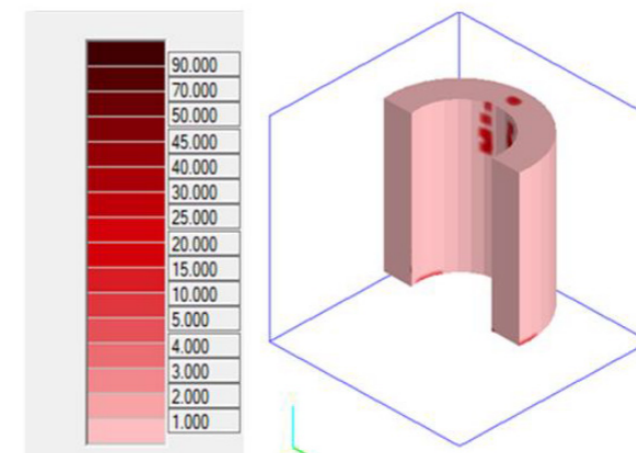


Figure 2 – Shrinkage in a hollow billet

Further, the Niyama criterion was used to determine microporosity [15]. For dense billet, values of at least 0.85 are considered the norm. The simulation results demonstrate the occurrence of shrinkage and discontinuity of the metal in Figure 3.

The use of computer simulation systems of metallurgical processes, allows you to reduce the cost of technology development. The specified modeling conditions: the casting temperature of the billet is 1600 °C and the speed is 3.6 m/min, the material of the crystallizer and mandrel when casting a hollow billet is copper. The macrostructure of the billet is evaluated according to the normative document GOST R 58228-2018 «Continuous cast steel billet. Methods of control and evaluation of macrostructure.

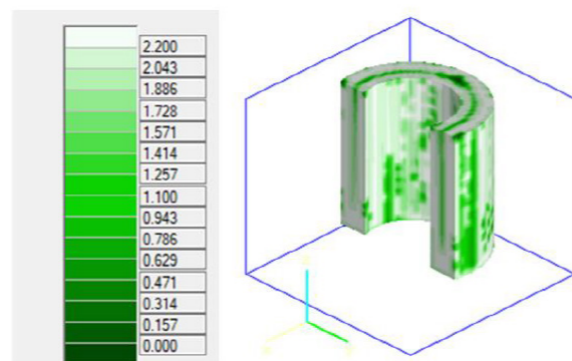


Figure 3 – Microporosity in a hollow billet according to Niyama criterion

There are significant tensile stresses in the axial zone of the billet, which lead to the destruction of its central zone when the billet meets the toe of the piercing mill mandrel. If, at the same time, the central zone of the billet is weakened by defects such as central porosity and axial segregation, then the probability of captivity formation on the inner surface of the sleeve increases. The defects are small and tightly pressed to the inner surface of the sleeve, and during subsequent calibration or reduction, such defects are opened.

Segregation strips and cracks are formed when the temperature and speed regime of casting the billet is breach. Internal cracks are fractures spreading through the interaxial spaces of the dendritic structure, enriched with liquates and accompanied by accumulations of sulfides and phosphorus segregation. Such defects will definitely lead to the destruction of the metal in the process of casting the billet. When piercing defective billets with segregation strips, coars scabs and rolled cracks are formed on the outer and inner surfaces [16]. It should also be noted that an important advantage of the hollow cast billets use in the pipes production is the rejection of hot deformation at a temperature of 1250–1280 °C. In this case, the danger of the oxides and scale formation on the product surface is eliminated, the products quality is improved and energy costs for the pipe production process are reduced.

### 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

To predict the structure and properties of a continuously cast billet and the product obtained from it, the process of casting a hollow billet was modeled. As a result of computer modeling in «LVM Flow», the improvement of the structure was theoretically confirmed when using a hollow steel billet as a starting point for the production of seamless hot-rolled pipes. At the same time, there are no signs of shrinkage and microporosity on the hollow billet exceeding the permissible value of more than 0.85 according to the Niyama criterion. Thus, the use of a hollow steel billet is advisable for the production of oil and gas grade pipes. The next stage of research may be to conduct a laboratory experiment on casting hollow billets, obtaining and examining pipe samples from them.

### REFERENCES

- 1 **Zhakupova, A., Bogomolov, A., Zhakupov, A.** «The Influence of the Initial Billet on the Mechanical Properties of Pipes» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 969(1), article 012033, 2020. – Mentaliter 10.1088/1757-899X/969/1/012033.
- 2 **Choudhary, S.** «Influence of Modified Casting Practice on Steel Cleanliness» // ISIJ Int., 2011. – vol. 51(4). – P. 557–565. – <https://doi.org/10.2355/isijinternational.51.557>.
- 3 **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.
- 4 **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. – 2017. – P. 12–13.
- 5 **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.
- 6 **Dauby, P., Kunstreich, S.** «Application of micro-refrigerators as the active element on the crystallization of metal» // ISS Tech. – 2003. – P. 491–504.
- 7 **Nakashima, J., Kiyose, A., Ohtani, Y., Fukuda, J., Kawase, T., Doki, M.** «Micro-refrigerators» // Nippon Steel Technical Report. – 2002. – Vol. 86. – P. 68–73.
- 8 **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>.

9 **Zhakupov, A., Bogomolov, A., Zhakupova, A., Abdulina, S., Salina, V.** «Determination of technological parameters for continuous casting of a hollow pipe billet», *Metalurgija*, 2021. – Vol. 60(3–4), P. 329–331, [Electronic resource]. – <https://hrcak.srce.hr/clanak/372265>.

10 **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.

11 **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. – [Electronic resource]. – [Electronic resource]. – <https://hrcak.srce.hr/file/266727>.

12 **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.

13 **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*, 2016. – Vol. 106(1), article 012034, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/106/1/012034>.

14 **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.* – 2013. – Vol. 53(7), P. 1187–1194. – <https://doi.org/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.*, 2018. – Vol. 48. – P. 78–81. – <https://doi.org/10.3103/S0967091218020134>.

16 **Carlson, K., Beckermann, C.** «Prediction of shrinkage pore volume fraction using a dimensionless Niyama criterion», *Metallurgical and Materials Transactions A.* – 2009. – Vol. 40. – P. 163–175. – <https://doi.org/10.1007/s11661-008-9715-y>.

Accepted for publication on 07.12.23

**А. Т. Жакупова<sup>1</sup>, А. Н. Жакупов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

### МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫНЫҢ ҚҰЙЫЛҒАН ҚУЫС ДАЙЫНДАМАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН МОДЕЛЬДЕУ

*Жіксіз мұнай құбырларын өндіру үшін қуыс дайындамаларды құю процесін модельдеу жүргізілді. Жұмыстың мақсаты геометриялық пішінінің үздіксіз құйылған құбыр дайындамасының сапасы мен қасиеттеріне әсерін зерттеу болды. Модельдеу параметрлері, бастапқы және шекаралық шарттар ағымдағы өндіріс жағдайларын ескере отырып таңдалды. Зерттеу нысаны диаметрі 210 мм құбыр дайындамасы болды. дайындамаларды құю және қатайту процесін модельдеу кезінде төмен легирленген құрылымдық хром-*

*молибден болаты қолданылды. Процестерді модельдеу үшін дайындамалардың үш өлшемді модельдері, сондай-ақ пішін модельдері жасалды. Қуыс дайындаманы үздіксіз құюды және кристалдануды модельдеу кезінде бірнеше факторлар ескерілді: құю жылдамдығы, құйылатын қорытпаның химиялық құрамы; құю температурасы; дайындаманың көлденең қимасының геометриялық өлшемдері. «LVM Flow» бағдарламалық кешенінде қуыс дайындамаларды құюды модельдеу дайындаманың шөгілмейтін құрылымының қалыптасуын және микрокеуектілігінің төмендеуін (Нияма критерийі бойынша 0,85-тен астам) болжады. Имитациялық модельдеу нәтижесінде қуыс болат дайындаманы жіксіз ыстықтай илемделген құбырларды өндірудің бастапқы көзі ретінде пайдалану кезінде құрылымның жақсаруы теориялық тұрғыдан расталды. Қуыс дайындамада Нияма критерийі бойынша рұқсат етілген мәннен асатын шөгю және микро кеуектілік белгілері анықталған жоқ. Кілтті сөздер: қуыс дайындама, болат, модельдеу, құбыр, 25ХМФА.*

**А. Т. Жакупова<sup>1</sup>, А. Н. Жакупов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар. Принято к изданию 07.12.23.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТОЙ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ НЕФТЯНЫХ ТРУБ

*Проведено имитационное моделирование процесса литья полых заготовок для производства бесшовных нефтяных труб. Целью работы было исследование влияния геометрической формы на качество и свойства непрерывнолитой трубной заготовки. Параметры моделирования, начальные и граничные условия были выбраны с учетом условий текущего производства. Объектом исследования являлась трубная заготовка диаметром 210 мм. При моделировании процесса литья и затвердевания заготовок использовалась низколегированная конструкционная хромомолибденовая сталь. Для моделирования процессов были созданы трехмерные модели заготовок, а также модели форм. При моделировании непрерывной разливки и кристаллизации полой заготовки учитывалось несколько факторов: скорость разливки, химический состав разливаемого сплава; температура литья; геометрические размеры сечения заготовки. Моделирование литья полых заготовок в программном комплексе «LVM Flow» спрогнозировало формирование безусадочной структуры и снижение микропористости (более 0,85 по критерию Ниямы) заготовки. В результате имитационного моделирования теоретически подтверждено улучшение структуры при использовании полой стальной заготовки в качестве исходной для производства бесшовных горячекатаных труб. На полой заготовке не выявлено признаков усадки и микропористости, превышающих допустимое значение по критерию Ниямы.*

*Ключевые слова: полая заготовка, сталь, моделирование, труба, 25ХМФА.*



**Ye. Makhambetov<sup>1</sup>, \*A. Abdirashit<sup>2</sup>, Ye. Myngzhassar<sup>3</sup>,  
A. Baisanov<sup>4</sup>, A. Zhakan<sup>5</sup>**

<sup>1,4,5</sup>Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

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

\*e-mail: [a.abdirashit@tttu.edu.kz](mailto:a.abdirashit@tttu.edu.kz)

**THERMODYNAMIC AND EXPERIMENTAL SIMULATION  
OF THE SMELTING PROCESS  
OF MEDIUM CARBON FERROMANGANESE  
WITH THE USE OF ZHEZDINSKY MANGANESE ORES**

*This article presents the results of a complete thermodynamic modeling and experimental study of the process of smelting medium-carbon ferromanganese using Zhezdinsky manganese ores. Full thermodynamic modeling of the process of smelting medium-carbon ferromanganese was carried out in the HSC Chemistry 6 software package. Thermodynamic modeling of the smelting process was carried out in the temperature range of 898–1989 K. Thermodynamic analysis for modeling the smelting process was carried out for four real charge compositions depending on the basicity of the slag (CaO/SiO<sub>2</sub> – 1,4; 1,6; 1,8; 2,0). Based on the obtained thermodynamic data, an experimental study was carried out on the smelting of medium-carbon ferromanganese in a Tamman laboratory high-temperature furnace. Manganese ore MnTot. was used as charge material – 48,23 %, SiO<sub>2</sub> – 12,48 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,76 %, Fetot. – 3,45 %, ferrosilicomanganese grade SMn-17, not less than 90 % lime CaO. According to thermodynamic data, the optimal composition of the slag was established, which provides the highest extraction of manganese into the alloy and metal-slag separation. The chemical composition of the metal obtained in the laboratory is as follows, %: Mn – 83–84; Si – 1,5–3; C – 0,95–1,68; P – 0,13–1,6; which corresponds to GOST 4755-91. Slag chemical composition, %: MnO – 10,92–17,90; SiO<sub>2</sub> 19,02–21,45; CaO 36,92–40,43; FeO – 0,33–0,77.*

*Keywords: ferromanganese, ferrosilicomanganese, thermodynamics, manganese ore, laboratory smelting, slag basicity.*

**Introduction**

The main direction in the development of ferrous metallurgy is to improve the quality and increase the output of new highly efficient types of metal products, including alloy steels, the production of which is impossible without the use of refined manganese ferroalloys.

Despite significant advances in the development of ferroalloy production, the problem of the rational use of manganese has acquired particular importance in recent years. The main reason for this is the constantly deteriorating quality of mined manganese ores, as well as the high cost of raw materials and electricity. In this regard, the issues

of improving the technology for the production of refined manganese alloys continue to be relevant and require further theoretical, laboratory and industrial research.

One of the main determining factors in the development of the mining and metallurgical complex of a country is a high-quality ore and raw material base and its impressive reserves. Kazakhstan has large reserves of manganese raw materials and is among the top ten leading countries in terms of its production. Information about the manganese ore reserves of Kazakhstan is given in many open sources [1, 2]. The reserves of manganese ores in the country are sufficient in absolute terms to provide for the metallurgical enterprises of the Republic of Kazakhstan, however, their unsatisfactory quality served as an obstacle to the use of ores [3]. Along with ore quality requirements for phosphorus and silica content, there is also a restriction on iron content. This moment is absent in the universal integrated technology for the processing of manganese ore, which could provide the country's operating enterprises with high-quality raw materials. At the moment, Kazakhstan produces only ferrosilicomanganese, and there is no production of refined ferromanganese at all. This is primarily due to the lack of high-quality initial charge materials, as well as the lack of theoretical and applied research adapted to new production conditions.

In our country, the reserves of manganese ores are concentrated in Central Kazakhstan. Kazmanganets Mining Administration is the country's main enterprise for the extraction of manganese ore. In 2021, the mining department will produce 0.9 million tons of ore and 0.2 million tons. The main fields of management are the Dzhezdinskoye deposit and the Zhairmskoye GOK [4].

Kazakhstani sources of manganese raw materials are beneficial for Russia by the relative cheapness of the supplied products, the absence of interaction of import duties (like the countries of the Customs Union) and low transport costs for delivery to the place of consumption [5].

Ferrosilicomanganese is a deoxidizer in steel production. The largest producer of ferrosilicomanganese in the Republic of Kazakhstan is Aksu Ferroalloy Plant JSC, a branch of TUK Kazchrome JSC (ERG Eurasian Group). The plant has four main melting shops with 26 powerful electric furnaces, as well as auxiliary facilities. The production capacity is more than 1 million tons of ferroalloys per year, of which 200,000 tons of ferrosilicomanganese. The enterprise manufactures the following products: high-carbon ferrochrome, ferrosilichrome, ferrosilicon, ferrosilicomanganese. The company's products are exported to the markets of Western Europe, USA, Japan, China, Russia [4–6].

Based on the above requirements, it is clear that the production of medium-carbon ferromanganese in the country is the most promising. It is necessary to carry out experimental and theoretical work to determine the optimal basicity of the slag during the smelting of medium-carbon ferromanganese. Information obtained from laboratory studies is important in assessing the possibility of certain chemical interactions. The main raw materials for smelting medium-carbon ferromanganese are manganese ore, ferrosilicomanganese, and lime. The study of the main reactions in the Mn-Fe-Si-Al-Ca-Mg-O system is necessary to create a mechanism for the joint metallothermic

reduction of manganese, iron, silicon, aluminum in the alloy and to study the process of slag formation [7,8].

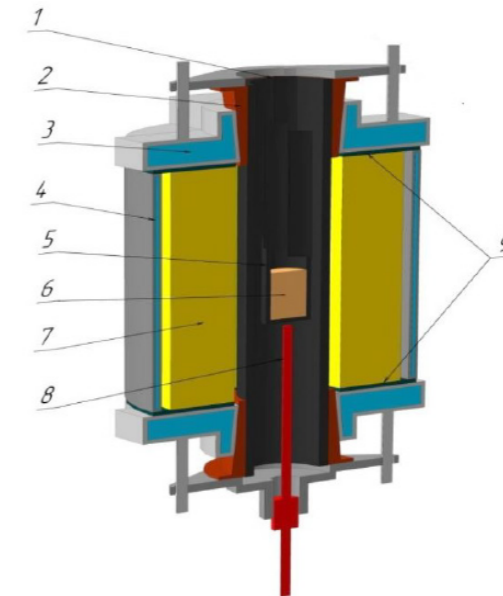
Materials and methods. Full thermodynamic modeling (FTM) is widely used in research and production practice in the study of chemically complex systems at high temperatures, when chemical and phase transformations play an important role.

FTM of the process of smelting complex master alloys was carried out using the HSC Chemistry software package [9,10] containing an extensive thermochemical database of enthalpy (H), entropy (S) and heat capacity (C) for more than 29,000 chemical compounds. The HSC Chemistry software package includes more than 10 modules. The article used the Equilibrium Compositions module using the equilibrium calculation method using the Gibbs minimum energy principle. To analyze the metallurgical reduction of manganese, the method of full thermodynamic modeling of the metallurgical process (TTM) was implemented using the HSC Chemistry 6 complex software package. Experimental studies were carried out on the smelting of medium-carbon ferromanganese in the Tamman high-temperature resistance furnace (Figure 1). The Tamman Furnace is designed to simulate metallurgical processes. The working area of the device is made of a graphite tube, and a thyristor voltage regulator is used to control the temperature. Since the thyristor voltage regulator is connected to the primary winding of the power transformer, it is possible to obtain a current of several thousand amperes on the output busbars at low voltage (in the range from 0.5 to 15V). The temperature in the Tamman furnace was measured with a VR-5/20 tungsten-rhenium thermocouple in a corundum housing [11, 12].

To determine the optimal mode of the metallurgical process, a complete thermodynamic analysis of the feedstock was carried out (Table 1).

Table 1 – Chemical composition of primary raw materials, %

Material	Mn <sub>tot</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>tot</sub>	MgO	CaO
Manganese ore	48,23	12,48	2,76	3,45	1,47	1,28
Lime	-	1	0,18	0,62	1,14	90
Reducing agent	Mn	Si	Fe	S	P	C
Ferrosilicomanganese	65,54	16,5	9,5	0,05	0,05	2,5



1 – carbon-graphite tube; 2 – copper compression ring;  
 3 – water-cooled cover; 4 – water-cooled housing; 5 – alundum glass;  
 6 – investigated charge; 7 – protective lining;  
 8 – thermocouple; 9 – bottom electrode;

Figure 1– Tamman High Temperature Furnace (sectional view)

To determine the thermodynamic parameters for the composition of the 4 options for raw materials, the composition of the working bodies was calculated in the range of 1.4–2.0, depending on the suitability of the slag (Table 2).



a – manganese ore

b – Ferrosilicomanganese



c – lime  
Figure 2 – Charge materials

Table 2 – List of raw materials for smelting medium-carbon ferromanganese, in grams

Raw materials, versions	Materials, gr		
	Manganese ore	Ferrosilicomanganese	Lime
1	59	53	38
2	59	53	44
3	59	53	49
4	59	53	55

The equilibrium composition of the multicomponent oxide-metal system was carried out every 100 K in the temperature range 898–1998 K using the Equilibrium Compositions software module. To calculate the silicothermal reduction of medium-carbon ferromanganese, the following phases were taken:

- in molten metal: Mn, Mn<sub>3</sub>Si, Fe, Fe<sub>3</sub>Si, MnSi, Si, Al, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, FeSi, FeSi<sub>2</sub>, MnSi<sub>1.7</sub>, MnSi<sub>1.727</sub>;
- in molten slag: 2CaO·SiO<sub>2</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, MnO, 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>, 2CaO·MgO·2SiO<sub>2</sub>, CaO, CaMgSiO<sub>4</sub>, MgO, CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, CaO·2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnSiO<sub>3</sub>, FeO, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, FeO·SiO<sub>2</sub>, 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, 2FeO·SiO<sub>2</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, Al<sub>4</sub>Mg<sub>2</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>, CaFe<sub>3</sub>O<sub>5</sub>.

**Results and discussion**

The results of thermodynamic modeling in 4 versions are presented in fig. 1. As a result, the complete reduction of manganese ends at a temperature of 1598 K. The optimal basicity of the slag composition is determined in the range of 1.6–1.8.

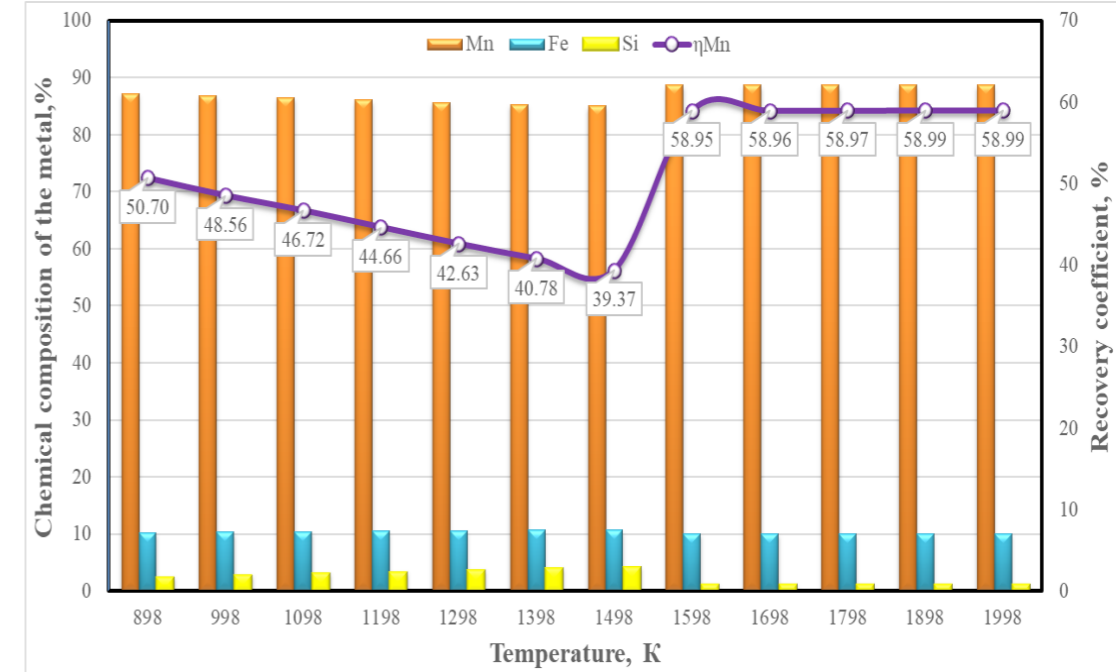


Figure 3 – Full results of thermodynamic modeling B=1.4

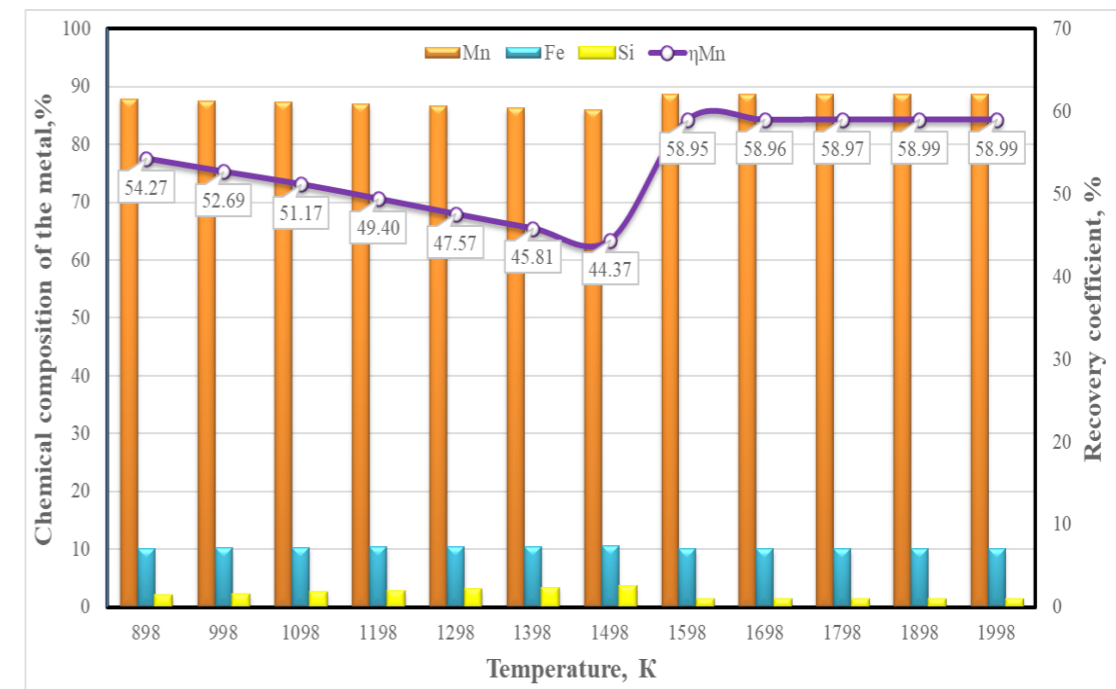


Figure 4 – Complete thermodynamic simulation results B=1,6

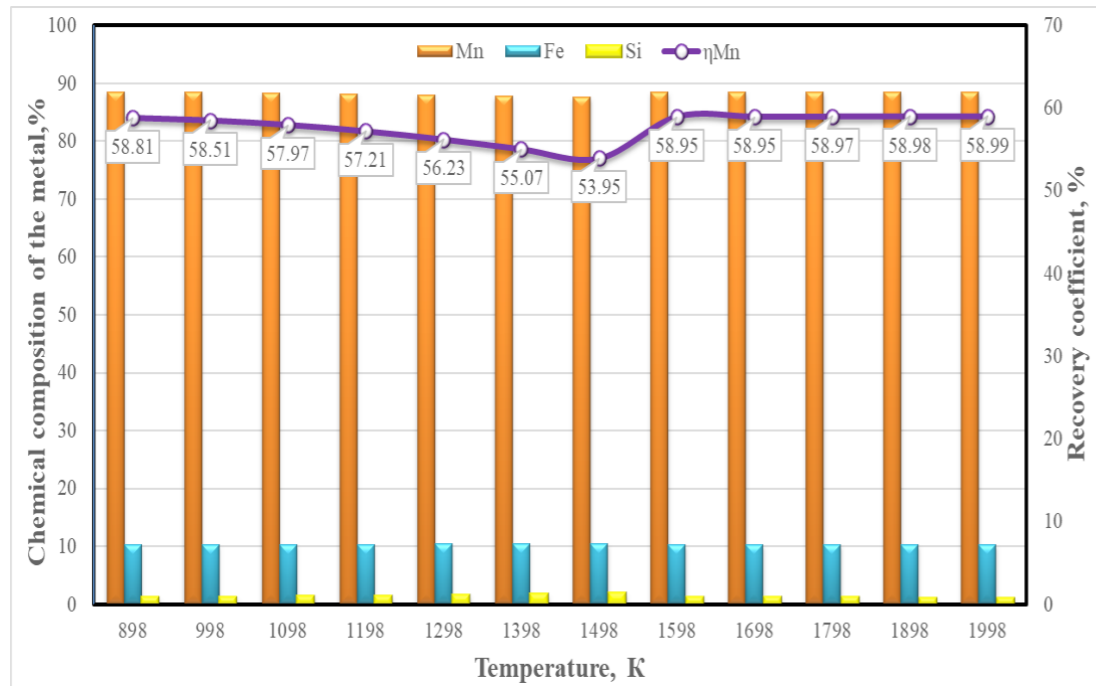


Figure 5 – Complete thermodynamic simulation results B=1,8

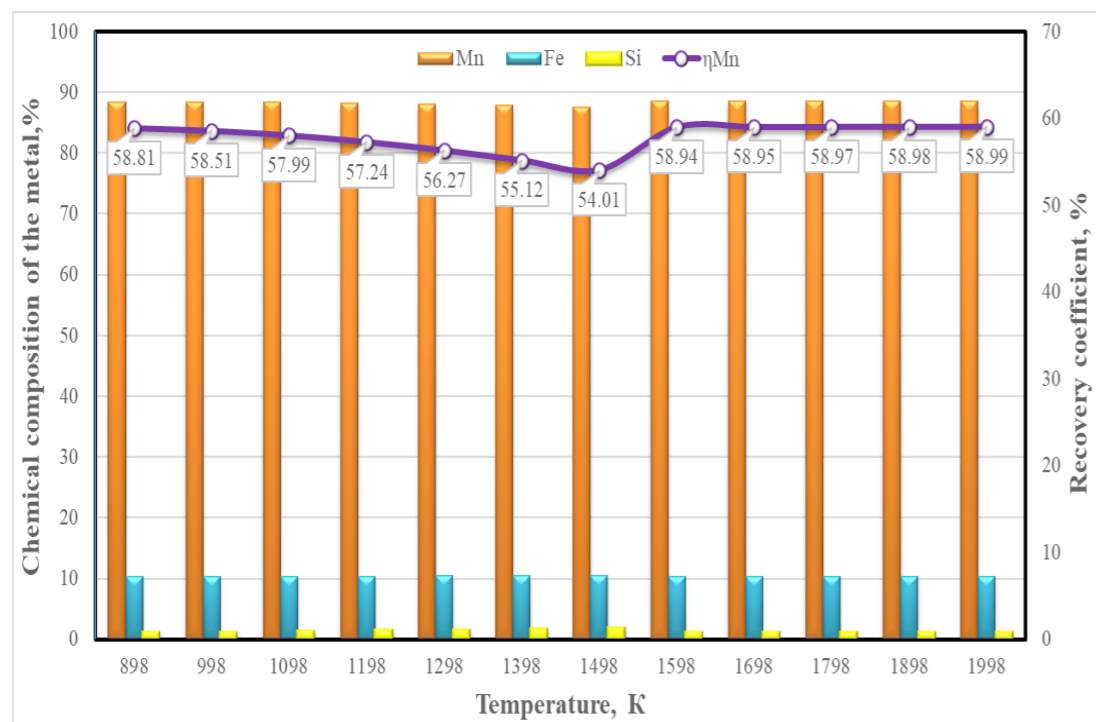


Figure 6 – Full results of thermodynamic simulation B=2.0

As a result of thermodynamic modeling of the process of smelting medium-carbon ferromanganese, a forecast for obtaining a real alloy was determined. Therefore, a

number of practical experiments were carried out with various raw materials in order to establish technological and temperature regimes and technical parameters close to the real conditions for carrying out reduction reactions.

Sampling and preparation of samples of manganese ores, ferrosilicomanganese, quartzite and lime were carried out to study the physical and chemical characteristics of raw materials used in laboratory studies.

The chemical composition of raw materials was taken according to table 1, and materials for experimental melting were prepared according to 4 options. The calculation was taken in the range of 1.4–2.0 depending on the basicity of the slag, as indicated above. The raw materials for the Tamman furnace were placed into the furnace space through the crucible.

During the experiment, according to the results of thermodynamic modeling, it was heated to a temperature of 1698 K. As a result of heating, further combustion of silicon in the deoxidizer allows the metal and slag to be completely formed. Figure 7 shows a cross section of a crucible (metal and slag).

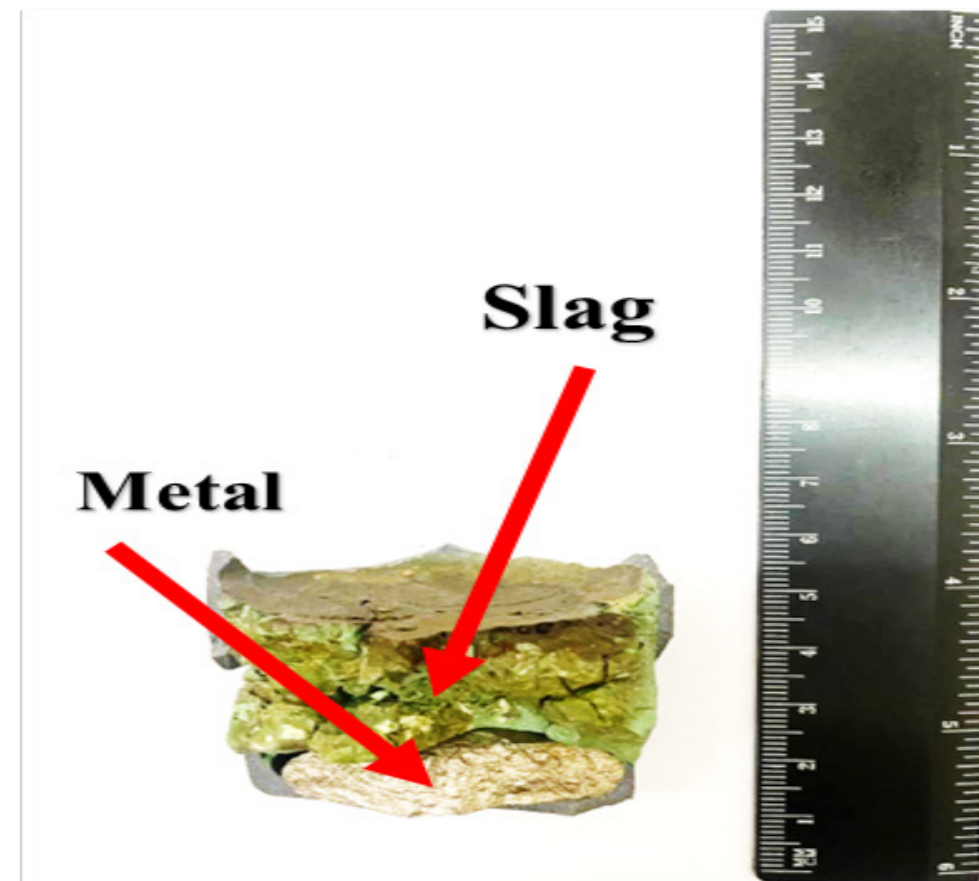


Figure 7 – Sectional crucible (metal and slag)

Tables 3 and 4 show the results of experimental melting in Tamman's laboratory resistance furnace and the chemical composition of the metal and slag. According to the obtained experimental results, the separation of metal and slag is shown in Table 5.

Table 3 – Chemical composition of the metal, %

№	Mn	Fe	Si	C	P
1	83,54	11,36	2,13	0,95	0,161
2	84,81	10,4	0,6	1,46	0,137
3	84,39	11,46	0,23	1,66	0,16
4	84,81	12,23	0,055	1,68	0,155

Table 4 – Chemical composition of slag, %

№	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	FeO
1	17,90	21,45	36,92	7,94	0,77
2	11,79	22,19	36,92	10,83	0,55
3	10,92	20,51	38,67	9,03	0,73
4	12,22	19,02	40,43	10,11	0,33

Table 5 – Extraction into the alloy, %

Variants	Distribution of elements			
	Metal		Slag	
	Fe	Mn	Fe	Mn
1	99	60	1	40
2	99	61	1	39
3	99	61	1	39
4	99	60	1	40

#### Financing information

This study is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14972750)

#### Conclusion

Full thermodynamic modeling of medium-carbon ferromanganese and the study of laboratory experiments in the Tamman furnace led to the following conclusions:

- temperature range by thermodynamic simulation

A period of 1598–1698 K was observed. As a result of the study, the optimal slag range of 1.6–1.8 is suitable for melting medium-carbon ferromanganese;

- The process was completely carried out at the working temperature of the Tamman furnace approximately 1598–1698. At a temperature of 1698 K, metal and slag were completely formed during the melting process.

In a word, the optimal requirements for the technological regime of the normal process of smelting medium-carbon ferromanganese, implemented in a refined furnace, were established. It allows you to conduct laboratory and large-scale laboratory tests based on data obtained from thermodynamic and laboratory studies.

#### REFERENCES

- 1 **Букетов, Е. А., Габдуллин, Т. Г., Такенов, Т. Д.** *Металлургическая переработка марганцевых руд Центрального Казахстана.* – Алматы, 1979. – 184 с.
- 2 **Baisanov, S. O., Baisanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliev, D. A., Ospanov, N. I.** Development of smelting technology of refined ferromanganese with special complex reducing agents // *Izvestiya Ferrous Metallurgy.* – 2018. – Vol. 61. – № 9. – P. 689–694.
- 3 **Акылбек, С. А.** *Марганец Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологическая.* – 2019. – № 1. – С. 42–53.
- 4 *Годовой отчет // АО ТК КазХром, 2022.* – [Электронный ресурс]. – [https://www.kazchrome.com/files/pdf/ERG\\_Kazchrom\\_Kaz\\_2021\\_0707.pdf](https://www.kazchrome.com/files/pdf/ERG_Kazchrom_Kaz_2021_0707.pdf) (Дата обращения 25.02.2023).
- 5 **Боярко, Г. Ю., Хатьков, В. Ю.** Критические товарные потоки марганцевого сырья в России // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* – 2020. – Т. 331. – № 4. – С. 38–53.
- 6 *Годовой отчет // Sat&Go Managing company, 2016.* – [Электронный ресурс]. – [https://kase.kz/files/emitters/SATC/satcp\\_2016\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/SATC/satcp_2016_rus.pdf) (Дата обращения 28.02.2023).
- 7 **Mukono, T., Wallin, M., Tangstad, M.** Phase Distribution During Slag Formation in Mn Ferroalloy Production // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science.* – 2022. – Vol. 53. – № 2. – P. 1122–1135.
- 8 **Mukono, T., Wallin, M., Tangstad, M.** Slag Reduction and Viscosities Interaction in Ferromanganese Process // *Minerals, Metals and Materials Series.* – 2022. – P. 145–158.
- 9 **Antti Roine, Jarkko-Mansikka-aho, Tuukka Kotiranta, Peter Bjorklund, Pertti Lamberg.** *HSCChemistry 6.0 User's Guide.* Outotec Research Oy. – 2006.
- 10 **Roine A.** *Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium list with Extensive Thermo chemical Database.* – Pori : Outokumpu Research OY, 2002.
- 11 **Шабанов, Е. Ж., Қуатбай, Е. Қ., Махамбетов, Е. Н., Төлеуқадыр, Р. Т.** Жоғары күлді «Сарыадыр» көмірін пайдалана отырып, жоғары көміртекті феррохром балқыту процесін термодинамикалық және эксперименттік модельдеу // *Engineering Journal of Satbayev University.* – 2022. – Т. 144. – № 6. – Б. 11–17.
- 12 **Махамбетов, Е. Н., Әбдірашит, А. М., Қуатбай, Е. Қ., Yucel, O., Тәжиев, Е. Б.** *Алюмосиликомарганец кешенді қорытпасын балқытуға арналған шикіқұрам материалдарының электрофизикалық қасиеттерін зерттеу // Engineering Journal of Satbayev University.* – 2022. – Т. 144. – № 2. – Б. 15–21.

Accepted for publication 18.09.23.

- 1 **Buketov, E. A., Gabdullin, T. G., Takenov, T. D.** Metallurgicheskaya pererabotka margancevy`x rud Central`nogo Kazaxstana [Metallurgical processing of manganese ores in Central Kazakhstan]. – Almaty, 1979. – P. 184.
- 2 **Baisanov, S. O., Baisanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliev, D. A., Ospanov, N. I.** Development of smelting technology of refined ferromanganese with special complex reducing agents // Izvestiya Ferrous Metallurgy. – 2018. – Vol. 61. – № 9. – P. 689–694.
- 3 **Akylbekov, S. A.** Marganecz Kazaxstana [Manganese of Kazakhstan] // Izvestniya NAN RK. Seriya geologicheskaya. – 2006. – № 1. – P. 42–53.
- 4 Godovoj oчетet [Annual report]// AO TNK KazXrom, 2022. – [Electronic resource]. – [https://www.kazchrome.com/files/pdf/ERG\\_Kazchrom\\_Kaz\\_2021\\_0707.pdf](https://www.kazchrome.com/files/pdf/ERG_Kazchrom_Kaz_2021_0707.pdf) (Date of application 25.02.2023).
- 5 **Boyarko, G. Yu., Khatkov, V. Yu.** Kriticheskie tovarny`e potoki margancevogo sy`r`ya v Rossii [Critical commodity flows of manganese raw materials in Russia] // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2020. – Vol. 331. – № 4. – P. 38–53.
- 6 Godovoj oчетet [Annual report]// Sat&Go Managing company, 2016. – [Electronic resource]. – [https://kase.kz/files/emitters/SATC/satcp\\_2016\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/SATC/satcp_2016_rus.pdf) (Date of application 28.02.2023).
- 7 **Mukono, T., Wallin, M., Tangstad, M.** Phase Distribution During Slag Formation in Mn Ferroalloy Production // Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science. – 2022. – Vol. 53. – № 2. – P. 1122–1135.
- 8 **Mukono, T., Wallin, M., Tangstad, M.** Slag Reduction and Viscosities Interaction in Ferromanganese Process // Minerals, Metals and Materials Series. – 2022. – P. 145–158.
- 9 **Antti Roine, Jarkko-Mansikka-aho, TuukkaKotiranta, Peter Bjorklund, Pertti Lamberg.** HSCChemistry 6.0 User`sGuide. OutotecResearch Oy. – 2006.
- 10 **Roine A.** Outokumpo HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium lift ware with Extensive Thermo chemical Database. – Pori : Outokumpu Research OY, 2002.
- 11 **Ye. Zh. Shabanov, Ye. K. Kuatbay E., Ye. N. Makhambetov, R. T.** Toleukadur Zhoғary` kyldi «Sary`ady`r» kəmirin pajdalana oty`ry`p, zhoғary` kəmirtekti ferroxrom balky`tu procesin termodinamikaly`k zhəne e`ksperimenttik model`deu [Thermodynamic and experimental simulation of the selting process of high-carbon ferrochrome with the use of high-ash coal «Saryadyr»] // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Vol. 144. – № 6. – P. 11–17.
- 12 **Ye. N. Makhambetov, A. M. Abdirashit, Ye. K. Kuatbay, O. Yucel, Ye. B. Tazhiyev.** Alyumosilikomarganecz keshendi qory`tpasy`n balky`tuға arnalған shikiqұram materialdary`ny`n e`lektrofizikalы`k қasiеттерін zertteu [Research of electrophysical properties of charge materials for smelting a complex alloy of

aluminosilicomanganese] // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Vol. 144. – № 2. – P. 15–21.

**Е. Н. Махамбетов<sup>1</sup>, \*А. М. Әбдірашит<sup>2</sup>, Е. А. Мынжасар<sup>3</sup>,  
А. С. Байсанов<sup>4</sup>, А. М. Жақан<sup>5</sup>**

<sup>1,4,5</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанда қ.;  
<sup>2,3</sup>Қарағанды индустриялық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.  
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

### ЖЕЗДІ МАРГАНЕЦ КЕНІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦТІ БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК МОДЕЛЬДЕУ

*Бұл мақалада толық термодинамикалық модельдеу нәтижелері және Жезді марганец кендерін қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесін эксперименттік зерттеу келтірілген. Орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу «HSC Chemistry 6» бағдарламалық кешенінде жасалынды. Балқыту процесін термодинамикалық модельдеу 898–1989 К температуралық интервалда жүргізілді. Балқыту процесін модельдеуге арналған термодинамикалық талдау қождың негізділігіне байланысты шиктаның төрт нақты құрамы үшін жүргізілді (CaO/SiO<sub>2</sub> – 1,4; 1,6; 1,8; 2,0). Алынған термодинамикалық мәліметтерге сәйкес Тамманның Жоғары температуралы зертханалық пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Марганец кені шикіқұрам материалдары ретінде пайдаланылды Mn обц. – 48,23 %, SiO<sub>2</sub> – 12,48 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,76 %, Fe обц. – 3,45 %, SMn-17 маркалы ферросиликомарганец, әк CaO 90 % аспауы керек. Термодинамикалық мәліметтерге сәйкес, қождың оңтайлы құрамы анықтай отырып, марганецтің қорытпаға ең жоғары шығарылуын және металл-қождың бөлінуін қамтамасыз етеді. Зертханалық жағдайда алынған металдың химиялық құрамы келесідей %: Mn – 83–84; Si – 1,5–3; C – 0,95–1,68; P – 0,13–1,6; который соотвествует ГОСТу 4755-91. Қождың химиялық құрамы, %: MnO – 10,92–17,90; SiO<sub>2</sub> 19,02–21,45; CaO 36,92–40,43; FeO – 0,33–0,77.*

*Кілтті сөздер: ферромарганец, ферросиликомарганец, термодинамика, марганец кені, зертханалық балқыту, қож негізділігі.*

*Е. Н. Махамбетов<sup>1</sup>, \*А. М. Әбдірашит<sup>2</sup>, Е. А. Мынжасар<sup>3</sup>,  
А. С. Байсанов<sup>4</sup>, А. М. Жақан<sup>5</sup>*

<sup>1,4,5</sup>Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева,  
Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>2,3</sup>Карагандинский индустриальный университет,  
Республика Казахстан, г. Темиртау.

Принято к изданию 18.09.23.

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЗДИНСКИХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

*В данной статье приведены результаты полного термодинамического моделирования и экспериментальное исследование процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с использованием Жездинских марганцевых руд. Полное термодинамическое моделирование процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца были произведены в программном комплексе «HSC Chemistry 6». Термодинамическое моделирование процесса выплавки проводили в интервале температуры 898–1989 К. Термодинамический анализ для моделирования процесса выплавки осуществлялся для четырех реальных составов шихты в зависимости от основности шлака ( $CaO/SiO_2$  – 1,4; 1,6; 1,8; 2,0). По полученным термодинамическим данным были проведены экспериментальные исследования по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в лабораторной высокотемпературной печи Таммана. В качестве шихтовых материалов были использованы марганцевая руда Мпобиц. – 48,23 %,  $SiO_2$  – 12,48 %,  $Al_2O_3$  – 2,76 %, Feобиц. – 3,45 %, ферросиликомарганец марки СМн-17, известность CaO не менее 90 %. Согласно термодинамическим данным установлен оптимальный состав шлака, которое обеспечивает наиболее высокое извлечение марганца в сплав и разделение металл-шлак. Химический состав металла полученного лабораторных условиях следующее, %: Mn – 83-84; Si – 1,5-3; C – 0,95-1,68; P – 0,13-1,6; который соответствует ГОСТу 4755-91. Химический состав шлака, %: MnO – 10,92-17,90;  $SiO_2$  19,02-21,45; CaO 36,92-40,43; FeO – 0,33-0,77.*

*Ключевые слова: ферромарганец, ферросиликомарганец, термодинамика, марганцевая руда, лабораторная плавка, основность шлака.*

МРНТИ 53.37.13:53.01.25

<https://doi.org/10.48081/PEWZ3018>

*А. А. Kamenov<sup>1</sup>, \*А. V. Bogomolov<sup>2</sup>, P. O. Bykov<sup>3</sup>,  
M. M. Suyundikov<sup>4</sup>, A. K. Zhunussov<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraighyrov university, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

\*e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

### TEST OF AN BAKED ANODE OF AN ALUMINUM ELECTROLYZER WITH A NEW NIPPLE SOCKET DESIGN

*The results of laboratory and industrial tests on a new design of a baked anode for aluminum electrolyzers are presented. At present, in the process of dismantling anodes from anode holders, there is a problem with the incomplete removal of cast iron filling from steel nipples.*

*At loose contact of the nipple with the carbon block, there is the formation of a solid cast iron layer between the nipple and the anode, which leads to the formation of a thick solid bottom of the cast iron filling without a central hole provided in the corresponding drawing. This situation makes it difficult to remove the cast iron casting from the steel nipple.*

*Moreover, the increased thickness of the bottom of the cast iron casting results in additional electrical resistance, which reduces electrical conductivity and adversely affects the voltage across the contact between the nipple and the anode.*

*The anode of the new design offers a solution to this problem. A feature of the new anode design is the modification of the cast iron casting geometry by modifying the design of the anode holder nipple socket. The anode has trapezoidal protrusions located along the anode axis on both sides of the «lug» protrusion in the nipple socket. The new design provides stress concentration. It allows more efficient and less labor-intensive removal of the cast iron casting.*

*Keywords: baked anode, anode dismantling, cast iron casting, electrical voltage drop, aluminum electrolyzer.*

#### Introduction

Modern electrolyzers use an anode array consisting of pre-baked carbon blocks, which are arranged in two rows along the electrolysis bath. These blocks have sockets into which steel nipples filled with cast iron are inserted. The nipples are connected to the aluminum anode holder using electric welding [1–3].

Before casting the cast iron, the anode holder with nipples is immersed in a bath with colloidal graphite preparation and undergoes the drying process at a special station for nipples. The installed anodes remain in the electrolysis bath for 27–28 days. After completion of the electrolysis process, the anode holder with nipples is sent to the dismantling station to remove the cast iron casting. However, the hydraulic press does not always ensure complete removal of the cast iron casting, so if necessary, rods with anode holders are sent to the repair station for manual removal of the casting and cleaning of the nipples [4].

In the course of research at the production site, cases of increased thickness in the bottom of the cast iron casting were found. The destruction of such a casting requires considerable effort, sometimes exceeding the capabilities of the press used. The increased thickness of the bottom of the cast iron casting is because not all nipples fit tightly to the anode protrusions when they are inserted into a nipple socket. There are four steel nipples welded on the anode holder rod, which change their geometric dimensions after the electrolysis process as a result of physical and chemical influences.

Moreover, the increase in the thickness of the bottom of the cast iron casting leads to additional electrical resistance, which adversely affects the voltage value in the contact between the nipple and the anode [4]. To address these issues, a new design of a baked anode was developed and patented [5].

The new design of a baked anode of an aluminum electrolyzer consists of a current supply rod, a steel bracket with nipples fixed by cast iron casting in a carbon block, and differs in that the carbon block is additionally provided with trapezoidal protrusions, located along the anode axis on both sides of the «lug» protrusion in the nipple socket and made with a height equal to that of the «lug» protrusion, the width of the surfaces depending on the diameter of the «lug» protrusion and equal to 0.3-0.4 times the diameter.:

$$B=f(d)=0.3 - 0.4$$

#### Methods and materials

To develop an innovative design for the baked anode, an extensive patent search [6,7] and a series of research studies were undertaken. Three distinct 3D models of cast iron casting were created, namely, the «cast iron casting of the proposed design with a mechanical stress concentrator» (Figure 1), «cast iron casting with a hole», and «cast iron casting with a poured bottom». Utilizing the APM FEM software environment for KOMPAS-3D, each model underwent meticulous computer simulations to analyze the fracture process of the cast iron casting. During the simulations, the hydraulic press punch's pressure on the cast iron pour and the anode holder nipple was thoroughly examined.

For ensuring reliable and realistic testing, a maximum load of 4000 kN was applied. This value was determined based on calculations established in prior work for a single cylinder [4]. The simulations allowed us to assess the structural integrity and performance of each cast iron casting variant under different loading conditions, providing valuable insights for the development of the new baked anode design.

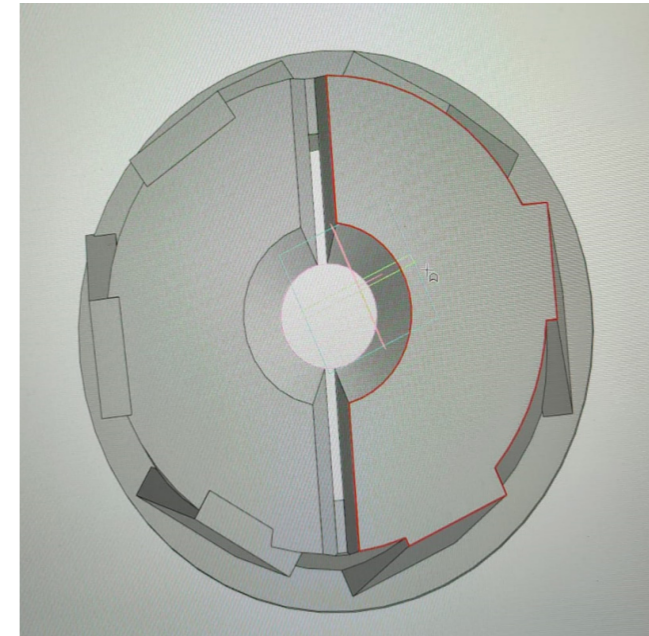


Figure 1 – 3D model of cast iron casting of the proposed design (with mechanical stress concentrator)

2) During the course of the experiment, a scale model tooling was fabricated in the laboratory. The tooling was purposefully designed to include a steel rod, which effectively simulated the anode nipple (refer to Figure 2 for details). Subsequently, employing a laboratory hydraulic press, specifically the PGM 1000-MG4, we conducted controlled fracture tests on the cast iron casting. Throughout the experiment, the actual force applied during the fracture process was accurately measured and recorded (see Figure 3 for the force measurement setup).

The scale model tooling served as a valuable experimental setup, providing crucial insights into the fracture behavior of cast iron casting under controlled conditions.

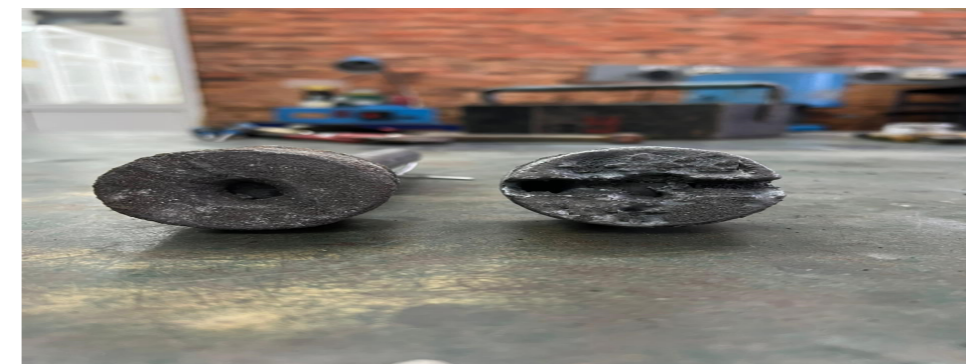


Figure 2 – Scale model tooling





Figure 3 – Results of measuring the fracture force of cast iron casting

3) To implement the experiment in the production conditions, several anode mass inserts were manufactured (Figure 4). These inserts are designed for subsequent installation in the existing nipple sockets of anodes, to create a concentrator of mechanical stresses in the cast iron casting. This concentrator helps to reduce the fracture force of the cast iron casting when using a hydraulic press.

The use of these inserts serves as an essential step in enhancing the accuracy and applicability of the experimental findings, ensuring that the results obtained can be effectively applied to real production environments.

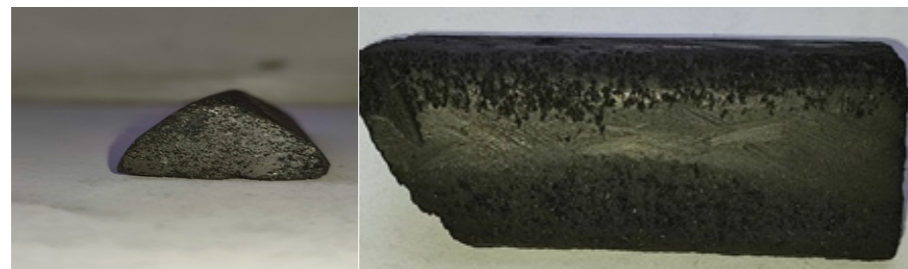


Figure 4 – Graphite insert sample

**Results and discussions**

The essence of the new design of the baked anode lies in the incorporation of trapezoidal protrusions within the nipple socket, effectively altering the geometry of the cast iron casting and thereby forming concentrators of mechanical stresses in the structure.

The laboratory tests conducted to assess the performance of the baked anode for aluminum electrolyzers have yielded promising results. The obtained data revealed that during the cast iron casting fracture process at the dismantling station after the electrolysis, an average 32.4 % reduction in the required press force was achieved compared to the existing production design [5].

For industrial-scale testing, graphite inserts were installed in the experimental anode (refer to Figure 5). These inserts represent a key feature of the experimental setup, aiming to replicate real-world conditions and validate the practical applicability of the proposed anode design.

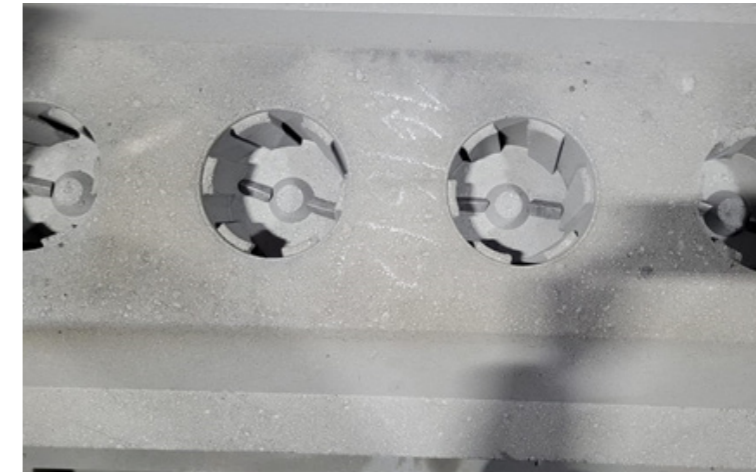


Figure 5 – Installed graphite inserts in the experimental anode

Extensive industrial testing has revealed and verified the significant effectiveness of enhancing the contact area between the carbon block and the steel nipple through the implementation of a novel nipple socket design.

The carbon blocks comprising the anode array play a pivotal role in facilitating electrical contact with the nipples, which serve as conduits for delivering electric current during the electrolysis process [8–10]. It has been identified that a loose fit between the carbon block and the nipple can result in reduced contact area, adversely impacting the overall efficiency of the electrolysis process. Table 1 presents the measured results of voltage drop in anodes utilized during the production process.

Table 1 – Results of voltage drop measurements in the nipple-anode contact

No. of Electrolyzera	Voltage drop of anode No.1, mV	Voltage drop of anode No.2, mV
221	121	119
223	170	184
224	172	155
229	143	150
230	137	133
232	167	107

The acquired findings hold crucial practical significance for industrial enterprises involved in aluminum production. The augmentation of the contact area between the carbon block and steel nipple can yield a substantial improvement in the efficiency and stability of aluminum electrolyzers. This, in turn, leads to enhanced product quality, reduced energy consumption, and increased economic viability of the overall process.

Based on the results obtained during the tests of the new design conducted at the production site, a notable reduction in voltage drop at the contact point between the nipple and the anode was observed. The average voltage drop of the proposed design's baked anode for the aluminum electrolyzer was measured at 37.8 mV. In comparison to the anode used in regular production, the voltage drop exhibited an average reduction of 73.12 % [5].

These outcomes highlight the substantial benefits of the proposed design, underscoring its potential to revolutionize aluminum production processes and contribute to greater sustainability and competitiveness in the industry. The significant decrease in voltage drop signifies improved electrical performance and more efficient utilization of resources, leading to a more cost-effective and environmentally friendly approach to aluminum production.

#### Conclusion

The research thoroughly investigated the problem of incomplete removal of cast iron casting from steel nipples of anode holders during the process of dismantling burnt anodes. The primary influencing factors include the loose contact between the nipple and anode protrusion caused by uneven ends of four nipples on one crosshead and the formation of a solid cast iron layer leading to the absence of a central hole.

To solve the aforementioned problem, a new baked anode was developed and extensively examined through laboratory and industrial testing. The design had two primary objectives: to establish an efficient and convenient process for removing cast iron casting and to reduce the electrical voltage drop at the contact interface between the nipple and the anode. The new anode design's key feature is modifying the cast iron casting geometry by altering the anode holder's nipple socket design.

Test results indicate that the new anode design concentrates stress effectively in areas where crack localization occurs, leading to the subsequent destruction of the cast iron casting. This feature aids in the efficient dismantling of cast iron casting. One important result is that the average press force required to break the cast iron casting after electrolysis at the dismantling station is reduced by 32.4 % compared to using the existing design.

Additionally, the modified geometry of the cast iron casting leads to a substantial increase in the contact area between the steel nipple and the carbon block. As a result, there is an average reduction of 73.12 % in the electrical voltage drop at the nipple-anode contact. This decrease in electrical voltage is instrumental in establishing a more stable and efficient electrolysis process.

The findings of this study carry significant implications for industrial enterprises engaged in aluminum production. The adoption of the new design of an baked anode has the potential to enhance productivity, lower energy costs, and improve the quality of the produced products. These advancements present exciting prospects for process optimization and elevate the overall competitiveness of the aluminum industry.

In conclusion, the results of this research pave the way for transformative changes in aluminum electrolyzer anode design and offer practical solutions to the challenges of incomplete cast iron casting removal and electrical voltage drop. The application

of the proposed design has far-reaching benefits, contributing to greater sustainability, efficiency, and economic viability in the aluminum production process.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Янко, Э. А.** Аноды алюминиевых электролизеров [Текст] / Э. А. Янко // М. : Руды и металлы. – 2001. – 672 с.
- 2 **Лысенко, О. Е.** Современное состояние мирового и отечественного производства обожженных анодов для алюминиевых электролизеров [Текст] / О. Е. Лысенко, Г. В. Галевский, В. В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2018. – № 41. – С. 16–27.
- 3 **Kamenov, A. A.** Determination properties of cast iron used in the installation of anodes [Текст] / A. A. Kamenov, A. V. Bogomolov, B. O. Vykov, A.K. Zhunusov, M.M. Suyundikov // Metallurgija. – 2023. – № 62 (1). – 107–110 p.
- 4 **Каменов, А. А.** Анодтарды бөлшектеу кезіндегі шойын құймасын жүктеуді имитациялық үлгілеу [Текст] / А. А. Каменов, А. В. Богомолов, Т. А. Рыспаев, П. О. Быков, М. М. Суюндиков // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 3. – С. 96–102.
- 5 Патент KZ №36204 Обожженный анод алюминиевого электролизера – опубл.: 05.05.2023 Бюл. № 18
- 6 Патент RU 2682507 Способ снижения контактного напряжения в алюминиевом электролизере – опубл.: 19.03.2019 Бюл. № 8.
- 7 Патент RU 132082 на полезную модель. Обожженный анод алюминиевого электролизера – опубл.: 10.09.2013 Бюл. № 25.
- 8 **Babkin, V. G.** Effect of Cast Iron Structure and Properties on Contact Quality with an Aluminum Electrolyzer Carbon Anode [Text] / V. G. Babkin, V. A. Kukartsev, A. I. Cherepanov et al. // Metallurgist. – 2017. – Т. 61 (3-4). – С. 318–324.
- 9 **Ali, M. M.** Characterization of new cast iron alloys for the stub-anode connection in the aluminium reduction cells [Text] / M. M. Ali, A. Nofal, A. Kandil, M. Agour // Int. Journal of engineering research and application. – 2013. – V.3. – № 5. – 414–419 p.
- 10 **Berends, W.** Low Resistance Anode Assembly Using Steel Stubhole Conductors Across The Cast Iron To Carbon Interface [Text] / W. Berends, S. Haley, M. Gagnon // Light Metals 2016 TMS. – 2016. – P. 965–969.
- 11 **Richard, D.** Challenges in Stub Hole Optimisation of Cast Iron Rodded Anodes [Text] / D. Richard, P. Goulet, O. Trempe, M. Dupuis, M. Fafard // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 543–548.
- 12 **Fortin, H.** FEM analysis of voltage drop in the anode connector induced by steel stub diameter reduction [Text] / H. Fortin, N. Kandeve, M Fafard // Finite Elements in Analysis and Design. – 2012. – № 52. – P. 71–82.

13 **Peterson, R. W.** Temperature and Voltage Measurements in Hall Cell Anodes [Text] / R.W. Peterson // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 500–508.

14 **Peterson, R. W.** Studies of Stub to Carbon Voltage. R.W. Peterson [Text] // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 510–515.

15 **Ohlswager, M. D.** Anode Cast Iron Thickness Optimization / M.D. Ohlswager, G. E. Goeres, R. W. Peterson [Text] // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 524–528.

## REFERENCES

1 **Yanko, E. A.** Anody alyuminiyevykh elektrolizerov [Anodes of aluminum electrolyzers] [Text] / E. A. Yanko. – Moscow : Rudy i metally. – 2001. – 672 p.

2 **Lysenko, O. E.** Sovremennoe sostoyanie mirovogo i otechestvennogo proizvodstva obozhzhennykh anodov dlya alyuminiyevykh elektrolizerov [Current state of global and domestic production of baked anodes for aluminum electrolyzers] [Text] / O. E. Lysenko, G. V. Galevskiy, V. V. Rudneva // Vestnik gorno-metallurgicheskoy seksii Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk. Otdelenie metallurgii. – 2018. – № 41. – P. 16–27.

3 **Kamenov, A. A.** Determination properties of cast iron used in the installation of anodes [Text] / A.A. Kamenov, A.V. Bogomolov, B.O. Bykov, A.K. Zhunusov, M. M. Suyundikov // Metallurgiya. – 2023. – № 62 (1). – 107–110 p.

4 **Kamenov, A. A.** Anodtardy bol'shekту kezindegi shoin quyumasyn zhuulyk ulgileu [Simulation modeling of loading of cast iron during disassembly of anodes] [Text] / A. A. Kamenov, A.V. Bogomolov, T. A. Ryspaev, P. O. Bykov, M. M. Suyundikov // Nauka i tekhnika Kazakhstana. – 2022. – № 3. – P. 96–102.

5 Patent KZ №36204 Obozhzhennyj anod alyuminiyevogo elektrolizera – opubl.: 05.05.2023 Byul. № 18 [Patent KZ №36204 Burnt anode of aluminum electrolyzer – publ.: 05.05.2023 Byul. No. 18].

6 Patent RU 2682507 Sposob snizheniya kontaktnogo napryazheniya v alyuminiyevom elektrolizere – opubl.: 19.03.2019 Byul. № 8 [Patent RU 2682507 Method of reducing the contact voltage in an aluminum electrolyzer – publ.: 19.03.2019. – Vol. № 8.].

7 Patent RU 132082 na poleznuyu model. Obozhzhennyj anod alyuminiyevogo elektrolizera – opubl.: 10.09.2013 Byul. № 25 [Patent RU 132082 for a utility model. Burned anode of an aluminum electrolyzer - publ.: 10.09.2013. – Vol. № 25.].

8 **Babkin, V.G.** Effect of Cast Iron Structure and Properties on Contact Quality with an Aluminum Electrolyzer Carbon Anode [Text] / V. G. Babkin, V. A. Kukartsev, A.I. Cherepanov et al. // Metallurgist. – 2017. – T. 61 (3-4). – С. 318–324

9 **Ali M. M.** Characterization of new cast iron alloys for the stub-anode connection in the aluminium reduction cells [Text] / M.M. Ali, A. Nofal, A. Kandil, M. Agour // Int. Journal of engineering research and application. – 2013. – V.3. – № 5. – 414–419 p.

10 **Berends, W.** Low Resistance Anode Assembly Using Steel Stubhole Conductors Across The Cast Iron To Carbon Interface [Text] / W. Berends, S. Haley, M. Gagnon // Light Metals 2016 TMS. – 2016. – P. 965–969.

11 **Richard, D.** Challenges in Stub Hole Optimisation of Cast Iron Rodded Anodes [Text] / D. Richard, P. Goulet, O. Trempe, M. Dupuis, M. Fafard // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Volume 4, Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 543–548.

12 **Fortin, H.** FEM analysis of voltage drop in the anode connector induced by steel stub diameter reduction [Text] / H. Fortin, N. Kandeov, M Fafard // Finite Elements in Analysis and Design. – 2012. – № 52. – P. 71–82.

13 **Peterson, R. W.** Temperature and Voltage Measurements in Hall Cell Anodes [Text] / R.W. Peterson // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. –4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 500–508.

14 **Peterson, R. W.** Studies of Stub to Carbon Voltage. R.W. Peterson [Text] // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 510–515.

15 **Ohlswager, M. D.** Anode Cast Iron Thickness Optimization / M.D. Ohlswager, G.E. Goeres, R.W. Peterson [Text] // Essential Readings in Light Metals. – 2016. – Vol. 4. Electrode Technology for Aluminum Production. – P. 524–528.

Accepted for publication on 20.09.23.

*A. A. Каменов<sup>1</sup>, \*А. В. Богомолов<sup>2</sup>, П. О. Быков<sup>3</sup>,*

*М. М. Суюндиков<sup>4</sup>, А. К. Жунусов<sup>5</sup>*

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

Басып шығаруға 20.09.23 қабылданды.

#### ЕМІК ҰЯСЫНЫҢ ЖАҢА КОНСТРУКЦИЯСЫ БАР АЛЮМИНИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРІНІҢ КҮЙДІРІЛГЕН АНОДЫН СЫНАУ

*Алюминий электролизерлеріне арналған күйдірілген анодтың жаңа конструкциясын зертханалық және өнеркәсіптік сынақтарының нәтижелері келтірілген. Қазіргі уақытта анод ұстағыштардан күйіктерді бөлшектеу процесінде болат еміктерден шойын құймасын толық алып тастау мәселесі бар.*

*Емік көмір блогымен тығыз байланыста болмаған кезде, емік пен анод арасында қалың шойын қабаты пайда болады, бұл тиісті сызда қарастырылған орталық саңылаусыз шойын құймасының қалың, тұтас түбінің пайда болуына әкеледі. Бұл жағдай болат еміктен шойын құймасын алып тастау процесін қиындатады.*

*Сонымен қатар, шойын құймасының түбінің қалыңдығының артуы қосымша электр кедергісіне әкеледі, бұл электр өткізгіштігін төмендетеді және емік пен анод арасындағы кернеу мәшеріне теріс әсер етеді.*

Жаңа конструкциялы анод бұл мәселенің шешімін ұсынады. Анодтың жаңа конструкциясының ерекшелігі - анод ұстағыштың емік ұясының конструкциясын өзгерту арқылы шойын құймасының геометриясын өзгерту. Анод емік ұясындағы «дөңесіе» шығыңқысының екі жағында анод осі бойымен орналасқан трапеция тәрізді шығыңқылармен жабдықталған. Жаңа конструкция жарықтар оқшаулау және шойын құймасының кейіннен бұзылуы орын алатын жерлерде кернеулердің шоғырлануын қамтамасыз етеді. Бұл шойын құймасын алып тастау тиімдірек және аз еңбекті қажеттілігін қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: күйдірілген анод, анодты бөлшектеу, шойын құймасы, электр кернеуінің айырымы, алюминий электролизері.

А. А. Каменов<sup>1</sup>, \*А. В. Богомолов<sup>2</sup>, П. О. Быков<sup>3</sup>,  
М. М. Суюндиков<sup>4</sup>, А. К. Жунусов<sup>5</sup>

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Принято к изданию 20.09.23.

### ИСПЫТАНИЕ ОБОЖЖЕННОГО АНОДА АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА С НОВОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ НИПЕЛЬНОГО ГНЕЗДА

Представлены результаты лабораторных и промышленных испытаний новой конструкции обожженного анода для алюминиевых электролизеров. В настоящее время в процессе демонтажа огарков с анододержателей существует проблема неполного удаления чугуновой заливки со стальных ниппелей.

При неплотном контакте ниппеля с угольным блоком возникает формирование сплошного чугунового слоя между ниппелем и анодом, что приводит к образованию толстого сплошного дна чугуновой заливки без центрального отверстия, предусмотренного в соответствующем чертеже. Данная ситуация затрудняет процесс удаления чугуновой заливки со стального ниппеля.

Более того, увеличение толщины дна чугуновой заливки приводит к дополнительному электрическому сопротивлению, что снижает электропроводность и неблагоприятно влияет на величину напряжения в контакте между ниппелем и анодом.

Анодной конструкции предлагается решение этой проблемы. Особенностью новой конструкции анода является модификация геометрии чугуновой заливки путем изменения конструкции ниппельного гнезда анододержателя. Анод оснащен трапециевидными выступами, расположенными вдоль оси анода с обеих сторон от выступа «бобышки» в ниппельном гнезде. Новая конструкция обеспечивает концентрацию напряжений в областях, где возникает локализация трещин и последующее разрушение чугуновой заливки. Это позволяет более эффективно и менее трудоемко снимать чугуновую заливку.

Ключевые слова: обожженный анод, демонтаж анода, чугуновая заливка, перепад электрического напряжения, алюминиевый электролизер.

МРНТИ 53.03.09

<https://doi.org/10.48081/BQPI6828>

\*А. А. Myrzagaliyev<sup>1</sup>, S. O. Baisanov<sup>2</sup>, N. Z. Nurgali<sup>3</sup>,  
Ye. U. Zhumagaliyev<sup>4</sup>, N. A. Ulmaganbetov<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup>ERG Research and Engineering Center LLP, Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>2</sup>Chemical-Metallurgical Institute named after Zh. Abishev,  
Republic of Kazakhstan Karaganda;

<sup>4</sup>Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,  
Republic of Kazakhstan, Aktobe

\*e-mail: [Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz)

### DETERMINATION OF THE THERMODYNAMIC PARAMETERS OF A-IRON IN BINARY SYSTEMS FE-CR AND FE-TI

This article presents the results of calculations of the thermodynamic parameters of binary Fe-Cr and Fe-Ti systems based on their state diagrams using the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient, for the region of iron crystallization from the iron activity of an ideal  $\alpha$ - $\gamma$  solution for the above systems.

When calculating the lines of phase equilibrium in the Fe-Cr and Fe-Ti systems, it was established that the Bjerrum-Guggenheim coefficient can serve as an assessment parameter characterizing the role of exchange forces between atoms, and by its dimension ( $\Phi_i > < 1$ ) one can qualitatively judge the nature of the intermolecular interactions in the system. The results of this work made it possible to correctly solve the direct Gibbs problem, namely, to obtain an analytical dependence of phase compositions on temperature at phase equilibria based on the laws of phase formation. It is shown that with the help of the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient ( $F_i$ ), the real equilibrium in the system under study can be determined in detail and their correct analytical expression can be obtained.

When calculating phase equilibrium lines in systems with different types of interaction between components, it was established that the Bjerrum-Guggenheim coefficient can serve as an assessment parameter characterizing the role of exchange forces between atoms.

Keywords: thermodynamics; Bjerrum-Guggenheim coefficient; state diagram; osmotic coefficient; binary systems.

### Introduction

State diagrams clearly reflect the nature of the interaction of components in the melt, its phase composition and the structure of the alloys under conditions of stable thermodynamic equilibrium. Consequently, they contain all the fundamental and important information about the thermodynamic properties of phases and components.

The solution to the inverse Gibbs problem is to extract the thermodynamic information contained in the phase diagram, subject to the correct solution of the mathematical problem of phase equilibria.

**Materials and methods**

We have solved the first stage of the inverse Gibbs problem, i.e. a modified Schroeder-Le Chatelier equation was obtained, which allows one to analytically describe the liquidus and solidus lines. In this regard, let us consider the derivation of analytical expressions for the partial excess enthalpy ( $\Delta H^{M(E)}$ ) and entropy ( $\Delta S^E$ ) of mixing of the liquidus component in systems with the relation  $\Phi_i = A_i + B_i \cdot a_i$ .

The difference between the thermodynamic mixing function Gm for a real solution and the value of this function for an ideal solution G at the same T and p is called the excess thermodynamic function.

$$\Delta G_i^E = RT \ln j_i \quad (1)$$

The relationship between the activity coefficient and the Bjerrum-Guggenheim coefficient is established as follows:

$$\Phi_i = \frac{\Delta G_{mi}^{S \rightarrow L}}{\Delta G_{mi}^{id}} = \frac{\Delta \mu_i^L - \Delta \mu_i^S}{\Delta \mu_{i, id}^L - \Delta \mu_{i, id}^S} = \frac{\ln(a_i^L/a_i^S)}{\ln(x_i^L/x_i^S)} = 1 + \frac{\ln \gamma_i^L / \ln \gamma_i^S}{\ln x_i^L / \ln x_i^S} \quad (2)$$

Where  $\Delta G_{mi}^{S \rightarrow L}$  – is the Gibbs energy of melting a component to its ideal component

$$\Delta G_{mi, id}^{S \rightarrow L} = RT \ln X_i^L - RT \ln X_i^S.$$

Let us express the activity coefficient through the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient. In the physicochemical literature, this coefficient is called the osmotic coefficient [1,2] and it establishes a relationship between the activity and concentration of a component in a solution, which is significantly different from the similar relationship between the activity coefficient and concentration:

$$\ln a_i = \Phi_i \ln x_i. \quad (3)$$

Since we are considering the change in the value of  $\Phi_i$  along the line of phase equilibrium, therefore, it depends on both the temperature and the composition of the equilibrium phases. At the same time, as can be seen from expression (2), this quantity is a dimensionless quantity. Its identity with the well-known osmosis is shown below.

Thermodynamic classification of solutions is based on the nature of the equations for the chemical potentials of the solution components. In an ideal solution, the following expression holds true for each component:

$$\mu_i^{id}(T, P, X) = \mu_i^0(T, P) + RT \ln X_i, \quad (4)$$

where  $\mu_i^0$  – standard chemical potential of the i-th substance in the standard state;

$X_i$  – molar concentration of the i-component in a given solution;

$RT \ln X_i$  – corresponds to the change in chemical potential as a result of mixing (during the formation of an ideal solution).

By analogy with equation (4), the dependence of the chemical potentials of a non-ideal solution on concentration can be written, according to work [2], in the form:

$$\mu_i(T, P, X) = \mu_i^0(T, P) + RT \ln \gamma_i X_i, \quad (5)$$

where  $\gamma_i$  – activity coefficient.

The general condition for ideality is that for an ideal solution in the entire concentration range the following condition is satisfied:

$$\gamma_i(T, P, X_1, \dots, X_{k-1}) = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, k).$$

The advantage of using the activity coefficient is that it allows you to maintain the formal similarity of the expressions of the thermodynamic properties of real solutions with the equations for non-ideal solutions [3–5]. The activity coefficient of the solvent, as opposed to the activity coefficients of the dissolved components, is not, for purely arithmetic reasons, the most suitable function for measuring deviations from ideality. Therefore, for a solvent, instead of the activity coefficient, it is more convenient to use another correction factor, called the Bjerrum-Guggenheim osmotic coefficient [6-8], which is introduced as follows:

$$\mu_1(T, P, X) = \mu_1^0(T, P) + \Phi_1 \cdot RT \cdot \ln X_1, \quad (6)$$

where  $\Phi_1$  – osmotic coefficient of Bjerrum and Guggenheim of the solvent  $\Phi \rightarrow 1, X_1 \rightarrow 1$  and  $X_{2,3} \dots \rightarrow 0$ .

Comparing this expression with equation (5) we find that

$$\Phi - 1 = \frac{\ln \gamma_i}{\ln X_i}, \quad \Phi = \frac{\ln a_i}{\ln X_i}. \quad (7)$$

Therefore, the activity coefficient can be expressed as follows:

$$\ln j_i = (\Phi - 1) \ln x_i$$

Then we have the initial data for calculating the partial excess thermodynamic mixing functions of the liquidus component [9,10]:

$$\Phi_i = A_i + B_i \cdot a_i \quad (8)$$

$$a_i = \exp\left[\frac{\Delta H_{mi}}{R} \left(\frac{1}{T_{m1}} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (9)$$

$$\ln x_i = \frac{\Delta H_{mi}}{R \cdot \Phi_i} \cdot \left(\frac{1}{T_{m1}} - \frac{1}{T}\right)_0 \quad (10)$$

$$\left(\frac{d\Delta G_i^E}{dT}\right)_{x,p} = -\Delta S_i^E; \quad \Delta G_i^E = \Delta H_i^{E(M)} - T\Delta S_i^E \quad (11)$$

When differentiating a function  $\Delta G_i^E$ , T and x = const

$$(\Delta G_i^E)' = -\Delta S_i^E = [RT(\Phi_i - 1) \ln x]' = R \cdot \ln x(\Phi_i - 1 + T \cdot \Phi_i') = R \ln x(\Phi_i - 1 + T \cdot B_i \cdot a_i \cdot \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \cdot \frac{1}{T^2}); \tag{12}$$

$$\Delta S_i^E = -R \ln x(\Phi_i - 1 + B_i \cdot a_i \frac{\Delta H_{m,i}}{RT}); \tag{13}$$

$$\Delta H_i^{E(M)} = -B_i \cdot a_i \cdot \Delta H_{m,i} \cdot \ln x_i. \tag{14}$$

For the Fe-Cr and Fe-Ti systems under consideration, the thermodynamic characteristics of iron were calculated.

Initial data:  $\Delta H_{pl, Fe} = 15190.384$  J/mol; Melt, Fe= 1811 K

Calculation of excess thermodynamic mixing functions in Cr-based systems.

**Results and discussion**

Fe-Cr system

Initial data are taken from [4] and are presented in Table 1.

Table 1 – Input parameters for calculating thermodynamic data in the Fe-Cr system

$\frac{N_i}{n}$	T, K	$X_{on, Fe}^L$	$\ln X_{Fe}^L$	$\Phi'_{Fe}$	$\Phi''_{Fe}$	$a_{Fe}^L$	1/T
1	1812	1	0	0,154	0,104	1	5,518764
2	1803	0,983	-5,4526E-05	0,145415	0,092303	0,99498	5,546312
3	1793	0,959	-0,00013484	0,135827	0,079238	0,989372	5,577245
4	1783	0,935	-0,00024809	0,126186	0,066101	0,983734	5,608525
5	1773	0,905	-0,00041931	0,116492	0,052893	0,978065	5,640158
6	1763	0,88	-0,00070744	0,106745	0,039612	0,972365	5,67215
7	1753	0,855	-0,00129236	0,096944	0,026258	0,966634	5,704507
8	1743	0,825	-0,00311079	0,08709	0,012831	0,960872	5,737235

The crystallization region of  $\alpha$ -Fe is described by the equation:

$$\Phi'_{Fe} = -2,226 + 2,33 \cdot a_i$$

Thermodynamic characteristics of iron in the Fe-Cr melt, calculated according to equations (12–14), are presented in figure 1 and table 2.

Table 2 – Calculated thermodynamic  $\alpha$ Fe in the Fe-Cr melt

№	T, K	$\Delta H$ кJ/g-at.	$\Delta S$ кJ/g-at·K	$\Delta G$ кJ/mol
1	1812	0	0	0
2	1803	0,00192	319,5202762	-0,03789
3	1793	0,004722	670,7393355	-0,08159
4	1783	0,008638	1017,922868	-0,12702
5	1773	0,014515	1361,037675	-0,17422
6	1763	0,024346	1700,050331	-0,22322
7	1753	0,044214	2034,927181	-0,27408
8	1743	0,105791	2365,63435	-0,32683

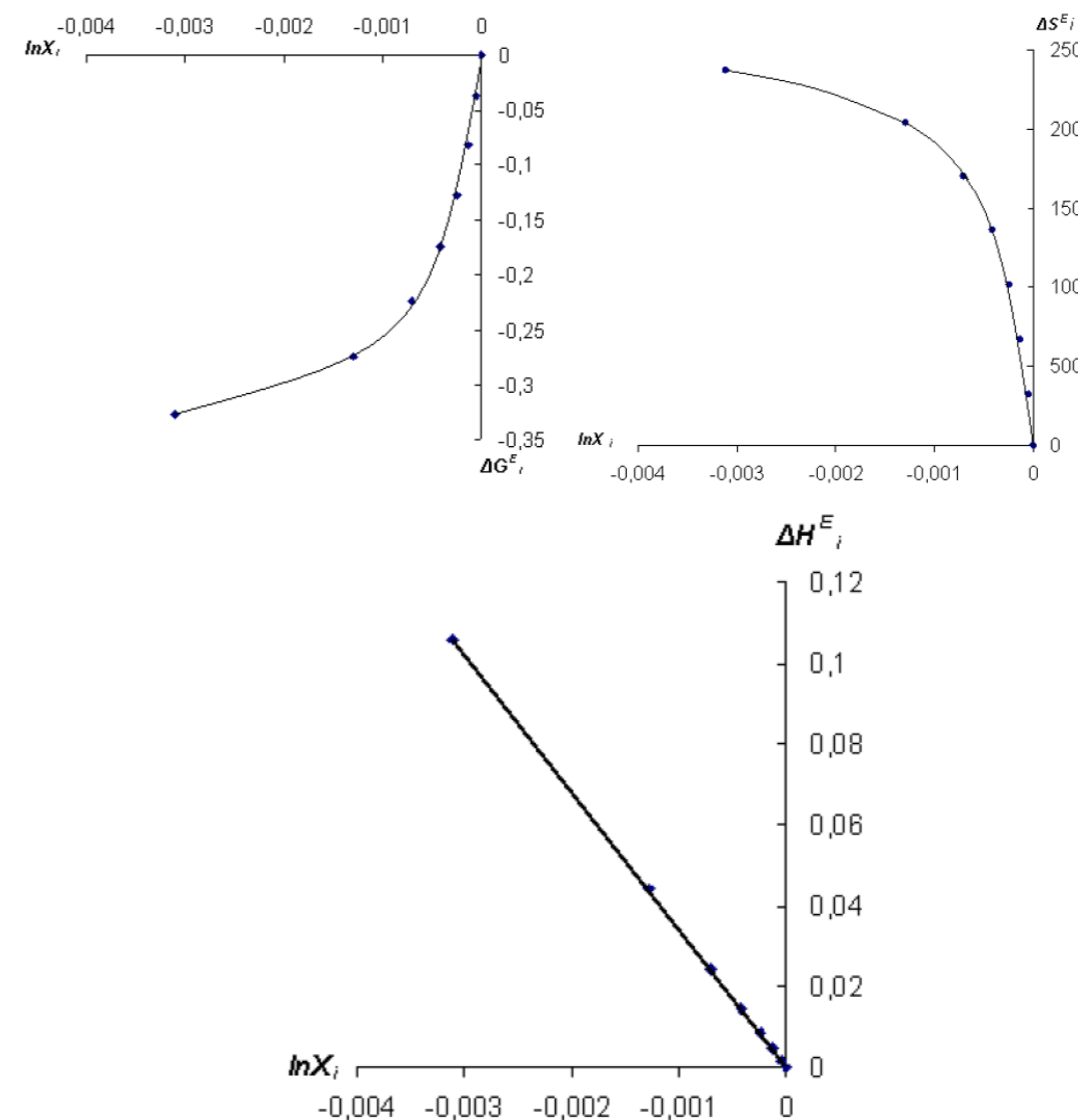


Figure 1 – Partial excess entropy, enthalpy and Gibbs energy of mixing liquidus components in the Fe-Cr system

Fe-Ti system

Initial data are taken from [4] and are presented in Table 3.

Table 3 – Input parameters for calculating thermodynamic data in the Fe-Ti system

$N_i$	$T, K$	$X_{on, Fe}^L$	$LnX_{Fe}^L$	$\Phi'_{Fe}$	$\Phi''_{Fe}$	$a_{Fe}^L$	$1/T \cdot 10^4$
1	1811	1	0	4,5278	2,5202	1	5,521811
2	1783	0,984536	-0,01360942	4,411107	2,460972	0,9864828	5,608525
3	1763	0,969214	-0,02523365	4,312686	2,411017	0,9750821	5,67215
4	1743	0,951754	-0,03712464	4,213183	2,360513	0,963556	5,737235
5	1723	0,933107	-0,04929169	4,112587	2,309455	0,9519034	5,803831
6	1703	0,913146	-0,06174451	4,010888	2,257837	0,940123	5,871991
7	1683	0,887255	-0,07449331	3,908076	2,205654	0,9282137	5,941771
8	1663	0,858974	-0,08754875	3,80414	2,152901	0,9161742	6,013229
9	1643	0,827957	-0,10092203	3,699072	2,099572	0,9040035	6,086427
10	1613	0,764706	-0,12160377	3,539326	2,018492	0,8854992	6,199628

The crystallization region of  $\alpha$ -Fe is described by the equation:

$$\Phi''_{Fe} = -1,8615 + 4,3817 \cdot a_i$$

Thermodynamic characteristics of iron in the Fe-Ti melt, calculated using equations (12–14) are presented in Figure 2 and Table 4.

Table 4 – Calculated thermodynamic  $\alpha$ -Fe in the Fe-Ti melt

$N_i$	$T, K$	$\Delta H$ кДж/г-ат.	$\Delta S$ кДж/г-ат·К	$\Delta G$ кДж/моль
1	1811	0	0	0
2	1783	422,6884	15932,79	-0,66649
3	1763	739,3679	28872,54	-1,22496
4	1743	1069,333	41500	-1,78596
5	1723	1413,551	53810,04	-2,34922
6	1703	1773,095	65797,46	-2,91445
7	1683	2149,153	77457,02	-3,48133
8	1663	2543,047	88783,38	-4,04953
9	1643	2956,254	99771,17	-4,61864
10	1613	3615,953	115606,2	-5,47313

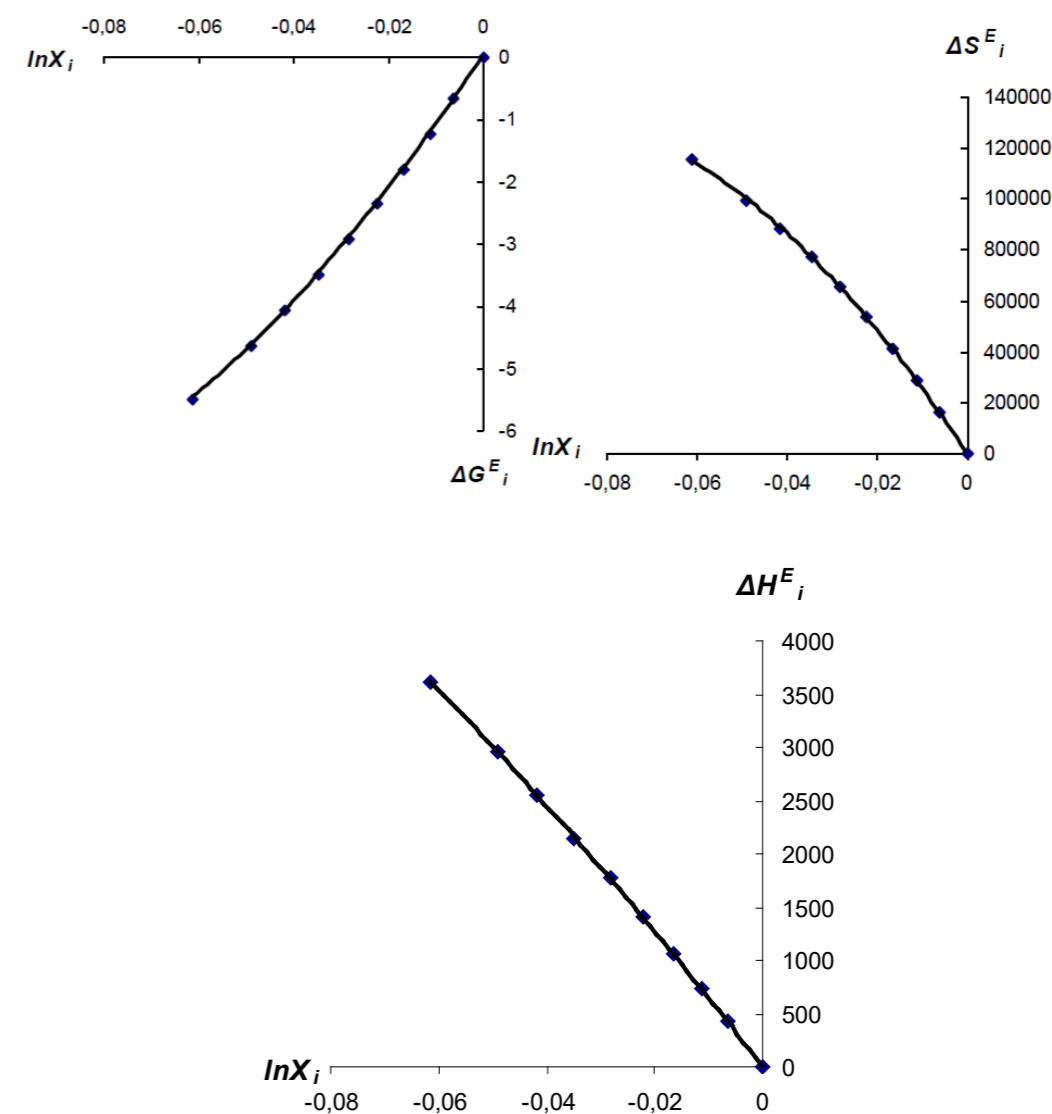


Figure 2 – Partial excess entropy, enthalpy and Gibbs energy of mixing liquidus components in the Fe-Ti system

**Conclusions**

During the calculating the lines of phase equilibrium in systems with different types of interaction between components, it was established that the Bjerrum-Guggenheim coefficient can serve as an assessment parameter characterizing the role of exchange forces between atoms and by its dimension ( $\Phi_i \gg 1$ ) one can qualitatively judge the nature of the intermolecular interaction in the system and the degree of deviation from regularity.

The applicability of the Bjerrum-Guggenheim coefficient for the region of iron crystallization from the iron activity of an ideal  $\alpha$ - $\gamma$  solution for the calculation of

partial thermodynamic mixing functions of liquid iron based on state diagrams of binary systems Fe-Cr and Fe-Ti is shown.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Толоконникова, В. В., Байсанов, С. О., Куликов, И. С.** Обобщенные уравнения линии солидуса и ликвидуса в двойных системах на основе железа // *Металлы*, 1989. – № 2. – С. 34 – 37.
- 2 **Льюис, Д. Ж., Рендалл, М.** Химическая термодинамика : Пер. с англ. А.Н. Лукницкого, под ред. П.А. Ребиндера с доп. Редлиха О. – Л.: ОНТИ, 1936. – С. 532.
- 3 **Гуггенгейм, Е. А.** Современная термодинамика, изложенная по методу Гиббса: Пер. с англ. под ред. С.А. Щукарева. – Л. : Госхимиздат, 1941. – 188 с.
- 4 **Хансен, М., Андерко, К.** Структура двойных сплавов: В 2-х т. – М. : *Металлургия*, 1962. – С. 1488.
- 5 **Падерин, С. П., Филиппов, В. В.** Теория и расчеты металлургических систем и процессов. – М. : МИСиС, 2002. – С. 334.
- 6 **Моисеев, Г. К., Вяткин, Г. П., Бардин, Н. М. и др.** Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействий с участием ионных расплавов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – С. 165.
- 7 **Поволоцкий Д. Я., Гудим Ю. А.** Производство нержавеющей стали. – Челябинск: ЮУрГУ, 1998. – С. 236.
- 8 **Мирзоев, А. А., Ялалов, М., Мирзаев, Д. А.** Расчет энергии смешения сплавов Fe-Cr первопринципными методами компьютерного моделирования // *Физика металлов и металловедение*, 2004, Т. 97. – № 4. – С. 11 – 16.
- 9 **Рашников, В. Ф., Морозов, А. А., Урцев, В. Н., Горностыревж Ю. Н.** Квантовое материаловедение стали // *Сталь*, 2007. – № 2. – С. 104 – 105.
- 10 **Горбатов, О. И., Окатов, С. В., Горностырев, Ю. Н., Коржавый, П. А., Рубан, А. В.** Влияние магнетизма на растворимость 3d элементов в ОЦК F. Результаты первопринципных исследований // *Физика металлов и металловедение*, 2013, Т. 114. – № 8. – С. 698 – 710.

## REFERENCES

- 1 **Tolokonnikova, V. V., Bajsanov, S. O., Kulikov, I. S.** Obobshhenny'e uravneniya linii solidusa i likvidusa v dvojny'x sistemax na osnove zheleza [Generalized equations of the solidus and liquidus lines in iron-based binary systems] // *Metalls*. – 1989. – № 2. – P. 34–37.
- 2 **L'yuiss, D. Zh., Rendall, M.** Himicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics] : Transl. from English by. A. N. Lukniczkogo, Ed. by. P. A. Rebindera s dop. Redlix. O. – L. : ONTI, – 1936. – P. 532.
- 3 **Guggengejm, E. A.** Sovremennaya termodinamika, izlozhennaya po metodu Gibbasa [Modern thermodynamics, expounded by the Gibbs method] : Transl. from English by. Ed. by. S. A. Schukarev. – L. : Goshimizdat, – 1941. – P. 188.

- 4 **Hansen, M., Anderko, K.** Struktura dvojnny'x splavov [Dual alloy structure]. In 2 volumes. – Moscow : *Metallurgiya*, – 1962. – P. 1488.
- 5 **Paderin, C. P., Filippov, V. V.** Teoriya i raschety' metallurgicheskix sistem i processov [Theory and calculations of metallurgical systems and processes]. – М. : MISiS, – 2002. – P. 334.
- 6 **Moiseev, G. K., Vyatkin, G. P., Bardin, N. M. i dr.** Primenenie termodinamicheskogo modelirovaniya dlya izucheniya vzaimodejstvij s uchastiem ionny'x rasplavov [Application of thermodynamic modeling to study interactions involving ionic melts]. – Chelyabinsk : YuUrGU, 2002. – P. 165.
- 7 **Povoloczkij, D. Ya., Gudim, Yu. A.** Proizvodstvo nerzhavayushhej stali [Stainless steel production]. – Chelyabinsk: YuUrGU, 1998. – P. 236.
- 8 **Mirzoev, A. A., Yalalov, M. M., Mirzaev, D. A.** Raschet e'nergii smesheniya splavov Fe-Cr pervoprincipny'mi metodami komp'yuternogo modelirovaniya [Calculation of the mixing energy of Fe-Cr alloys using first-principles computer modeling methods] // *Fizika metallov i metallovedenie*. – 2004. – Т. 97. – № 4. – P. 11–16.
- 9 **Rashnikov, V. F., Morozov, A. A., Urcev, V. N., Gornosty'revzh Yu. N.** Kvantovoe materialovedenie stali [Quantum materials science of steel] // *Steel*. – 2007. – № 2. – P. 104–105.
- 10 **Gorbatov, O. I., Okatov, S. V., Gornosty'rev, Yu. N., Korzhavy'j, P. A., Ruban, A. V.** Vliyanie magnetizma na rastvorimost' 3d e'lementov v OCzK F. Rezul'taty' pervoprincipny'x issledovanij [The influence of magnetism on the solubility of 3d elements in bcc F. Results of first-principles studies] // *Fizika metallov i metallovedenie*. – 2013. – Т. 114. – № 8. – P. 698–710.

Accepted for publication 07.12.23.

\***А. А. Мырзагалиев<sup>1</sup>, С. О. Байсанов<sup>2</sup>, Н. З. Нурғали<sup>3</sup>,  
Е. У. Жумағалиев<sup>4</sup>, Н. А. Улмағанбетов<sup>5</sup>**  
<sup>1,3,5</sup>«ERG ғылыми-зерттеу инжинирингтік орталығы» ЖШС,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ. ;  
<sup>2</sup>Ж. Абишев тындағы химико-металлургиялық институт,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. ;  
<sup>4</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,  
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.  
Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.



**FE-CR ЖӘНЕ FE-TI БИНАРЛЫ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ А-ТЕМІРДІҢ  
ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**

Бұл мақалада күй диаграммалары негізінде Fe-Cr және Fe-Ti бинарлы жүйелерінің Бьеррум-Гуггенгейм осмостық коэффициентін қолдану арқылы термодинамикалық параметрлерін есептеу нәтижелері келтірілген.

Fe-Cr және Fe-Ti жүйелеріндегі фазалық тепе-теңдік сызықтарын есептеу кезінде Бьеррум-Гуггенгейм коэффициенті атомдар арасындағы алмасу күштерінің ролін сипаттайтын бағалау параметрі бола алатыны анықталды және оның өлшемі бойынша ( $\Phi_i > < 1$ ) жүйедегі молекулааралық әрекеттесулердің табиғатын сапалы түрде бағалауға болады. Бұл жұмыстың нәтижелері тікелей Гиббс есебін дұрыс шешуге мүмкіндік берді, атап айтқанда фазалық құрамдардың фазалық тепе-теңдік кезіндегі температураға аналитикалық тәуелділігін фазалардың пайда болу заңдылықтары негізінде алуға мүмкіндік берді. Бьеррум-Гуггенхайм осмостық коэффициентінің ( $F_i$ ) көмегімен зерттелетін жүйедегі нақты тепе-теңдікті егжей-тегжейлі анықтауға және олардың дұрыс аналитикалық өрнегін алуға болатыны көрсетілген.

Компоненттер арасындағы өзара әрекеттесудің әртүрлі типтері бар жүйелердегі фазалық тепе-теңдік сызықтарын есептеу кезінде Бьеррум-Гуггенхайм коэффициенті атомдар арасындағы алмасу күштерінің ролін сипаттайтын бағалау параметрі бола алатыны анықталды.

Кілтті сөздер: термодинамика; Бьеррум-Гуггенгейм коэффициенті; күй диаграммасы; осмостық коэффициент; бинарлы жүйелер.

\*А. А. Мырзағалиев<sup>1</sup>, С. О. Байсанов<sup>2</sup>, Н. З. Нурғали<sup>3</sup>,

Е. У. Жумағалиев<sup>4</sup>, Н. А. Улмағанбетов<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup>ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,

Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева,

Республика Казахстан, г. Караганда

<sup>3</sup>Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актөбе

Принято к изданию 07.12.23.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
А-ЖЕЛЕЗА В БИНАРНЫХ СИСТЕМАХ FE-CR И FE-TI**

В этой статье приведены результаты расчетов термодинамических параметров бинарных систем Fe-Cr и Fe-Ti на базе их диаграмм состояний с применением осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма, для области кристаллизации железа от активности железа идеального  $\alpha$ -у раствора для вышеуказанных систем.

При расчете линий фазовых равновесий в системах Fe-Cr и Fe-Ti установлено, что коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма может служить в качестве оценочного параметра характеризующего роль обменных сил

между атомами, и по его размерности ( $\Phi_i < 1$ ) можно качественно судить о характере межмолекулярного взаимодействия в системе. Результаты настоящей работы позволили корректно решить прямую задачу Гиббса, а именно, получить аналитическую зависимость составов фаз от температуры при фазовых равновесиях на основе закономерностей формирования фаз. Показано, что с помощью осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма ( $\Phi_i$ ) детально может быть определено реальное равновесие в изучаемой системе и получено их корректное аналитическое выражение.

При расчете линий фазовых равновесий в системах с различным характером взаимодействия компонентов установлено, что коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма может служить в качестве оценочного параметра, характеризующего роль обменных сил между атомами.

Ключевые слова: термодинамика; коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма; диаграмма состояния; осмотический коэффициент; бинарные системы.

\*К. А. Ногаев<sup>1</sup>, Ж. А. Ашкеев<sup>2</sup>, М. Ж. Абишкенов<sup>3</sup>,  
А. Сладковский<sup>4</sup>, А. У. Камаров<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

<sup>4</sup>Силезский технический университет, Республика Польша, г. Катовице;

<sup>5</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [k.nogayev@tttu.edu.kz](mailto:k.nogayev@tttu.edu.kz)

### **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ В ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕМ ПОПЕРЕЧНЫЙ СДВИГ**

*Одним из важных элементов сортопрокатного оборудования, обеспечивающего формирование требуемых геометрии и свойств металлопродукции, являются калибрующие валки. Вместе с тем, при прокатке в традиционных калибрах в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры и неоднородности механических свойств металла по сечению. Указанные недостатки можно устранить путем реализации интенсивной пластической деформации (ИПД) в объеме металла. Однако, низкая технологичность большинства технологий ИПД сдерживает их использования в промышленности. Поэтому, разработка и исследование нового способа реализации ИПД в условиях непрерывности технологического процесса, в частности при прокатке в непрерывных станах, является актуальной научно-технической проблемой.*

*В настоящей работе рассматривается новая схема калибровок прокатных валков, обеспечивающая реализацию интенсивных сдвиговых деформаций. Проведен анализ существующих схем прокатки в калибрах и предложена эффективная система калибров для реализации поперечного сдвига. Эффективность новой схемы прокатки оценена на основе анализа напряженно-деформированного состояния по результатам моделирования процесса методом конечных элементов (МКЭ). Установлено, что прокатка полосы в калибрах, реализующих сдвиговые деформации, обеспечивает немонотонный характер пластического течения и более благоприятные показатели напряженно-деформированного состояния металла по сравнению с прокаткой в традиционных калибрах.*

*Ключевые слова: прокатка, калибр, пластическое течение, сдвиговая деформация, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.*

#### **Введение**

Прокатка в калибрах, которая является одним из основных технологий получения длинномерных металлических изделий, обеспечивает большую гибкость в отношении проектирования технологического процесса. Например,

для получения одного и того же профиля, одних и тех же размеров, на одном и том же прокатном стане, можно использовать разные схемы калибровки [1, 2]. Вместе с тем традиционная прокатка в калибрах сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры [3]. Эффективную проработку структуры материала при меньших степенях деформации можно осуществить за счет реализации интенсивной пластической деформации (ИПД) в объеме металла. Принято считать, что ИПД отличается от обычных схем деформации более высоким уровнем давления и активной сдвиговой деформацией. В результате создаются такие условия деформации металла, при которых активный массоперенос осуществляется не только вдоль оси, но и в поперечном направлении, что позволяет изменить преимущественную кристаллографическую ориентировку или вообще сформировать малотекстурированный материал [4].

В настоящее время существуют разнообразные способы реализации ИПД, которые отличаются от обычных схем деформации более высоким уровнем давления и активной сдвиговой деформацией [5, 6, 7]. Однако, внедрение многих методов ИПД в действующие технологические процессы производства металлоизделий во многом сдерживается их низкой технологичностью и рядом технических проблем, связанных с невозможностью их реализации на действующем промышленном оборудовании [8]. В связи с этим разработка и исследование нового способа реализации ИПД в условиях непрерывности технологического процесса, в частности при прокатке в непрерывных станах, является актуальной проблемой.

Ранее проводились исследования способа продольной прокатки с поперечным сдвигом, где дополнительные сдвиговые деформации обеспечивались за счет использования системы калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра. Результаты проведенных исследований показали возможность реализации ИПД за счет одновременного высотного обжатия и поперечного сдвига в очаге деформации, что приводит к улучшению пластических и прочностных характеристик металлов [9]. Анализ микроструктуры после прокатки в данной системе калибров показал, что средний размер зерна по сравнению с исходными образцами уменьшился более чем в три раза, до 9 мкм, а в поперечном сечении стали преобладают большеугловые границы зерен. Увеличение предела текучести и предела прочности при растяжении по сравнению с исходным образцом до прокатки составляет 134,47 % и 69,41 % соответственно [10].

Вместе с тем, полный цикл знакопеременной сдвиговой деформации в системе калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра, осуществляется за 4 прохода с кантовкой (рисунок 1), что представляет некоторые технологические сложности для реализации его в действующем оборудовании, в частности в непрерывном стане сортовой прокатки АО «АрселорМиттал Темиртау». Поэтому, стоит задача проведения дальнейших исследований для повышения технологичности способа реализации интенсивных сдвиговых деформаций с разработкой новой эффективной системы калибров.

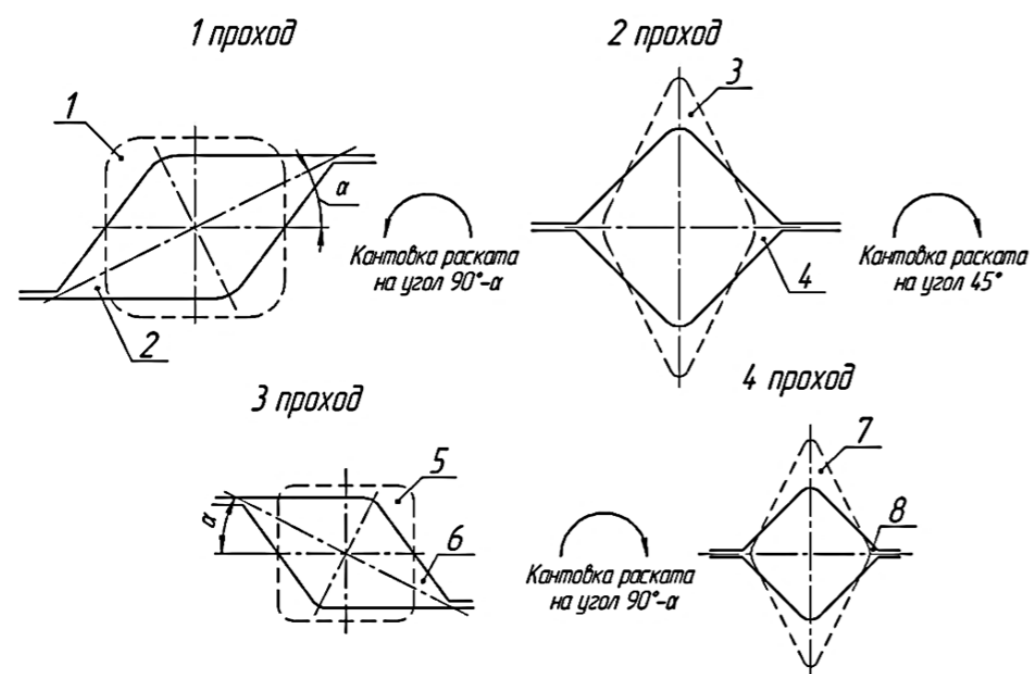


Рисунок 1 – Последовательность прокатки в системе калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра

В сортовой прокатке широко применяется система калибров «овал-круг» (рисунок 2), одним из главных преимуществ которой является отсутствие необходимости кантовки полосы в станах с чередующимися горизонтальными и вертикальными клетями. Однако, при прокатке в данной системе калибров возникают неоднородности деформации в радиальном и окружном направлениях заготовки, приводящие к неоднородностям механических свойств металла по сечению [11].

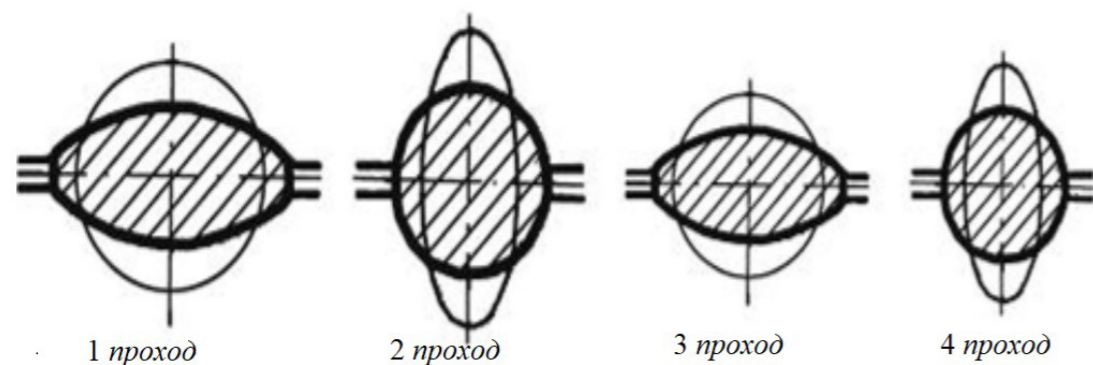


Рисунок 2 – Система калибров «овал-круг»

Улучшения свойств металла при прокатке в системе калибров «овал-круг» можно добиться за счет реализации интенсивных сдвиговых деформаций, используя вышеописанную идею недиагонального расположения ромбического

калибра (см. рисунок 1). Для этого главные оси овала в калибрах расположим наклонно относительно оси валков (рисунок 3). В нашем случае угол наклона главной оси овала в калибре относительно оси валков принимаем равной  $\gamma=35^\circ$ , что согласно ранее проведенным исследованиям является близкой к оптимальной [9]. При этом поперечный сдвиг в очаге деформации осуществляемый одновременно с высотным обжатием приведет интенсивной проработке структуры металла, способствующей улучшению механических и служебных свойств металлоизделий.

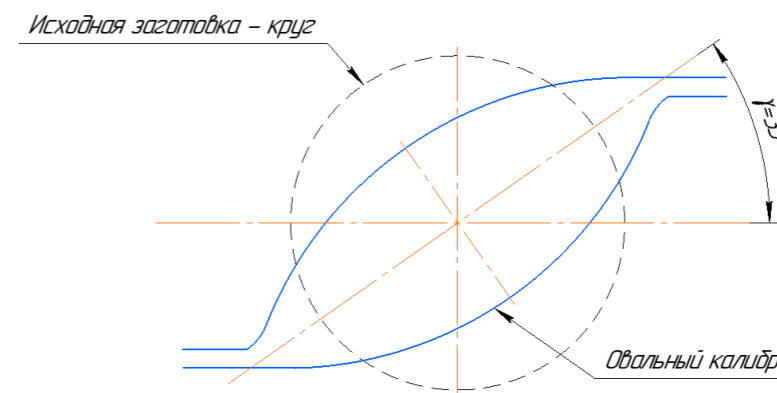


Рисунок 3 – Калибр с наклонным расположением овала

Целью настоящей работы является оценка эффективности процесса прокатки полосы в калибрах, реализующих сдвиговые деформации, по сравнению с традиционными системами калибров.

**Материалы и методы**

Эффективность данного способа прокатки в калибрах можно оценить показателями напряженно-деформированного состояния (НДС) металла, для определения которых в настоящее время используется метод конечных элементов (МКЭ) [12, 13]. В данной работе моделирование НДС осуществлено в программном пакете DEFORM 3D, который является одним из наиболее универсальных и эффективных инструментов моделирования и изучения процессов обработки металлов давлением при помощи МКЭ.

Моделировались задачи горячей прокатки полосы в традиционном овальном калибре и в калибре с наклонным расположением овала. Для приближения результатов моделирования к реальным производственным условиям форму и размеры калибров и полосы в геометрической модели и кинематические параметры инструментов приняли в соответствии с данными непрерывного сортового стана АО «АрселорМиттал Темиртау», где полоса круглой формы после 4-й клетки прокатывается в традиционном овальном калибре 5-й клетки (рисунок 4).

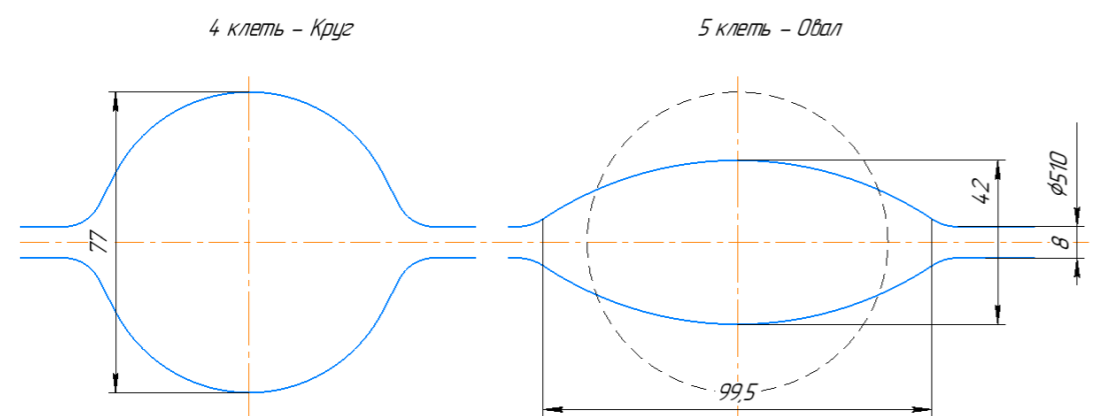
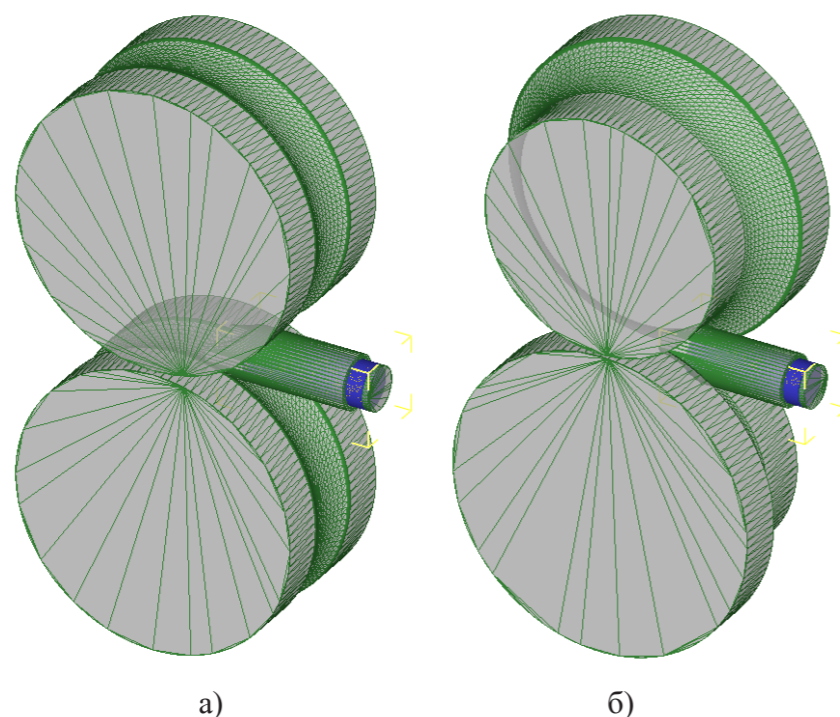


Рисунок 4 – Формы и размеров калибров 4-й и 5-й клетей непрерывного сортового стана АО «АрселорМиттал Темиртау»

Геометрические модели деформирующих инструментов, валковой проводки и заготовки (рисунок 5), необходимые для моделирования процесса прокатки, созданы с помощью системы САПР КОМПАС 3D и переданы в программный пакет DEFORM 3D в формате STL, используемый для обмена графической информацией.



а) – традиционный овальный калибр;  
б) – калибр с наклонным расположением овала  
Рисунок 5 – Геометрические модели процесса прокатки

При постановке задач моделирования были приняты следующие допущения и упрощения:

- рабочий инструмент рассматривается как абсолютно жесткое тело с постоянной температурой;
- прокатываемый материал считается однородным, изотропным;
- деформируемая среда – вязкопластическая.

В качестве материала прокатываемой полосы была принята сталь AISI-1045 [1650–2200 F (900–1200 °C)] из стандартной библиотеки DEFORM-3D, реологическая модель которой предназначена для моделирования процессов горячего деформирования в температурном диапазоне 900–1200°C. Для наших задач температуру процесса установили равной 1000°C, которая соответствует температуре заготовки при горячей прокатке в промежуточных станах непрерывного сортового стана. Для обеспечения точности расчета была сгенерирована КЭ-сетка с 86168 элементами деформируемой заготовки. Условие трения между инструментами и полосой описывали по закону Зибеля с постоянным коэффициентом трения равным 0,5. В качестве кинематических параметров моделирования задано вращение деформирующих инструментов со скоростью 1,0472 рад/с, что соответствует скорости вращения прокатных валков 5-й клетки непрерывного сортового стана АО «АрселорМиттал Темиртау». Для обеспечения первоначального захвата металла валками использовали толкатель, предварительно подталкивающий заготовку к валкам. Количество шагов расчета установлено равным 1000 при длительности шага по времени 0,05 с/шаг, что обеспечивает полное прохождение модели полосы через калибр.

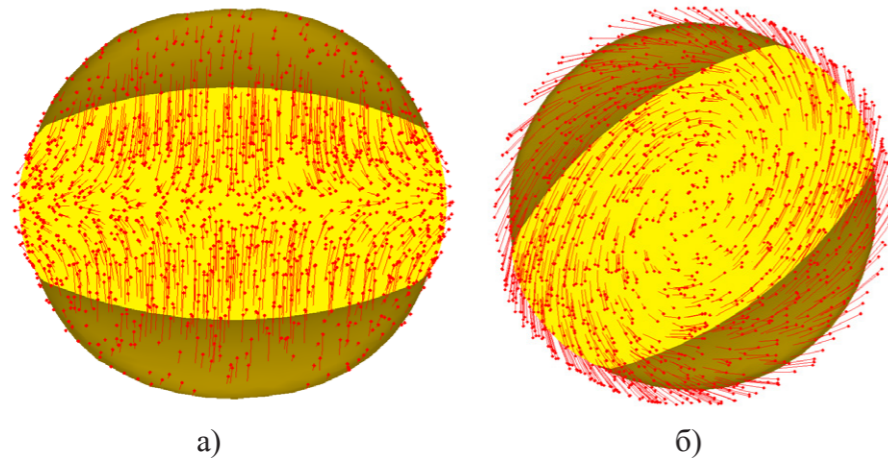
#### Результаты и обсуждения

Для анализа использованы следующие результаты моделирования:

- векторные отображения величин смещения элементов, указывающие направление пластического течения металла в очаге деформации (рисунок 6);
- картина распределения и значения интенсивности напряжений в очаге деформации (рисунок 7);
- картина распределения и значения накопленной степени деформации сдвига (деформации по Мизесу, рисунок 8).

Векторные отображения величин смещения элементов, полученные в ходе моделирования, показывает, что при прокатке в традиционных овальных калибрах пластическое течение металла в очаге деформации формируется за счет обжатия и направлены в основном навстречу друг другу с вытеснением в боковые стороны (рисунок 6, а). Совершенно другая картинка пластического течения металла наблюдается в очаге деформации калибра с наклонным расположением овала. В этом случае полоса подвергается сдвигу в поперечном направлении благодаря кососимметричному воздействию со стороны верхнего и нижнего валков и высотному обжатию. В результате в очаге деформации в поперечном направлении возникают вихревые пластические потоки, обуславливающие немонотонный характер течения металла при его обработке (рисунок 6, б). Авторы работы [14] утверждают, что немонотонное течение металла характеризует реализацию

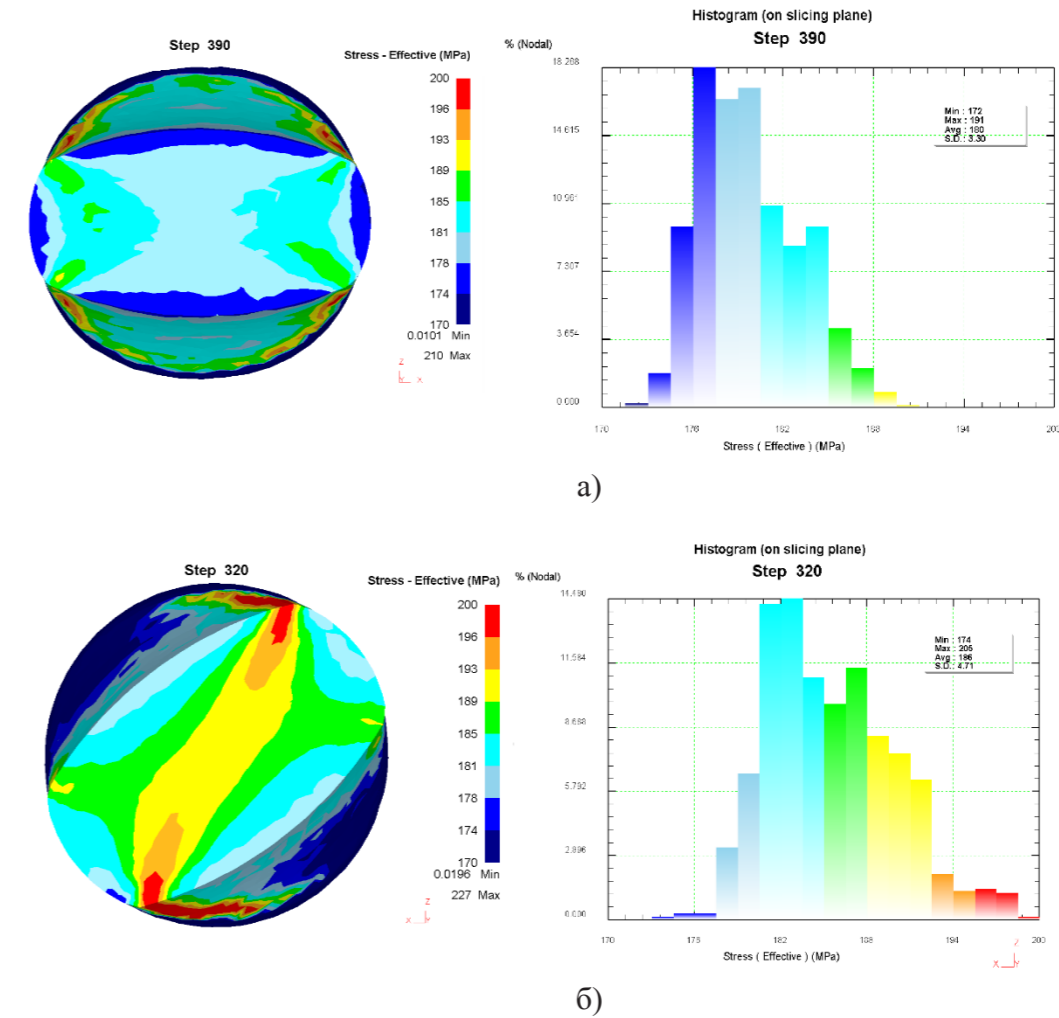
интенсивных пластических деформаций и обеспечивает формирование угловых разориентировок границ и получение ультрамелких зерен с равноосной формой.



а – традиционный овальный калибр;  
б – калибр с наклонным расположением овала

Рисунок 6 – Пластическое течение металла в очаге деформаций

При прокатке в традиционном овальном калибре характер распределения интенсивности напряжений в очаге деформации симметричен и имеет вид «ковочного креста», а осевая зона полосы имеет более низкие показатели интенсивности напряжений по сравнению с остальными участками (рисунок 7, а). В очаге деформации калибра с наклонным расположением овала более высокие уровни показателей интенсивности напряжений сосредоточены в осевой зоне (рисунок 7, б). Поскольку основные дефекты литья – осевая рыхлость, газовые пузыри и дендритная ликвация, располагаются в осевой зоне, то высокие уровни этих показателей обуславливают их интенсивное «залечивание». Также в калибре с наклонным расположением овала доля высоких значений интенсивности напряжений в очаге деформации выше, чем в традиционном овале. Как видно из таблицы 1, составленной по данным гистограммы количественных соотношений интенсивности напряжений, в калибре с наклонным расположением овала доля показателей интенсивности напряжений выше 180 МПа составляет 89,5 %, тогда как для традиционного калибра этот показатель почти в 2,5 раза ниже (36,4 %). В целом такие показатели интенсивности напряжений в калибре с наклонным расположением овала обеспечивают интенсивную проработку металла в очаге деформации.



а – традиционный овальный калибр;  
б – калибр с наклонным расположением овала

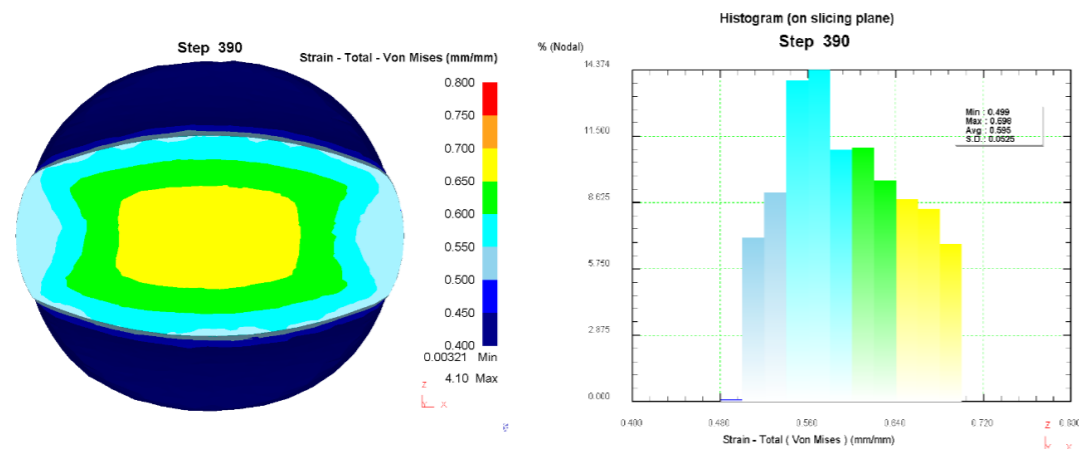
Рисунок 7 – Распределение интенсивности напряжений в очаге деформации

Таблица 1 – Количественные соотношения интенсивности напряжений

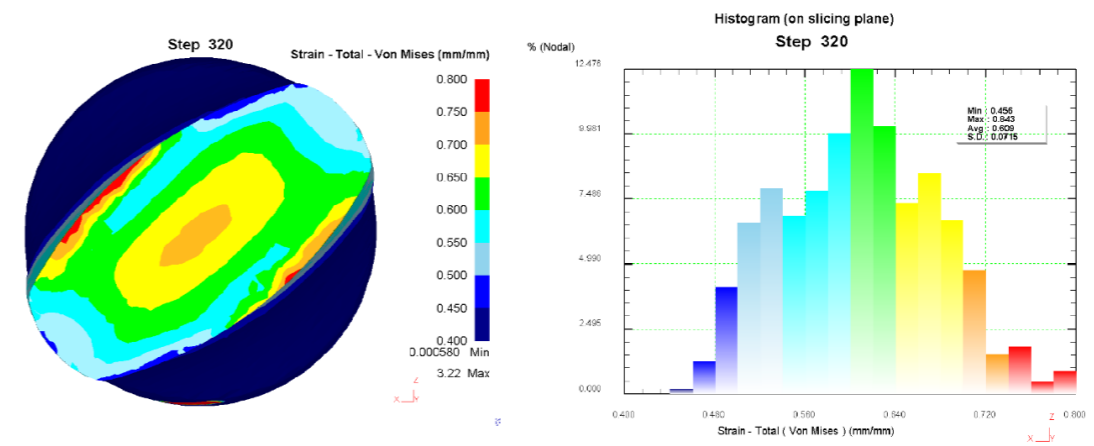
Границы диапазонов интенсивности напряжений, МПа		Количественные соотношения, %	
Нижняя граница	Верхняя граница	Традиционный овальный калибр	Калибр с наклонным расположением овала
170	171,5	0	0
171,5	173	0,17	0
173	174,5	1,82	0,09
174,5	176	9,7	0,26
176	177,5	18,27	0,26
177,5	179	16,54	3,27
179	180,5	17,14	6,62
180,5	182	10,82	14,36
182	183,5	8,66	14,62
183,5	185	9,7	11,01

185	186,5	4,24	9,8
186,5	188	2,08	11,44
188	189,5	0,78	8,34
189,5	191	0,09	7,57
191	192,5	0	6,36
192,5	194	0	2,06
194	195,5	0	1,29
195,5	197	0	1,38
197	198,5	0	1,2
198,5	200	0	0,09

Анализ деформированного состояния показывает, что прокатка в калибре с наклонным расположением овала характеризуется более высокими показателями накопленной степени деформации сдвига в осевой зоне полосы чем при прокатке в калибре с традиционным овалом (рисунок 8). Наиболее интенсивные деформации при прокатке в калибре с наклонным расположением овала локализованы в участках, прилегающих к контактной поверхности с валками, со смещением в сторону пластического течения металла (см. рисунок б). Сопоставление количественных соотношений накопленной степени деформации сдвига в таблице 2 показывает, что доля высоких показателей накопленной степени деформации сдвига в полосе после прокатки в калибре с наклонным расположением овала выше, чем после прокатке в калибре с традиционным овалом. Например, показатели накопленной степени деформации сдвига более 0,7 после прокатки в калибре с наклонным расположением овала составляет 32,1 %, что 1,43 раза выше, чем при прокатке в калибре с традиционным овалом (22,43 %). В целом можно констатировать, что прокатка в калибре с наклонным расположением овала вызывает более высокий уровень реализации интенсивной сдвиговой деформации по сравнению с прокаткой в калибре с традиционным овалом.



а)



б)

а – традиционный овальный калибр;

б – калибр с наклонным расположением овала

Рисунок 8 – Распределение накопленной степени деформации сдвига

Таблица 2 – Количественные соотношения накопленной степени деформации сдвига

Границы диапазонов накопленной степени деформации сдвига, МПа		Количественные соотношения, %	
Нижняя граница	Верхняя граница	Традиционный овальный калибр	Калибр с наклонным расположением овала
0,4	0,425	0	0
0,425	0,45	0	0
0,45	0,475	0	0,19
0,475	0,5	0	1,25
0,5	0,525	0	4,12
0,525	0,55	5,6	6,62
0,55	0,575	7,12	7,96
0,575	0,6	11,92	6,9
0,6	0,625	19,48	7,86
0,625	0,65	13,7	10,07
0,65	0,675	10,05	12,56
0,675	0,7	9,7	10,35
0,7	0,725	8,1	7,38
0,725	0,75	6,94	8,53
0,75	0,775	6,32	6,71
0,775	0,8	1,07	4,79
0,8	0,825	0	1,53
0,825	0,85	0	1,82
0,85	0,875	0	0,48
0,875	0,9	0	0,86

**Выводы**

1. На основании ранее исследованной идеи недиагонального расположения ромбического калибра предложена новая схема прокатки в овальных калибрах, обеспечивающая реализацию интенсивных сдвиговых деформаций.

2. Установлено, что при прокатке в овальном калибре по новой схеме немонотонность характера течения металла из-за возникновения вихревых пластических потоков обуславливает реализацию интенсивных пластических деформации.

3. По результатам моделирования напряженно-деформированного состояния установлено, что высокие показатели интенсивности напряжений в калибре с наклонным расположением овала вызывает более высокий уровень реализации интенсивной сдвиговой деформации по сравнению с прокаткой в калибре с традиционным овалом и обеспечивают интенсивную проработку металла в очаге деформации.

**Благодарность**

Данная работа выполнена в рамках проекта № AP19674502 «Разработка и исследование технологического способа реализации интенсивных сдвиговых деформаций при прокатке в калиброванных валках», финансируемого грантом Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Li, X., Wang, S., Lohmar, J., & Hirt, G.** Design of caliber rolls incorporating load path dependent damage evolution. // *Procedia Manufacturing*. – 2020. – 47. – P. 643–648. – <https://doi.org/10.1016/j.promfg>.

2 **Mikhailenko A. M.; Shvarts D. L.** The concept of optimal bar roll pass design. Report 3. space of roll pass design schemes // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2019. – Volume 62. – Issue 1. – P. 15–24. – <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-1-15-24>.

3 **Левченко, Г. В., Нефедьева, Е. Е., Серов, А. И., Смирнов, Е. Н., Галухина, И. Н.** Формирование структуры и механических свойств круглого проката из непрерывнолитой стали. // *Металл и литье Украины*. – 2011. – №6. – С. 3–7. – [Электронный ресурс]. – <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/104432/01-Levchenko.pdf?sequence=1>.

4 **Segal, V.** Severe plastic deformation: simple shear versus pure shear. // *Materials Science and Engineering: A*. – 2002, – 338(1-2). – P. 331–344. – [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00066-7).

5 **Azushima, A., Kopp, R., Korhonen, A., Yang, D. Y., Micari, F., Lahoti, G. D., Yanagida, A.** Severe plastic deformation (SPD) processes for metals. // *CIRP Annals*. – 2008. – 57(2). – P. 716–735. – <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.005>.

6 **Harsha, R. N., Mithun Kulkarni, V., & Satish Babu, B.** Severe plastic deformation - a review. // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – 5(10). – 22340–22349. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.600>.

7 **Segal, V.** Review: modes and processes of severe plastic deformation (SPD). // *Materials*. – 2018. – 11(7). – 1175. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.3390/ma11071175>.

8 **Valiev, R. Z.** Producing bulk nanostructured metals and alloys by severe plastic deformation (SPD). // *Nanostructured Metals and Alloys*. – 2011. – P. 3–39. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1533/9780857091123.1.3>.

9 **Naizabekov A. B., Bykhin M. B., Nogaev K. A., Bykhin B. B.** Study of the process of realization of high-rate plastic deformation in lengthwise rolling // *METAL 2010 - 19th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*. – 2010. – P. 192–202. – [Электронный ресурс]. – [http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal\\_10/lists/papers/198.pdf](http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal_10/lists/papers/198.pdf).

10 **Abishkenov, M., Ashkeyev, Zh., Nogaev, K.** Investigation of the shape rolling process implementing intense shear strains in special diamond passes. // *Materialia*. – 2022. – 26. – 101573. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101573>.

11 **Hwang, J.-K.** Effects of caliber rolling on microstructure and mechanical properties in twinning-induced plasticity (TWIP) steel // *Materials Science and Engineering: A*. – 2018. – 711. – P. 156–164. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.11.031>.

12 **Губачева, Л. А. & Сладковский, А. В.** Анализ процесса двухугловой гибки толстолистовой заготовки. // *Восточно – европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – №1 (19). – С. 50–52.

13 **Губачева, Л. А. & Сладковский, А.** Анализ силового режима процесса двухугловой гибки толстолистовой заготовки. // *Вісник Східноукраїнського національного університету*. – 2005. – № 11 (93). – С. 152–158.

14 **Песин, А. М., Пустовойтов, Д. О., Швеева, Т. В., Стебляно, В. Л., Федосеев, С. А.** Моделирование немонотонности течения металла при асимметричной тонколистовой прокатке с рассогласованием скоростей валков. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. – 2017. – №1. – С. 56–63. – [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-1-56-63>.

## REFERENCES

- 1 **Li, X., Wang, S., Lohmar, J., & Hirt, G.** Design of caliber rolls incorporating load path dependent damage evolution. // *Procedia Manufacturing*. – 2020. – 47. – P. 643–648. – <https://doi.org/10.1016/j.promfg>.
- 2 **Mikhailenko A.M.; Shvarts D. L.** The concept of optimal bar roll pass design. Report 3. space of roll pass design schemes. // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2019. – Volume 62. – Issue 1. – P. 15–24. – <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-1-15-24>.
- 3 **Levchenko, G. V., Nefed`eva, E. E., Serov, A. I., Smirnov, E. N., Galuxina, I. N.** Formirovaniye struktury` i mexanicheskix svojstv kruglogo prokata iz neprery`vnolitoj stali. [Formation of structure and mechanical properties of round rolled products from continuous-cast steel] // *Metall i lit`e Ukrainy`*. – 2011. – № 6. – P. 3–7. – [Electronic resource]. – <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/104432/01-Levchenko.pdf?sequence=1>.
- 4 **Segal, V.** Severe plastic deformation: simple shear versus pure shear. // *Materials Science and Engineering : A*. – 2002. – 338(1-2). – P. 331–344. – [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00066-7).
- 5 **Azushima, A., Kopp, R., Korhonen, A., Yang, D. Y., Micari, F., Lahoti, G. D., Yanagida, A.** Severe plastic deformation (SPD) processes for metals. // *CIRP Annals*. – 2008. – 57(2). – P. 716–735. – <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.005>.
- 6 **Harsha, R. N., Mithun Kulkarni, V., & Satish Babu, B.** Severe plastic deformation - a review. // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – 5(10). – 22340–22349. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.600>.
- 7 **Segal, V.** Review: modes and processes of severe plastic deformation (SPD). // *Materials*. – 2018. – 11(7). – 1175. – <https://doi.org/10.3390/ma11071175>.
- 8 **Valiev, R. Z.** Producing bulk nanostructured metals and alloys by severe plastic deformation (SPD) // *Nanostructured Metals and Alloys*. – 2011. – P. 3–39. – <https://doi.org/10.1533/9780857091123.1.3>.
- 9 **Naizabekov A. B., Bykhin M. B., Nogaev K. A., Bykhin B. B.** Study of the process of realization of high-rate plastic deformation in lengthwise rolling // *METAL 2010 - 19th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*. – 2010. – P. 192–202. – [Electronic resource]. – [http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal\\_10/lists/papers/198.pdf](http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal_10/lists/papers/198.pdf).
- 10 **Abishkenov, M., Ashkeyev, Zh., Nogaev, K.** Investigation of the shape rolling process implementing intense shear strains in special diamond passes. // *Materialia*. – 2022. – 26. – 101573. – <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101573>.
- 11 **Hwang, J.-K.** Effects of caliber rolling on microstructure and mechanical properties in twinning-induced plasticity (TWIP) steel // *Materials Science and Engineering: A*. – 2018. – 711. – P. 156–164. – <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.11.031>.
- 12 **Gubacheva, L. A. & Sladkowski, A. V.** Analiz processa dvuxuglovoj gibki tolstolistovoj zagotovki. [Analysis of the process of double-angle bending of a thick plate] // *Vostochno – evropejskij zhurnal peredovy`x tehnologij*. – 2006. – № 1 (19). – P. 50–52.

13 **Gubacheva, L. A. & Sladkowski, A.** Analiz silovogo rezhima processa dvuxuglovoj gibki tolstolistovoj zagotovki. [Analysis of the force regime of the process of double-angle bending of a thick plate] // *Visnik Sxidnoukrains`kogo naczional`nogo universitetu*. – 2005. – №11 (93). – P. 152–158.

14 **Pesin, A. M., Pustovojtov, D. O., Shveeva, T. V., Steblyanko, B. L., Fedoseev, S. A.** Modelirovaniye nemonotonnosti techeniya metalla pri asimmetrichnoj tonkolistovoj prokatke s rassoglasovaniem skorostej valkov [Modeling of non-monotonicity of metal flow at asymmetric thin sheet rolling with mismatch of roll speeds.] // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. – 2017. – № 1. – P. 56–63. – <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-1-56-63>.

Принято к изданию 08.09.23.

\***К. А. Ногаев<sup>1</sup>, Ж. А. Ашкеев<sup>2</sup>, М. Ж. Абишкенов<sup>3</sup>,  
А. Сладковский<sup>4</sup>, А. У. Камаров<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қарағанды индустриялық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Темиртау қ.;

<sup>4</sup>Силезия техникалық университеті, Польша Республикасы, Катовице қ.;

<sup>5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Басып шығаруға 08.09.23 қабылданды.

#### КӨЛДЕНЕҢ ЫҒЫСУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРАТЫН ОВАЛ КАЛИБРДЕ ПРОКАТТАУ КЕЗІНДЕГІ КЕРНЕУ-ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ КҮЙДІ ТАЛДАУ

*Сорттық прокаттау жабдықтарының, металл бұйымдарының қажетті геометриясы мен қасиеттерін қалыптастыруды қамтамасыз ететін, маңызды элементтерінің бірі калибрленген білікшелер болып табылады. Сонымен қатар дәстүрлі калибрлерде прокаттау кезінде дайын прокатта құйма құрылымының қалдықтары және көлденең қимада металдың механикалық қасиеттерінің біртекті еместігі байқалады. Аталған кемшіліктерді металл көлемінде қарқынды пластикалық деформацияны (ҚПД) жүзеге асыру арқылы жоюға болады. Дегенмен, ҚПД технологияларының көпшілігінің төмен өндірістік қабілеттілігі оларды өнеркәсіпте қолдануға кедергі келтіреді. Сондықтан технологиялық процестің үздіксіздігі жағдайында, атап айтқанда үздіксіз стандартта прокаттау кезінде ҚПД енгізудің жаңа әдісін жасау және зерттеу өзекті ғылыми-техникалық мәселе болып табылады.*

*Бұл жұмыста қарқынды ығысу деформациясын жүзеге асыруды қамтамасыз ететін прокат біліктерін калибрлеудің жаңа схемасы қарастырылған. Калибрлерде прокаттаудың қолданыстағы схемаларына талдау жүргізілді және көлденең ығысуды жүзеге асыру үшін калибрлердің тиімді жүйесі ұсынылды. Жаңа прокаттау сұлбасының тиімділігі шекті элементтер әдісімен (ШЭӘ) процесті модельдеу нәтижелеріне негізделген кернеу-деформация күйін талдау негізінде бағаланады. Ығысу деформацияларың жүзеге асыратын калибрлерде жолақты прокаттау*



*дәстүрлі калибрлердегі прокаттаумен салыстырғанда пластикалық ағынның монотонды емес сипатын және металдың кернеулі-деформациялық күйінің қолайлы көрсеткіштерін қамтамасыз ететіні анықталды.*

*Кілтті сөздер: прокаттау, калибр, пластикалық ағын, ығысу деформациясы, кернеу-деформация күйі, шекті элементтер әдісі.*

\***К. А. Nogaev<sup>1</sup>, Zh. A. Ashkeyev<sup>2</sup>, M. Zh. Abishkenov<sup>3</sup>,  
A. Sladkowski<sup>4</sup>, A. U. Kamarov<sup>5</sup>**

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

<sup>4</sup>Silesian University of Technology, Republic of Poland, Katowice;

<sup>5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Accepted for publication on 08.09.23.

### ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE DURING ROLLING IN AN OVAL GAUGE REALIZING TRANSVERSE SHEAR

*Calibrated rolls are one of the important elements of section-rolling equipment, providing the formation of the required geometry and properties of metal products. At the same time, at rolling of traditional in calibrated rolls in finished rolled products there are remnants of cast structure and inhomogeneity of mechanical properties of metal along the cross-section. The mentioned disadvantages can be eliminated by realization of severe plastic deformation (SPD) in the volume of metal. However, low manufacturability of the majority of SPD technologies restrains their use in industry. Therefore, the development and research of a new method of SPD realization in conditions of technological process continuity, in particular during rolling in continuous mills, is an actual scientific and technical problem.*

*In this paper a new scheme of rolling rolls calibrations is considered, providing the realization of intensive shear deformation. The analysis of the existing schemes of rolling in gauges is carried out and an effective system of gauges for the realization of transverse shear is proposed. The efficiency of the new rolling scheme is evaluated on the basis of stress-strain state analysis based on the results of the process modeling by the finite element method (FEM). It is established that strip rolling in gauges realizing shear deformations provides non-monotonic character of plastic flow and more favorable indices of stress-strain state of metal in comparison with rolling in traditional gauges.*

*Keywords: rolling, gauge, plastic flow, shear deformation, stress-strain state, finite element method.*

МРНТИ 53.39.31

<https://doi.org/10.48081/QYZE3219>

\***Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, Ж. Шошай<sup>2</sup>, А. Б. Баева<sup>3</sup>,  
С. Ю. Маркова<sup>4</sup>, Р. К. Омаров<sup>5</sup>**

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

<sup>3</sup>ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК,

Республика Казахстан, г. Павлодар

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

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЛИТИЙ- ИОННЫХ БАТАРЕЙ ВОЗДУШНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

*Наиболее распространенные технологии переработки литий-ионных аккумуляторов связаны с их пирометаллургической переработкой и последующим выщелачиванием. Пирометаллургические методы энергозатратны и опасны для окружающей среды. Таким образом, крайне актуальной и важной будет разработка технологии предварительного разделения материалов, что приведет к увеличению эффективности переработки отработанных батарей. Своей эффективностью и экологичностью выгодно отличаются физические методы разделения материалов. На сегодняшний день существуют различные методы разделения на физических принципах. Электростатические методы не могут быть применены, поскольку металлы (медь и алюминий) и оксид лития в сырье, полученном после измельчения аккумуляторов, являются проводниками и не разделяются. Применение гравитационного обогащения в водной среде также невозможно. Оксид лития с водой вступают в реакцию, образуя щелочь. Существуют также способы гравитационного обогащения в воздушной среде. Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является изучение процесса разделения металлов, и смеси углерода с оксидом лития на гравитационных принципах в воздушном потоке. Данная технология обладает всеми преимуществами, простотой аппаратного оформления и внедрения в действующее производство. Двух этапное измельчение, и воздушная сепарация позволяет отделить Си и Al от смеси LiCoO<sub>2</sub>+C. Полученные продукты являются пригодными для продажи и представляют коммерческую ценность. Смесь LiCoO<sub>2</sub>+C возможно отправлять на процесс термического восстановления с использованием Al полученного при сепарации.*

*Ключевые слова: литий-ионные батареи, алюминий, медь, вторичная переработка, литий, кобальт.*

### Введение

На сегодняшний день литий является основным важным металлом в изготовлении литий-ионных аккумуляторов, которые находят все большее применение во всех областях от смартфонов до транспортных средств. Мировые

запасы лития составляют 86 млн. т при ежегодном потреблении 82 тыс. т. Более 70 % лития идет на изготовления аккумуляторов, и этот процент в будущем будет только расти [1]. Типичная конструкция литий-ионных батарей это стальной металлический корпус, анод – медная лента и катод – алюминиевая лента с нанесенной смесью содержащей углерод и оксид лития и других металлов (кобальт, марганец и т.д.) [2]. Наибольшая часть литий-ионных аккумуляторов идет на изготовление различных электронных гаджетов и смартфонов. Учитывая, что средний цикл жизни таких аккумуляторов 300–500 перезарядок с каждым годом растет количество вышедших из строя литий-ионных аккумуляторов. Тот факт, что литий-ионные аккумуляторы содержат большое количество токсичных веществ, а их переработки не превышает 10 % во всем мире [3], а в Казахстане вообще не перерабатываются, вызывает опасения с точки зрения загрязнения окружающей среды. Объем казахстанского рынка смартфонов по итогам 2020 года составил 4,3 млн. штук, увеличившись на 6,7 % в сравнении с 2019-м. Продажи всех видов мобильных телефонов (включая простые кнопочные модели) поднялись на 11 %, до 4,7 млн. штук [4].

Таким образом, количество б/у аккумуляторы только смартфонов в Казахстане ежегодно будет составлять несколько млн. штук. Это говорит о необходимости создания эффективных технологических решений по переработки б/у литий-ионных аккумуляторов. Это позволит уменьшить нагрузку на окружающую среду, вернуть в производственный цикл литий и другие полезные элементы и создать рабочие места. Наиболее распространенные технологии переработки литий-ионных аккумуляторов связаны с их пирометаллургической переработкой и последующим выщелачиванием. Предварительно аккумуляторы подвергаются дроблению и измельчению. Стальной корпус отделяется магнитной сепарацией, полученный материал содержащий медь, алюминий, электролит и смесь углерода и оксида лития, перерабатывается гидрометаллургическими либо пирометаллургическими методами, а также их комбинацией. Так существуют методы когда при обжиге в течении часа с температурой 800 °С с  $\text{CaCl}_2$  получают  $\text{LiCl}$  [5]. Предлагаются также методы низкотемпературной обработки с использованием расплавленного  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  при температуре 400 °С в атмосфере аргона, с высокой степенью извлечения Li (98 %) в виде  $\text{LiCoO}_2$  [6]. Полученные продукты обычно подвергаются выщелачиванию при помощи различных реагентов [7].

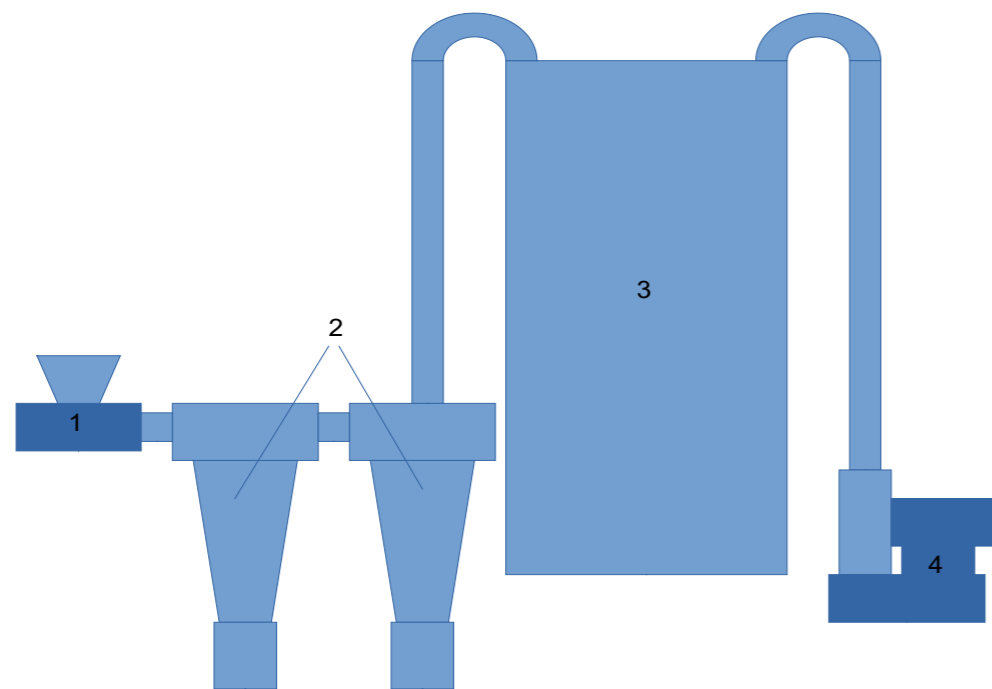
Наиболее часто применяемый гидрометаллургический метод переработки отработанных аккумуляторов является выщелачивание с помощью водного раствора  $\text{NaOH}$  [8]. Однако, все эти методы имеют недостатки.

Пирометаллургические методы переработки отработанных аккумуляторов энергозатратны и опасны для окружающей среды. Выщелачивание огарка материалов, не разделенных предварительно, ведет к затратам реагентов. Реагент требует особого обращения, поскольку может вызывать химические ожоги. Образующийся раствор сложно поддается разделению. Для разделения материалов требуется пресс фильтр. Утилизация полученного раствора также

не проработана [9]. Таким образом, крайне актуальной и важной будет разработка технологии предварительного разделения материалов, что приведет к увеличению эффективности переработки отработанных батарей. Своей эффективностью и экологичностью выгодно отличаются физические методы разделения материалов [10]. На сегодняшний день существуют различные методы разделения на физических принципах. Однако электростатические методы не могут быть применены, поскольку металлы (медь и алюминий) и оксид лития в сырье, полученном после измельчения аккумуляторов, являются проводниками и не разделятся. Известно, что плотность меди – 8,96 г/см<sup>3</sup>; оксид кобальта 5,2 г/см<sup>3</sup>; оксид лития 2,01 г/см<sup>3</sup>; алюминий 2,7 г/см<sup>3</sup>; углерод  $\approx$  1,9-2,7 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, теоретически медь и оксид кобальта можно будет отделить от смеси алюминия, углерода и оксида лития с помощью гравитационных методов. Применение гравитационного обогащения в водной среде также не возможно. Оксид лития с водой вступают в реакцию, образуя щелочь. Существуют способы гравитационного обогащения в воздушной среде. При разделении материалов измельченных литий-ионных аккумуляторов с помощью восходящего воздушного потока не образуется отходов, а установка проста конструктивно. Для ее запуска и изготовления не требуется уникальное оборудование, расходные реагенты и высококвалифицированный персонал. Целью данного исследования является изучение процесса разделения металлов, и смеси углерода с оксидом лития на гравитационных принципах в воздушном потоке. Данная технология обладает всеми преимуществами, простотой аппаратного оформления и внедрения в действующее производство.

#### Материалы и методы

Все эксперименты проводились в лаборатории факультета Инженерии Торайгыров Университета (<https://tou.edu.kz/en/>) и ВКТУ им. Д.Серикбаева (<https://www.ektu.kz>). В качестве сырья использовались литий-ионные аккумуляторы отработанных сотовых телефонов одной марки в количестве 4 шт. Для измельчения материалов использовалась барабанная дробилка QL-500. Для гравитационного обогащения в воздушной среде использовалась лабораторная установка показанная на рисунке 1.



1 – питатель; 2 – циклон; 3 – бункер; 4 – насос  
Рисунок 1 – Установка воздушной сепарации

Литий-ионные аккумуляторы были разобраны вручную. Литий-ионный аккумулятор состоит из корпуса, анода и катода. Анод представляет собой медную ленту (рисунок 2а), а катод ленту из алюминия (рисунок 2б) с нанесенной смесью из углерода, оксида лития и других элементов, разделителя и электролита. Содержимое одного аккумулятора (анод, катод и т.д.) были тонко измельчены с целью определения их химического элементного и фазового состава. Измельченный материал от остальных 3х батарей подавался в питатель, и затем под воздействием разряжения создаваемого установкой (мощностью = 1800 w) попадал поочередно в циклоны и затем в бункер. Отделенный от металлических лент порошок был просушен в муфельной печи при температуре 250 °С с целью удаления растворителя электролита. Для изучения фазового состава применялся рентгеновский дифрактометр X’Pert PRO производства компании «PANalitical» (Таблица1).

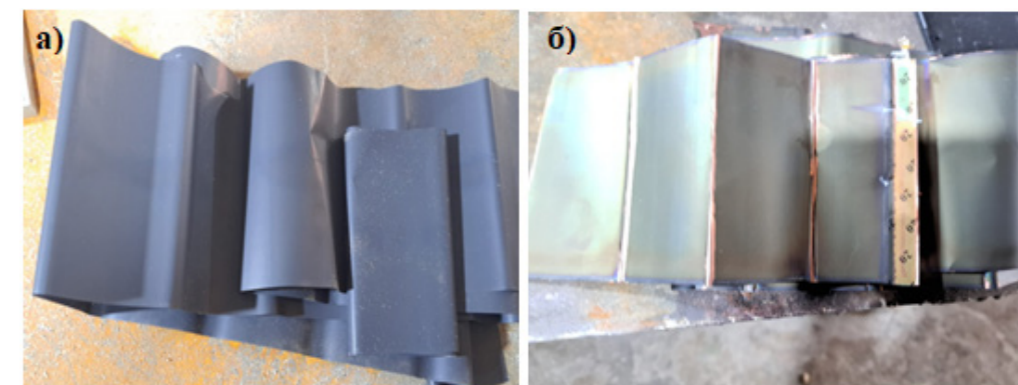


Рисунок 2 – Анод (а) и катод (б) литий-ионного аккумулятора

Элементный состав материалов определяли с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS 7500 cx от Agilenttechnologies (США) (Таблица 2).

**Результаты и обсуждение**

Состав литий-ионных батарей представлен в таблице 1. Видно, что смесь LiCoO<sub>2</sub> и углерода составляет до 27,1 % и 16,3 % соответственно. Содержание алюминия и медь достигает 14,7 %. Средний вес батареи, такой как BL-51YF = 200 г.

Таблица 1 – Состав литий-ионных батарей в % от массы

Компонент	LiCoO <sub>2</sub>	Cu/Al	C	Остальное
Масса, %	27,1	14,7	16,3	41,9

Предварительно извлеченные из корпуса батареи анод и катод были измельчены с помощью барабанной дробилки до фракции < 10 мм (рисунок 3а). Уже на этой стадии практически весь материал, находящийся в батарее в виде порошка и содержащий углерод, оксида лития и другие элементы был отделен от лент (рисунок 3б). Однако часть материала лент из Cu и Al в виде кусочков в нем осталась. На следующей стадия было осуществлено более мелкое измельчение смеси медной и алюминиевой лент показанной на рисунке 3а до фракции < 2 мм. Затем смесь была подана на воздушную сепарацию. Отделенный на первой стадии измельчения порошкообразный материал с кусочками металлических лент показанный на рисунке 3б, также был отправлен на воздушную сепарацию.

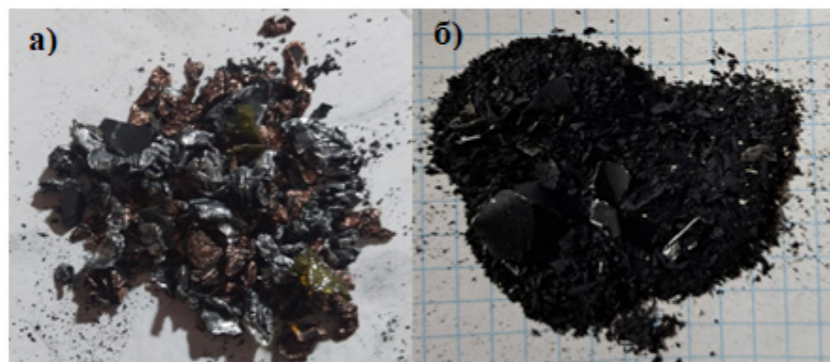


Рисунок 3 – Анод и катод после измельчения до фракции < 10 мм - (а); отделенный литий содержащий материал с кусочками лент анода и катода - (б)

Схема предварительной переработки представлена на рисунке 4.

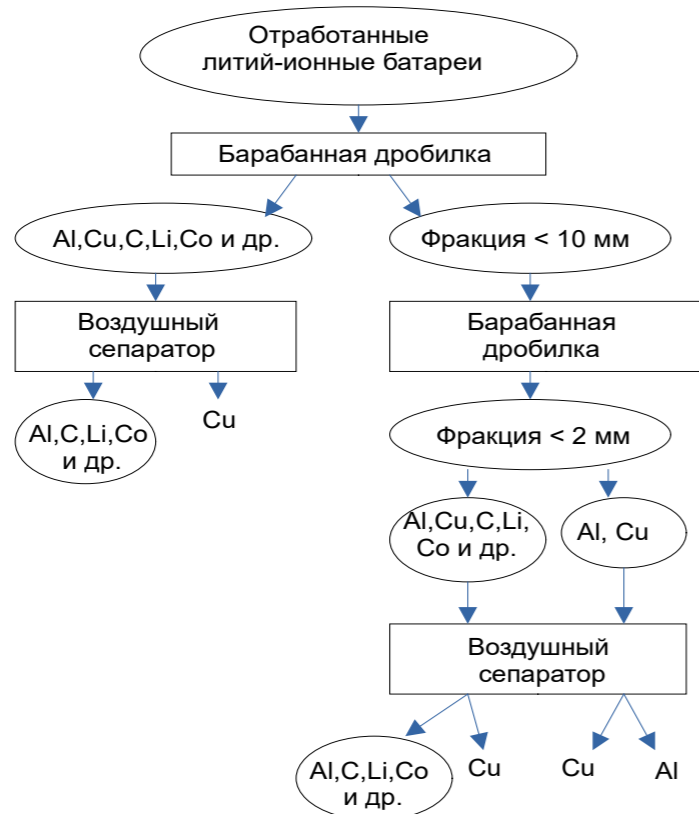


Рисунок 4 – Схема предварительной переработки отработанных литий-ионных батарей

В результате проведенных операций на выходе было получена порошкообразная смесь  $Al, LiCoO_2$  и  $C$  (рисунок 5а), а также кусочки из  $Cu$  (рисунок 5б) и  $Al$  (рисунок 5в). Состав полученных продуктов представлен в таблице 2. Видно, что в результате предварительного разделения на стадии измельчения была отделена

практически вся часть, содержащая  $Cu$  и  $Al$ . Далее на стадии воздушной сепарации из порошкообразной части отделяется  $Cu$ , и разделяются  $Cu$  и  $Al$  от отделенной порошкообразной части на стадии дробления. В противном случае на стадии воздушной сепарации отделить  $Al$  ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ) от смеси содержащей оксид кобальта ( $5,2 \text{ г/см}^3$ ), оксида лития  $2,01 \text{ г/см}^3$  и углерода ( $1,9-2,7 \text{ г/см}^3$ ) было бы затруднительно.

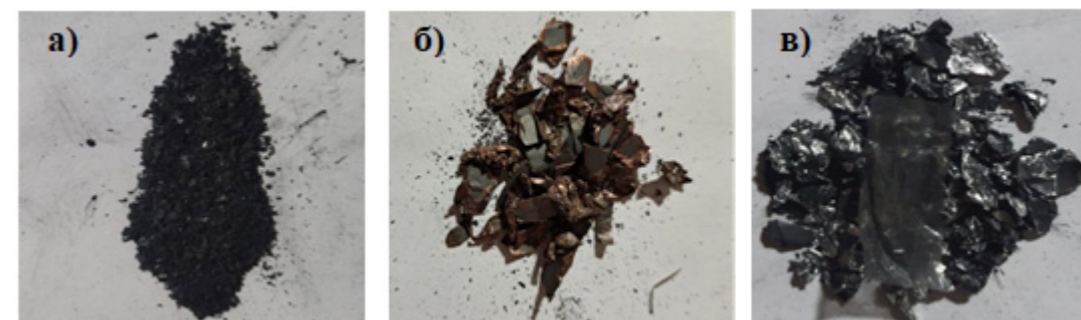


Рисунок 5 – Порошкообразная смесь  $LiCoO_2$  и  $C$  (а); разделенные ленты из  $Cu$  (б) и  $Al$  (в)

Также в полученных продуктах присутствует пластик и другие компоненты (остальное)

Таблица 2 – Состав полученных продуктов в % от массы

а)	Компонент	$LiCoO_2$	$Cu/Al$	$C$	Остальное
	Масса, %		54,1	0,2	33,2
б)	Компонент	$LiCoO_2+C$	$Cu$	$Al$	Остальное
	Масса, %		0,12	87,3	2,3
в)	Компонент	$LiCoO_2+C$	$Al$	$Cu$	Остальное
	Масса, %		19,1	73,7	0,3

### Выводы

Экспериментально установлено, что предварительная обработка отработанных измельченных литий ионных батарей, включающая двух этапное измельчение, и воздушную сепарацию позволяет отделить  $Cu$  и  $Al$  от смеси  $LiCoO_2+C$ . Полученные продукты являются пригодными для продажи и представляют коммерческую ценность. Полученную смесь  $LiCoO_2+C$  возможно отправлять на процесс термического восстановления с использованием  $Al$  полученного при сепарации. Авторы планируют продолжать эксперименты, в этом направлении, а также изучить различные режимы воздушной сепарации (мощность установки и т.д.) и степени измельчения сырья с целью достижения большей степени разделения продуктов.

1 Официальный сайт Геологической службы США // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. – January, 2021. – [Электронный ресурс]. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>.

2 **Zou, H., Gratz, E., Apelian, D. & Wang, Y.** A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries. *Green Chem.* – 15. – 2013. – 1183–1191.

3 **Gu, F., Guo, J., Yao, X., Summers, P. A., Widijatmoko, S. D., & Hall, P.** An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China // *Journal of Cleaner Production.* – 161. – 2017. – 765–780. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.181>.

4 Официальный сайт компании TADVISER // Рынок смартфонов Казахстана [Электронный ресурс]. – [https://www.tadviser.ru/index.php/\(рынок\\_Казахстана\)](https://www.tadviser.ru/index.php/(рынок_Казахстана)).

5 **Hui Dang, Na Li, Zhidong Chang, Benfeng Wang, Yifei Zhan, Xue Wu, Wenbo Liu, Shujaat Ali, Hongda Li, Jiahui Guo, Wenjun Li, Hualei Zhou, Changyan Sun.** (2020) Lithium leaching via calcium chloride roasting from simulated pyrometallurgical slag of spent lithium ion battery, *Separation and Purification Technology*, 233, 116025, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116025>.

6 **Yiqi Tang, Beilei Zhang, Hongwei Xie, Xin Qu, Pengfei Xing, Huayi Yin.** Recovery and regeneration of lithium cobalt oxide from spent lithium-ion batteries through a low-temperature ammonium sulfate roasting approach, *Journal of Power Sources.* – 474. – 2020. – 228596. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228596>.

7 **Lei Shuya, Cao Yang, Cao Xuefeng, Sun Wei, Weng Yaqing, Yang Yue.** Separation of lithium and transition metals from leachate of spent lithium-ion batteries by solvent extraction method with Versatic 10, *Separation and Purification Technology* 250. – 2020. – v117258. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117258>.

8 **Chernyaev, A., Wilson, B.P. & Lundström, M.** Study on valuable metal incorporation in the Fe–Al precipitate during neutralization of LIB leach solution. // *Sci Rep* 11. – 23283. – 2021. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02019-2>.

9 **Yuchen Hu, Yajuan Yu, Kai Huang, Lei Wang.** Development tendency and future response about the recycling methods of spent lithium-ion batteries based on bibliometrics analysis // *Journal of Energy Storage.* – 27. – 2020. – 101111. – ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101111>.

10 **Shaw-Stewart, J., Alvarez-Reguera, A., Greszta, A., Marco, J., Masood, M., Sommerville, R., & Kendrick, E.** Aqueous solution discharge of cylindrical lithium-ion cells. *Sustainable Materials and Technologies*, e00110. 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00110>.

1 Official website of Geological Survey of the USA [US Geological Survey official website] // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. January, 2021. [Electronic resource]. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>

2 **Zou, H., Gratz, E., Apelian, D. & Wang, Y.** A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries // *Green Chem.* – 15. – 2013. – 1183–1191.

3 **Gu, F., Guo, J., Yao, X., Summers, P. A., Widijatmoko, S. D., & Hall, P.** An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China // *Journal of Cleaner Production.* – 161. – 2017. – P 765–780. – doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.181.

4 Official website of TADVISER // Рынок смартфонов Казахстана. – [Electronic resource]. – [https://www.tadviser.ru/index.php/\(рынок\\_Казахстана\)](https://www.tadviser.ru/index.php/(рынок_Казахстана))

5 **Hui Dang, Na Li, Zhidong Chang, Benfeng Wang, Yifei Zhan, Xue Wu, Wenbo Liu, Shujaat Ali, Hongda Li, Jiahui Guo, Wenjun Li, Hualei Zhou, Changyan Sun.** Lithium leaching via calcium chloride roasting from simulated pyrometallurgical slag of spent lithium ion battery // *Separation and Purification Technology.* – 233. – 2020. – 116025. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116025>.

6 **Yiqi Tang, Beilei Zhang, Hongwei Xie, Xin Qu, Pengfei Xing, Huayi Yin.** Recovery and regeneration of lithium cobalt oxide from spent lithium-ion batteries through a low-temperature ammonium sulfate roasting approach, *Journal of Power Sources.* – 474. – 2020. – 228596. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228596>.

7 **Lei Shuya, Cao Yang, Cao Xuefeng, Sun Wei, Weng Yaqing, Yang Yue.** 2020 Separation of lithium and transition metals from leachate of spent lithium-ion batteries by solvent extraction method with Versatic 10 // *Separation and Purification Technology* 250. – 2020. – v117258. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117258>.

8 **Chernyaev, A., Wilson, B.P. & Lundström, M.** Study on valuable metal incorporation in the Fe–Al precipitate during neutralization of LIB leach solution // *Sci Rep* 11. – 2021. – 23283. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02019-2>.

9 **Yuchen Hu, Yajuan Yu, Kai Huang, Lei Wang.** Development tendency and future response about the recycling methods of spent lithium-ion batteries based on bibliometrics analysis // *Journal of Energy Storage.* – 27. – 2020. – 101111. – ISSN 2352-152X. – <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101111>.

10 **Shaw-Stewart, J., Alvarez-Reguera, A., Greszta, A., Marco, J., Masood, M., Sommerville, R., & Kendrick, E.** Aqueous solution discharge of cylindrical lithium-ion cells. *Sustainable Materials and Technologies.* – 2019. – e00110. – doi:10.1016/j.susmat.2019.e00110.

\***Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, Ж. Шошай<sup>2</sup>, А. Б. Баева<sup>3</sup>, С. Ю. Маркова<sup>4</sup>, Р. К. Омаров<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,5</sup>Toraighyrov universiteti, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. ;

<sup>3</sup>Ұлттық сараптама орталығы ШЖҚ РМК Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана ҚР ДСМ КЭК,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Басып шығаруға 20.08.23 қабылданды.

### ҰСАҚТАЛҒАН ЛИТИЙ-ИОНДЫ БАТАРЕЯЛАРДЫ АУА СЕПАРАЦИЯ АРҚЫЛЫ АЛДЫН АЛА БӨЛУ

*Литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеудің ең кең таралған технологиялары оларды пирометаллургиялық өңдеумен және кейіннен шаймалаумен байланысты. Пирометаллургиялық әдістер энергияны қажет етеді және қоршаған ортаға қауіпті. Осылайша, материалдарды алдын-ала бөлу технологиясын жасау өте өзекті және маңызды болады, бұл қалдық батареяларды қайта өңдеу тиімділігінің артуына әкеледі. Материалдарды бөлудің физикалық әдістері тиімділігі мен тұрақтылығымен ерекшеленеді. Бүгінгі таңда физикалық принциптер бойынша бөлудің әртүрлі әдістері бар. Электростатикалық әдістерді қолдану мүмкін емес, өйткені батареяларды ұсақтағаннан кейін алынған шикізаттағы металдар (мыс және алюминий) мен литий оксиді өткізгіш болып табылады және бөлінбейді. Су ортасында гравитациялық байытуды қолдану да мүмкін емес. Литий оксиді сумен әрекеттесіп, сілті түзеді. Сондай-ақ, ауа ортасында гравитациялық байытудың жолдары бар. Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, бұл зерттеудің мақсаты металдарды бөлу процесін және ауа ағынындағы гравитациялық принциптер бойынша көміртегі мен литий оксиді қоспасын зерттеу болып табылады. Бұл технология барлық артықшылықтарға, аппараттық дизайнның қарапайымдылығына және қолданыстағы өндіріске енгізуге ие. Екі кезеңді ұнтақтау, және ауаны бөлу Cu және Al-ді  $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$  қоспасынан бөлуге мүмкіндік береді.  $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$  қоспасын бөлу кезінде алынған Al көмегімен термиялық қалпына келтіру процесіне жіберуге болады.*

*Кілтті сөздер: литий-ионды батареялар, алюминий, мыс, қайта өңдеу, литий, кобальт.*

\***R. V. Sapinov<sup>1</sup>, Zh. Shoshai<sup>2</sup>, A. Bayeva<sup>3</sup>, S. Y. Markova<sup>4</sup>, R. K. Omarov<sup>5</sup>**

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

Accepted for publication on 20.08.23.

### PRE-SEPARATION OF SHREDDDED LITHIUM-ION BATTERIES BY AIR SEPARATION

*The most common technologies for processing lithium-ion batteries are associated with their pyrometallurgical processing and subsequent leaching. Pyrometallurgical methods are energy-consuming and dangerous for the environment. Thus, the development of a technology for the preliminary separation of materials will be extremely relevant and important, which will lead to an increase in the efficiency*

*of processing spent batteries. Physical methods of separating materials compare favorably with their efficiency and environmental friendliness. To date, there are various methods of separation based on physical principles. Electrostatic methods cannot be applied, since the metals (copper and aluminum) and lithium oxide in the raw material obtained after grinding the batteries are conductors and will not separate. The use of gravity enrichment in the aquatic environment is also not possible. Lithium oxide reacts with water to form alkali. There are also methods of gravitational enrichment in the air. Based on the foregoing, the purpose of this study is to study the process of separation of metals, and a mixture of carbon with lithium oxide on gravitational principles in an air stream. This technology has all the advantages, simplicity of hardware design and implementation in existing production. Two-stage grinding and air separation allows separating Cu and Al from the  $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$  mixture. The resulting products are suitable for sale and represent commercial value. The  $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$  mixture can be sent to the thermal reduction process using the Al obtained during separation.*

*Keywords: lithium-ion batteries, aluminum, copper, recycling, lithium, cobalt.*

**А. Ж. Терликбаева<sup>1</sup>, \*А. М. Алимжанова<sup>2</sup>, Р. А. Шаяхметова<sup>3</sup>,  
А. А. Мухаметжанова<sup>4</sup>, Б. Т. Сахова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Республика Казахстан, г. Алматы  
\*e-mail: [alma\\_terlikbaeva@mail.ru](mailto:alma_terlikbaeva@mail.ru)

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И ПОСТРОЕНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ Ti-AL-MO-V-ZR**

*В данной работе были проведены расчеты изотермических и политермических расчетов системы Ti-2,5Al-5Mo-5V с добавлением различных масс.% Zr с помощью программы Thermo-Calc Perpetual SUNLL 2023a с использованием базы данных TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5. Расчетным путем определены показатели изменения фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-Zr в зависимости от условия охлаждения и состава. Введение циркония в титановый сплав системы Ti-2,5Al-5Mo-5V в количестве 1 % приводит к значительному изменению фазового состава. Установлено, что легированные небольшим количеством циркония титановые сплавы являются двухфазными, и в связи с этим увеличивать содержание циркония выше 1 % нецелесообразно.*

*Политермическими расчетами определен оптимальный состав титанового сплава, масс. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1Zr, остальное титан. Установлено, что в диапазоне температур 660–700 °C происходит равное распределение количества  $\alpha$  и  $\beta$  фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную  $\alpha + \beta$  область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °C, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства.*

*Ключевые слова: Ультрамелкозернистость, интенсивная пластическая деформация, структура, наноразмеры, сверхпластичность.*

#### **Введение**

В настоящий момент один из перспективных методов, который позволяет существенно усовершенствовать механические параметры металлов и сплавов, состоит в создании в них наноструктурных изменений разными способами интенсивной пластической деформации (ИПД). Посредством ИПД в металлах и сплавах создают ультрамелкозернистое (УМЗ) изменение с разнообразными наноструктурными компонентами, оказывающее существенное воздействие на их качества, что дает возможность приравнять УМЗ материалы к классу больших наноструктурных материалов [1]. Это дает возможность существенно увеличить

прочность, а также предел выносливости двухфазных титановых сплавов, осуществить их высоко- и/или низкотемпературную сверхпластичность [2].

Последние эксперименты выявили, то, что создание ультрамелкозернистой (УМЗ) текстуры в металлах и сплавах зачастую приводит к значительному уменьшению ударной вязкости и вязкости разрушения [3–5]. Как результат, это сильно ограничивает фактическое применение УМЗ титановых сплавов, как конструкционных материалов. По этой причине достижение в них компромисса между прочностью и вязкостью разрушения считается острой задачей в современном материаловедении.

В авиационном машиностроении прослеживается высокая заинтересованность к производству пустотелых тонкостенных деталей с высокими прочностными свойствами, которые достигаются при применении сверхпластических технологий. Особое внимание уделяется технологиям, базирующимся на применении эффекта традиционной и низкотемпературной сверхпластичности [6].

Уменьшение температуры сверхпластической деформации титановых сплавов с помощью изменения структуры и формирования УМЗ структуры термомеханической обработкой является одним из наиболее перспективных способов. Невысокая температура сверхпластической деформации даст возможность не только продлить период службы оснастки для формовки, но также применять менее дорогие марки сталей.

Для создания прецизионных титановых сплавов, легированных редкими и редкоземельными металлами с ультрамелкозернистой структурой, выбора режимов их термической обработки и горячей прокатки требуются большие временные затраты и финансовые ресурсы. Поэтому в последнее время все чаще при поиске новых сплавов с уникальными свойствами применяют компьютерное моделирование. В связи с этим для обоснования режимов получения и термической обработки титановых сплавов, необходимо проведение теоретических расчетов фазовых равновесий и построение диаграмм в многокомпонентных системах на основе титана Ti-Al-Mo-V-Zr.

В отличие от двойных систем полноценный анализ многокомпонентных систем (начиная уже с тройных) требует достаточно большого количества графических изображений, в частности, изотермических и политермических сечений. Имеющихся в литературе сведений даже по тройным системам явно недостаточно [7–9], а их экспериментальное изучение требует длительного времени. В связи с этим целесообразно использовать специализированные компьютерные программы. С этой целью для исследований применяли программу Thermo-Calc (Perpetual SUNLL 2023a) с использованием базы данных Titanium and Ti-Al alloy database TCTI: TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 [10]. Анализ многокомпонентных систем расчетными методами целесообразно проводить до экспериментальных исследований, которые применительно к титановым сплавам весьма трудоемки.

**Материалы и методы исследования**

В работе для оценки фазового состава и структуры сплавов использован компьютерный расчет характерных изотермических и политермических разрезов фазовой диаграммы многокомпонентных систем с помощью программы Thermo-Calc (Perpetual SUNLL 2023a) с использованием базы данных Titanium and Ti-Al alloy database TCTI: TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 [10]. Полуколичественную оценку фазового состава многокомпонентных сплавов осуществляют с использованием политермических и изотермических разрезов. Политермические разрезы позволяют оценить влияние отдельных легирующих элементов на формирование фазового состава при охлаждении и нагреве. В частности, определить в какой мере эти легирующие элементы влияют на температуру перехода в  $\beta$ -область при нагреве температуру полиморфного превращения.

**Результаты и обсуждение**

Изотермические разрезы сплавов системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr рассчитанные при 400 и 700 °C приведены на рисунках 1 и 2.

При расчете системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr в интервале температур от 400 до 700 °C формируются следующие фазы:  $\alpha$  – твердый раствор на основе гексогональной плотной решетки ( $\alpha$ -Ti);  $\beta$ -твердый раствор на основе одноцентрированной кубической решетки ( $\beta$ -Ti);  $\beta_2$  – твердый раствор с повышенным содержанием  $\beta$ -стабилизатора,  $\gamma$ -фаза.

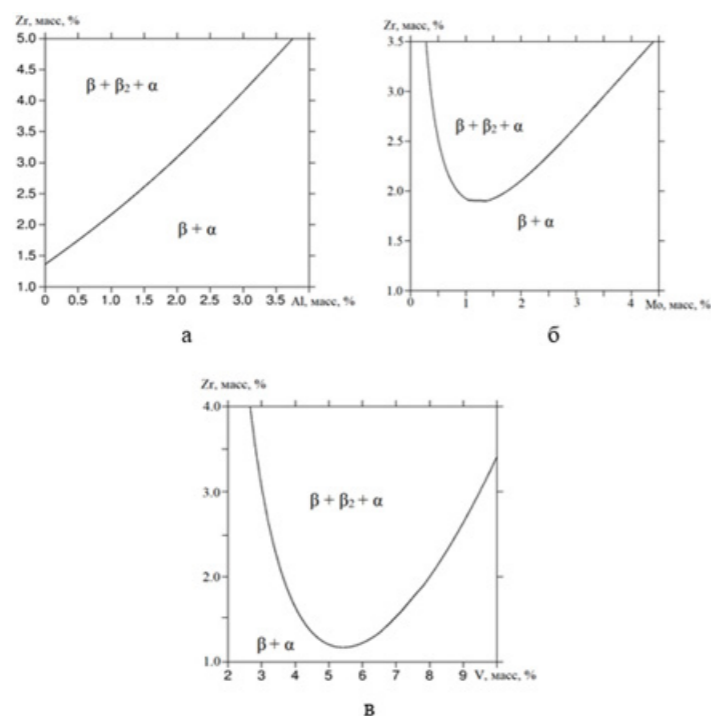


Рисунок 1 – Изотермические разрезы сплавов системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при 400 °C

По полученным расчетным данным при 400 °C в сплавах системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr образуются три фазы:  $\beta + \beta_2 + \alpha$  (рисунок 1). При достижении температуры 700 °C и увеличении содержания алюминия в системе происходят превращения: из  $\alpha + \beta$  области переходит в трехфазную  $\alpha + \beta + \gamma$  (рисунок 2а).

При увеличении концентрации циркония выше 1 % и значениях молибдена  $Mo > 5,5 \%$ , ванадия  $V > 5,5 \%$  наблюдается переход с двухфазной  $\alpha + \beta$  области в однофазную  $\beta$  область (рис. 2б, в).

Расчетные данные проведенного исследования указывают, на то, что легированные небольшим количеством циркония титановые сплавы являются двухфазными, и в связи с этим увеличивать содержание циркония выше 1 % нерационально.

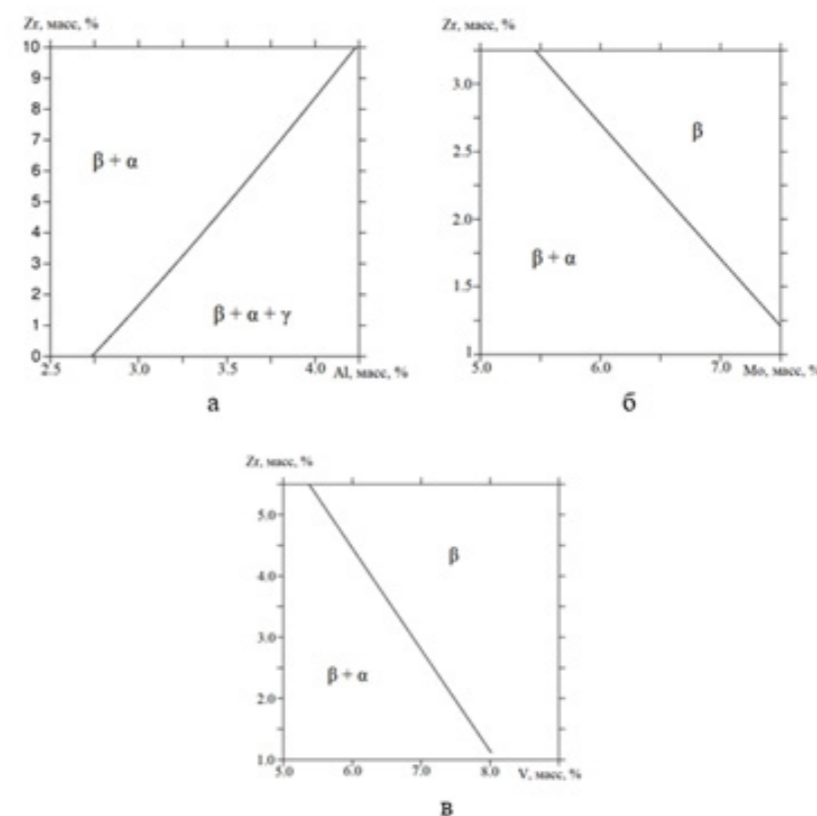


Рисунок 2 – Изотермические разрезы сплавов системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при 700 °C



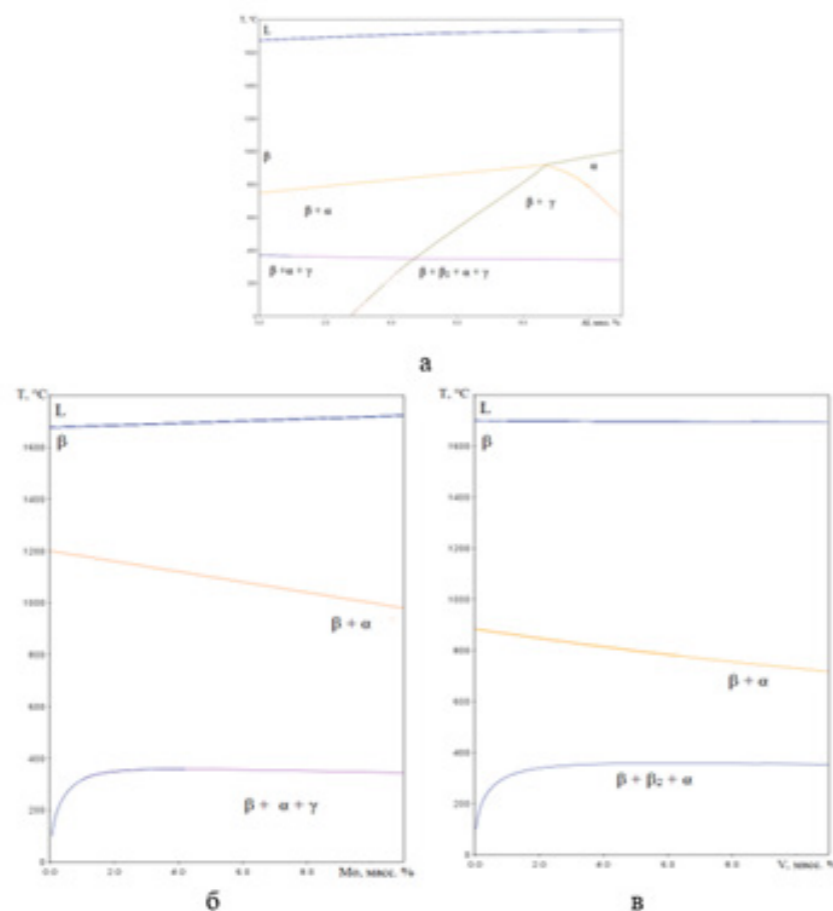


Рисунок 3 – Политермический разрез системы Ti-Al-Mo-V

Концентрация алюминия 2,5 % в диапазоне температур от 0 до 400 °C приводит к образованию  $\beta + \alpha + \gamma$  области. Но уже вследствие повышения температуры от 400 до 750 °C в сплаве нежелательная  $\gamma$ -фаза пропадает, остается только  $\beta + \alpha$  фазы. Путем увеличения содержания алюминия выше 3 % в диапазоне температур от 0 до 400 °C в сплаве образуются  $\beta_2$  и  $\gamma$  фазы.

При расчете за основу были взяты постоянные концентрации 2,5Al, 5Mo, 5V и различное количество вводимой дозы циркония.

На рисунке 4 представлены политермические разрезы системы Ti-Al-Mo-V-Zr.

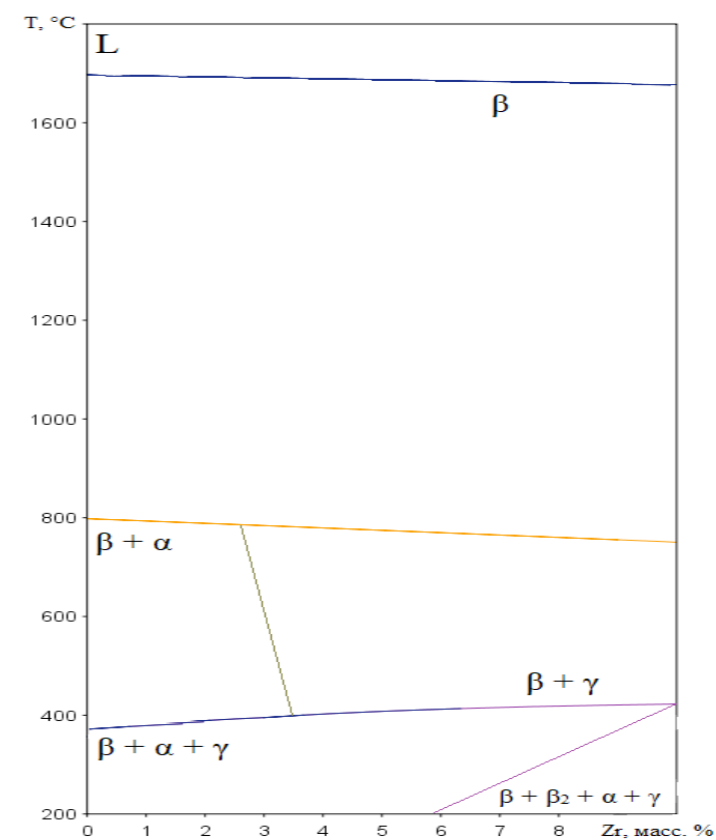


Рисунок 4 – Политермический разрез системы Ti-Al-Mo-V-Zr

В равновесных условиях, прежде всего, кристаллизуется  $\beta$ -фаза, присутствующая достаточно широком концентрационном и температурном диапазоне от 1650 до 800 °C. Но уже с понижением температуры от 800 до 380 °C и содержанием циркония от 0 до 3,5 масс. % сплав переходит в двухфазную  $\beta + \alpha$  область. В том же температурном интервале при повышении содержания циркония образуется  $\beta + \gamma$  фаза. Трехфазная  $\beta + \alpha + \gamma$  область отмечается с понижением температуры в районе 380-200 °C, ну а с повышением содержания циркония формируется четырехфазная область  $\beta + \beta_2 + \alpha + \gamma$ .

В таблицах 1-3 приведены результаты расчетов показателей фазового состава сплава систем Ti-2,5Al-5Mo-5V с различным содержанием циркония в зависимости от температуры.

Таблица 1 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-0,5Zr при различной температуре

T, °C	Фаза	Q <sub>м</sub> , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	$\beta$	100,0	87,0	2,5	5,0	5,0	0,5
800	$\beta$	100,0	87,0	2,5	5,0	5,0	0,5

790	β	96,6	86,6	2,4	5,2	5,2	0,5
	α	4,4	94,6	3,4	0,4	1,1	0,3
780	β	88,7	86,0	2,4	5,5	5,4	0,5
	α	11,3	94,6	3,3	0,4	1,2	0,3
750	β	71,6	84,0	2,2	6,8	6,5	0,3
	α	28,4	94,7	3,2	0,4	1,2	0,4
700	β	<b>52,2</b>	<b>80,0</b>	<b>2,1</b>	<b>9,1</b>	<b>8,3</b>	<b>0,5</b>
	α	<b>47,7</b>	<b>95,0</b>	<b>3,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>
680	β	<b>46,7</b>	<b>78,2</b>	<b>2,0</b>	<b>10,1</b>	<b>9,1</b>	<b>0,5</b>
	α	<b>53,3</b>	<b>95,0</b>	<b>3,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>
660	β	<b>42,0</b>	<b>76,3</b>	<b>2,0</b>	<b>11,1</b>	<b>9,9</b>	<b>0,6</b>
	α	<b>58,0</b>	<b>95,0</b>	<b>2,8</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>
640	β	38,0	74,4	2,0	1,2	1,1	0,6
	α	62,0	94,7	2,8	0,5	1,3	0,4
620	β	34,7	72,4	2,0	1,3	1,2	0,6
	α	65,2	94,7	2,8	1,3	1,3	0,4
600	β	31,8	70,3	1,8	14,4	12,7	0,6
	α	68,1	94,8	2,8	0,5	1,4	0,4

Таблица 2 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при различной температуре

Т, °С	Фаза	Q <sub>м</sub> , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	β	100,0	86,5	2,5	5,0	5,0	1,0
800	β	100,0	86,5	2,5	5,0	5,0	1,0
790	β	97,4	86,3	2,5	5,1	5,1	1,0
	α	2,6	94,3	3,5	0,4	1,1	0,7
780	β	90,3	85,7	2,4	5,5	5,4	1,0
	α	9,7	94,3	3,4	0,4	1,2	0,7
750	β	72,9	83,6	2,2	6,7	6,4	1,1
	α	27,1	94,3	3,2	0,5	1,2	0,8
700	β	<b>53,1</b>	<b>79,6</b>	<b>2,1</b>	<b>9,0</b>	<b>8,2</b>	<b>1,2</b>
	α	<b>46,9</b>	<b>94,3</b>	<b>3,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>
680	β	<b>47,5</b>	<b>77,8</b>	<b>2,0</b>	<b>9,9</b>	<b>9,0</b>	<b>1,2</b>
	α	<b>52,5</b>	<b>94,3</b>	<b>2,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>
660	β	<b>42,7</b>	<b>76,0</b>	<b>2,0</b>	<b>11,0</b>	<b>9,9</b>	<b>1,2</b>
	α	<b>57,3</b>	<b>94,3</b>	<b>2,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>
640	β	38,7	74,1	1,9	12,0	10,7	1,2
	α	61,3	94,3	2,9	0,6	1,4	0,9
620	β	35,3	72,1	1,9	13,1	11,6	1,3
	α	64,7	94,4	2,8	0,6	1,4	0,9
600	β	32,3	70,0	1,8	14,3	12,6	1,3
	α	67,7	94,4	2,8	0,5	1,4	0,9

Таблица 3 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-1,5Zr при различной температуре

Т, °С	Фаза	Q <sub>м</sub> , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	β	100,0	86	2,5	5,0	5,0	1,5
800	β	100,0	86	2,5	5,0	5,0	1,5
790	β	99,1	85,9	2,5	5,0	5,0	1,5
	α	0,9	93,9	3,5	0,4	1,1	1,1
780	β	91,9	85,3	2,4	5,4	5,3	1,5
	α	8,1	93,9	3,4	0,4	1,2	1,1
750	β	74,2	83,2	2,3	6,6	6,3	1,6
	α	25,8	93,9	3,2	0,5	1,2	1,2
700	β	<b>54,0</b>	<b>79,3</b>	<b>2,1</b>	<b>8,8</b>	<b>8,1</b>	<b>1,7</b>
	α	<b>46,0</b>	<b>93,9</b>	<b>3,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>
680	β	<b>48,2</b>	<b>77,5</b>	<b>2,0</b>	<b>9,8</b>	<b>8,9</b>	<b>1,8</b>
	α	<b>51,8</b>	<b>93,9</b>	<b>2,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>
660	β	<b>43,4</b>	<b>75,7</b>	<b>2,0</b>	<b>10,8</b>	<b>9,7</b>	<b>1,8</b>
	α	<b>56,6</b>	<b>93,9</b>	<b>2,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>
640	β	35,8	71,8	1,9	13,0	11,5	1,9
	α	64,2	93,9	2,9	0,6	1,4	1,3
620	β	35,8	71,8	1,9	13,0	11,5	1,9
	α	64,2	93,9	2,9	0,6	1,4	1,3
600	β	32,8	69,7	1,8	14,1	12,5	1,9
	α	67,1	94,0	2,8	1,3	1,3	0,6

Данные в таблицах 1–3 указывают на то, что при достижении температуры 600 °С количество β фазы доходит до уровня 31,8 масс. % при содержании циркония в сплаве 0,5 % и до 32,5 масс. % при содержании циркония 1–1,5 %. Между тем, увеличение температуры до 700 °С приводит к значительному изменению фазового состава, т.е. образуются две фазы – α и β. Уже при достижении температуры 800 °С и выше сплавы, содержащие 0,5-1,5 масс. % циркония являются однофазными, в них наблюдается только β фаза. Это приводит к образованию крупного зерна.

В диапазоне температур 660–700 °С происходит равное распределение количества α и β фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную α + β область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °С, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства. При повышении температуры с 600 до 800 °С количество молибдена и ванадия в β-фазе снижается с 14,3 до 5,0 масс. % и 12,6 до 5,0 масс. %.

Важным параметром при составлении фазовых диаграмм являются температуры ликвидуса и солидуса, которые показывают температуры начала и конца кристаллизации, а также температуры полиморфных превращений, определяющие основные температурные параметры термообработки.

Таблица 4 – Температура титановых сплавов при равновесной кристаллизации

Состав, масс. %				T <sub>L</sub> , °C	T <sub>S</sub> , °C	ΔT, °C	T <sub>NS</sub> , °C	ΔT <sub>NS</sub> , °C
Al	Mo	V	Zr					
2,5	5	5	0,5	1689	1548	141	1586	103
2,5	5	5	1	1686	1515	171	1554	132
2,5	5	5	1,5	1684	1481	203	1521	163

T<sub>L</sub> - равновесная температура ликвидуса; T<sub>S</sub> - равновесная температура солидуса;  
T<sub>NS</sub> - неравновесная температура ликвидуса; ΔT и ΔT<sub>NS</sub> - равновесный и неравновесный интервал кристаллизации

Увеличение содержания циркония в сплаве приводит к уменьшению температуры ликвидуса и солидуса, как видно из таблицы 4, но при этом равновесный и неравновесный температурный интервал кристаллизации повышается. Следовательно, неравновесная кристаллизация ограничивается на уровне низких температур, в отличие от равновесных условий.

Проведенные исследования о фазовом составе прецизионных титановых сплавов дают возможность научно объяснить выбор химического состава, температурного режима и условий обработки.

#### Информация о финансировании

Работа проведена в рамках программно-целевого финансирования ИРН BR 18574219 «Разработка экологически безопасных технологий получения инновационной продукции из природного и техногенного сырья Казахстана».

#### Выводы

Введение циркония в титановый сплав системы Ti-2,5Al-5Mo-5V в количестве 1 % приводит к значительному изменению фазового состава.

Политермическими расчетами определен оптимальный состав титанового сплава, масс. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1 Zr, остальное титан. Установлено, что в диапазоне температур 660–700 °C происходит равное распределение количества α и β фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную α + β область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °C, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства.

Проведенные исследования о фазовом составе прецизионных титановых сплавов дают возможность научно объяснить выбор химического состава, температурного режима и условий обработки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Meyers, M. A., Mishra, A., Benson, D. J. Mechanical properties of nanocrystalline materials // Prog. Mater. Sci. 2006. – № 51. – P. 427–556.

2 Valiev R. Z., Estrin Y., Horita Z. et al. Fundamentals of superior properties in bulk Nano SPD materials // Mater. Res. Lett. 2015. – № 4. – P. 1–21.

3 Pippan R., Hohenwarter A. The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials // Mater. Res. Lett. 2016. – Vol. 4. – P. 127–136.

4 Hohenwarter A., Pippan R. Fracture and fracture toughness of nanopolycrystalline metals produced by severe plastic deformation // Phil. Trans. R. Soc. A. 2015. – Vol. 373. – № 20140366.

5 Hohenwarter A., Pippan R. An overview on the fracture behavior of metals processed by high-pressure torsion // Mater. Sci. Forum. 2011. – Vol. 667–669. – P. 671–676.

6 Лутфуллин, Р. Я., Круглов, А. А., Мухаметрахимов, М. Х., Руденко, О. А. Письма о материалах. [Текст]. 2015. Т. 5 (2), – 185. Crossref.

7 Ильин, А. А., Колачев, Б. А., Полюкин, И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. [Текст]. Справочник. М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.

8 Appel F., Paul J.D.H., Oehring M. Gamma titanium aluminide alloys: science and technology // Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA. 2011. – 745 p.

9 Vojtěch D., Popela N., Hamáček J., Kützendörfer J. The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide // Materials Science and Engineering. 2011. Vol. A528. – P.8557.

10 Информация на сайте. – [Электронный ресурс]. – www.thermocalc.com

#### REFERENCES

1 Meyers M. A., Mishra A., Benson D. J. Mechanical properties of nanocrystalline materials [Text] // Prog. Mater. Sci. – 2006. – № 51. – P. 427–556.

2 Valiev, R. Z., Estrin, Y., Horita, Z. et al. Fundamentals of superior properties in bulk Nano SPD materials [Text] // Mater. Res. Lett. – 2015. – № 4. – P. 1–21.

3 Pippan, R., Hohenwarter, A. The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials [Text] // Mater. Res. Lett. 2016. – Vol. 4. – P. 127–136.

4 Hohenwarter, A., Pippan, R. Fracture and fracture toughness of nanopolycrystalline metals produced by severe plastic deformation [Text] // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2015. – Vol. 373. – № 20140366.

5 Hohenwarter, A., Pippan, R. An overview on the fracture behavior of metals processed by high-pressure torsion [Text] // Mater. Sci. Forum. 2011. – Vol. 667–669. – P. 671–676.

6 Lutfullin, R. Ya., Kruglov, A. A., Muxametrahimov, M. X., Rudenko, O. A. Pis'ma o materialax [Letters about materials] [Text]. – 2015. – Т. 5 (2). – 185 p. Crossref.

7 Il'in, A. A., Kolachev, B. A., Pol'kin, I. S. Titanovy'e splavy'. Sostav, struktura, svoystva [Titanium alloys. Composition, structure, properties] [Text] // Spravochnik. Moscow : VILS-MATI. 2009. – 520 p.

8 Appel, F., Paul, J.D.H., Oehring, M. Gamma titanium aluminide alloys: science and technology [Text] // Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA. 2011. – 745 p.

9 Vojtěch, D., Popela, N., Hamáček, J., Kützendörfer, J. The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide [Text] // Materials Science and Engineering. – 2011. – Vol. A528. – P. 8557.

10 Information on the website. – [Electronic resource]. – www.thermocalc.com.

**A. Zh. Terlikbaeva<sup>1</sup>, \*A. M. Alimzhanova<sup>2</sup>, R. A. Shayakhmetova<sup>3</sup>,**

**A. A. Mukhametzhanova<sup>4</sup>, B. T. Sakhova<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚ РМК, Қазақстан Республикасы, Алматы қ. Басып шығаруға 01.11.23 қабылданды.

### TI-AL-MO-V-ZR КӨПКОМПОНЕНТТІ ЖҮЙЕСІНІҢ ФАЗАЛЫҚ ДИАГРАММАЛАРЫН ҚҰРУ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

Бұл жұмыста TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 дерекқорын пайдалана отырып, Thermo-Calc Perpetual sunll 2023a бағдарламасының көмегімен Zr әртүрлі массалық % қосылған Ti-2,5Al-5Mo-5V жүйесінің изотермиялық және политермиялық бөлімдері есептелді. Есептеу арқылы салқындату шарты мен құрамына байланысты Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесінің қорытпасының фазалық құрамының өзгеру көрсеткіштері анықталды. Цирконийді Ti-2,5Al-5Mo-5V жүйесінің титан қорытпасына 1% мөлшерінде енгізу фазалық құрамның айтарлықтай өзгеруіне әкеледі. Цирконийдің аз мөлшерімен легирленген титан қорытпалары екі фазалы екендігі анықталды, сондықтан цирконийдің мөлшерін 1% - дан жоғарылату қисынсыз. Политермиялық есептеулер арқылы титан қорытпасының оңтайлы құрамы анықталды масс.% : 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1 Zr, қалғаны титан. Температура 660-700 °C арасында  $\alpha$  және  $\beta$  фазалар санының тең таралуы орын алатыны анықталды. Қажетті қос  $\alpha + \beta$  аймағын бекіту үшін қорытпаны 660–700 °C температурада қосымша термиялық өңдеуді жүргізу қажет, ал қорытпаны парақтарға одан әрі илемдеу процесі ультра ұсақ түйіршікті құрылымды алуға мүмкіндік береді, соның арқасында жоғары беріктік, пластикалық және шаршау қасиеттеріне қол жеткізіледі.

Кілтті сөздер: Ультраұсақтүйіршіктік, қарқынды пластикалық деформация, құрылым, наноөлшемдер, суперпластика.

**A. Zh. Terlikbaeva<sup>1</sup>, \*A. M. Alimzhanova<sup>2</sup>, R. A. Shayakhmetova<sup>3</sup>,**

**A. A. Mukhametzhanova<sup>4</sup>, B. T. Sakhova<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>RSE at the National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan, Almaty  
Accepted for publication on 01.11.23.

### THEORETICAL CALCULATIONS AND CONSTRUCTION OF PHASE DIAGRAMS OF A MULTICOMPONENT TI-AL-MO-V-ZR SYSTEM

In this work, isothermal and polythermal calculations of the system Ti-2.5Al-5Mo-5V with the addition of different wt.% Zr were carried out with the program Thermo-Calc Perpetual SUNLL 2023a using the TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5. The phase composition change rates of the alloy of the Ti-Al-Mo-V-Zr system alloy as a function of cooling condition and composition were determined by calculation. Introduction of zirconium into the titanium alloy of the Ti-2,5Al-5Mo-5V system in the amount of 1 % leads to a significant change in the phase composition. It is established that titanium alloys alloyed with a small amount of zirconium are two-phase, and in this connection it is irrational to increase the content of zirconium above 1 %. Polythermal calculations determined the optimal composition of titanium alloy, wt. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1Zr, the rest titanium. It was found that in the temperature range of 660–700 °C there is an equal distribution of the amount of  $\alpha$  and  $\beta$  phases. In order to fix the necessary double  $\alpha + \beta$  region it is necessary to carry out additional heat treatment of the alloy at 660–700 °C, and the process of further rolling of the alloy into sheets makes it possible to obtain an ultrafine-grained structure, due to which increased strength, plastic and fatigue properties are achieved.

Keywords: Ultra fine-grained, intense plastic deformation, structure, nanoscale, superplasticity.

\***K. Tuyskhan<sup>1</sup>, G. E. Akhmetova<sup>2</sup>, G. A. Ulyeva<sup>3</sup>**<sup>1,2</sup>Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau;<sup>3</sup>JSC «ArcelorMittal Temirtau», Republic of Kazakhstan, Temirtau\*e-mail: [kura\\_tuyskhan@mail.ru](mailto:kura_tuyskhan@mail.ru)**ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF INDUSTRIAL WASTE USED TO CREATE NEW COMPOSITE MATERIALS**

*During the production of silicon, a significant amount of waste is generated, namely micro- and nanosilica. Micro- and nanosilica, with its properties and structure, immediately interested scientists in many countries from the point of view of processing this material into a new product with unique functional properties. The article presents the results of studies of waste from various industries – microsilica, as a waste of silicon production, zinc ash – a waste of the hot-dip galvanizing process, and abrasive powder – a waste of metal machining. To study waste from various industries, the authors used the method of electron microscopy as the simplest and fastest way to transmit information about the microstructure, elemental composition and grain size distribution. A comparative analysis of the microstructures and properties of these materials was carried out in order to better understand the nature and predict the possibility of their further use as initial components for the production of new composite materials.*

*Keywords: microsilica, zinc ash, microstructure, waste disposal, composite material, properties of new materials.*

**Introduction**

Characteristics of the objects of study. In the works [1], it was indicated that microsilica is one of the most famous pozzolanic substances to date, which is actively used in the construction industry; It is a fine gray dust with amorphous properties. It is extracted from the exhaust gases of furnaces during the smelting of metallurgical silicon and ferrosilicon. Microsilica, in contrast to traditional high-silica raw materials, such as quartz sand, is a light, finely dispersed material consisting of the smallest spheres of amorphous silica with particle sizes of 0.01–0.07  $\mu\text{m}$  [2].

Microsilica consists of the smallest conglomerates of dust particles with the following diameter: – in an uncompact state: 5  $\mu\text{m}$  – 0%. The angle of repose of compacted silica fume is 600. According to the results of studies by Russian and foreign companies, the chemical composition of microsilica is as follows:  $\text{SiO}_2$ : 90–92 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.6–0.8%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0.4–0.7 %;  $\text{CaO}$ : 0.4–0.9 %;  $\text{MgO}$ : 0.8–1.0 %;  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0.6–0.8%;  $\text{K}_2\text{O}$ : 1.2–1.4 %; C: 0.9–1.2 %; S: 0.2–0.3 %.

At the moment, the fields of application of microsilica as a hardening modifier in the production of concrete [3, 4], as well as in the production of dry building mixes, foam concrete, cement, ceramics, facing slabs, paving slabs, curbs, tiles, refractory masses, rubber, coatings are known.

Zinc ash (zinc slag) is the residue that forms in the galvanizing bath after hot dip galvanization of steel. Table 1 shows the classic chemical composition of zinc ash.

Table 1 – Chemical composition of zinc burns

Element name	Zn	O	C	Si	P	S	Cl
Element content, [%]	65,66	22,22	6,68	0,64	0,05	0,10	2,80
Element name	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Al	Pb
Element content, [%]	0,10	0,10	0,10	0,27	0,46	0,63	0,16

After galvanization, zinc ash is removed after each galvanizing cycle. It is known that zinc ashes in the future in the form of powder or wire can be used in zinc sputtering in order to obtain a protective layer to increase the service life of surfaces.

Cutting disc waste is abrasive particles lagging behind cutting or grinding wheels during the cutting process, consisting of electrocorundum. Table 2 shows the classical chemical composition of abrasive dust [5]. The composition of abrasive dust can be simpler and consist of 80–90 % silicon dioxide and 20–10 % iron.

Table 2 – Chemical composition of abrasive dust

Component name	Fe	P	As	S	Cu	Si
Content, [%]	29,6	0,0075	0,000003	0,009	0,045	0,009
Component name	Mn	Ni	Cr	FeO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	C
Content, [%]	0,135	0,03	0,03	21,1501	48,9	0,03

Scrap metal recycling is of great economic and environmental importance. Taking into account the modern industrial development of the world and the volumes of metal involved in the sphere of industrial use, it becomes clear that the volume of metal and the amount of scrap metal constantly entering the scrap is colossal. In many countries of the world, technologies for the processing of metal production waste have existed for more than a hundred years.

The main incentives for the processing of metal production waste:

- reducing the load on metal deposits, which are currently heavily depleted;
- improvement of the ecological situation;
- reduction of fuel volumes for obtaining the most important metals [6].

And the development of nanotechnology and the widespread use of nanomaterials in various industries (electronics, medicine, plastic, ceramic, polymeric materials, pigments and paint) allows us to count on their successful application in the construction industry [7].

**Material and research methods**

1) zinc ash.

Closed-loop technology in which zinc ash from hot dip galvanization is recycled and sprayed thinly onto steel products. This sustainable solution extends the life of the surfaces by converting zinc ash into a valuable raw material.

When galvanizing every 1000 kg of steel products, 10.1 kg of hotzinc and 9.1 kg of zinc ash are formed, which can be used in the manufacture of mixtures for applying zinc coatings. RUE «Rechitsa hardware plant» (Belarus) produces 13 tons of hardzinc

and about 8 tons of pussier per month. About 120 tons of zinc-containing wastes have accumulated at the KONUS RDPP (Belarus). According to the authors of [7], the development of a competitive galvanizing technology based on mixtures obtained from zinc-containing waste will improve the quality of the coating and ensure the processing of many tons of galvanizing waste.

The paper [8] considers the technology of zinc depletion in the composition of ash, which is one of the main wastes of hot-dip galvanizing of metal products.

2) microsilica.

Currently, in addition to the natural forms of silicon dioxide, there are many synthetic types. Amorphous (non-crystalline) silicon dioxide with a high specific surface area is almost never found in nature in its pure form. Amorphous silicas, including nanosilicas obtained from hydrothermal solutions, are finding new applications in the construction industry. Thus, in [9, 10], the authors present a technology for the use of reactive SiO<sub>2</sub> nanoparticles as an additive for strengthening concrete instead of microsilica. The results showed an increased strength of fine-grained concrete when using nanosilica, which is explained by its smaller size, respectively, higher specific surface area of the particles.

3) abrasive cutting discs.

Abrasive materials come in many varieties, which is one of the reasons why so much attention is paid to the disposal of abrasive materials. Abrasive materials are divided by chemical composition, degree of hardness, size of the grinding grain. In our time, these materials are produced and mined mainly synthetically, whereas in the past natural abrasive materials were widely used. Disposal of abrasive materials can be divided into two parts. This is the disposal of abrasive materials in the form of dust and powder and the disposal of abrasive materials in the form of used abrasive wheels and scrap from abrasive wheels. Abrasives are very hard materials used on a variety of surfaces. Used for polishing, grinding, cutting, honing, superfinishing both metal and other materials. The first type, in the form of powder and dust, is precisely what is formed after all these types of processing. Disposal of abrasive materials is a necessary measure resorted to by various factories and plants where all the treatments described above take place [11].

The importance of abrasive powder in the field of abrasive blasting is constantly increasing and today, it occupies a very high place. Leading companies in the field of ACB use exactly abrasive powder - cooper slag, which is increasingly replacing other types of abrasive materials and, above all, quartz sand (already banned for use by dry cleaning). The consumption of abrasive powder is only increasing every year. Thus, in 2017 alone, the Karabash Abrasive Plant doubled its shipment compared to 2016 [12].

Scrap abrasive wheels represent a specific type of waste. Undoubtedly, even used grinding materials are of interest to a certain category of entrepreneurs. A significant share of the demand for abrasive waste falls on discs with a ceramic or bakelite base, where the technology for separating grinding granules is well developed. Similar requirements for a certain type of bond are often associated with the technology for extracting grinding grain from waste products. For example, scrap abrasive wheels

are often recycled by annealing or two-stage leaching, which effectively removes the bakelite bond [13].

The Karabash Abrasive Plant LLC [12] offers a technology for using abrasive waste for sandblasting, while only the fractional composition changes, while all other properties remain the same. This method allows several times to reduce the cost of disposal of abrasive powder waste, since there is no need to transport it to specially prepared sites for the disposal of hazardous waste.

The paper [14] provides a technology for processing abrasive materials when extracting conditioned abrasive materials, magnetic and non-magnetic metals, and binders from abrasive production waste in order to increase their degree of extraction and reduce processing costs. The method includes magnetic and electrostatic separation at an electric field strength of 0.8–5.0 kV/cm and classification by grain composition.

Thus, as can be seen from the above literature review of the current state of the problem of utilization and use of finely dispersed waste, the authors of this work see great prospects for using production waste, taking into account their properties, structure, and fineness, to obtain new composite nanomaterials.

Microsilica powder weighing 100 g was divided into fractions of 45–63 and less than 45  $\mu\text{m}$  on an analytical laboratory sieving machine «Retsch AS200 control» [15].

Then, microsilica powder with fractions of 45–63 and less than 45  $\mu\text{m}$  was ground in a high-speed ball mill by Emax in order to reach the nanoscale level. Grinding speed 1000 rpm, duration 1 hour.

The cutting disc waste and zinc ash were ground in a laboratory ball mill with a duration of 20 min. Then the crushed powder of these materials was separated into a fraction of less than 45  $\mu\text{m}$  on an analytical laboratory sieving machine «Retsch AS200 control».

### Results and discussion

Using a scanning electron microscope, the particles of the resulting sieved powders of the starting materials were measured (figure 1).

Table 3 shows the average particle sizes of the powdered materials.

Table 3 – Particle size of powder materials

Parameter	Values			
	SiO <sub>2</sub> , >45 $\mu\text{m}$	SiO <sub>2</sub> , 45-63 $\mu\text{m}$	ZnO	disk waste
Average particle size, [nm <sup>2</sup> ]	38300	175743	251853	166465
Maximum value, [nm <sup>2</sup> ]	246076	371810	583748	219100
Minimum value, [nm <sup>2</sup> ]	20741	157090	107219	82973
Takeoff run, [nm <sup>2</sup> ]	225335	214720	476529	136127

As can be seen from the figure and table, the particle size of the components used in the creation of new materials reaches the nanolevel. The microsilica particles of fraction >45  $\mu\text{m}$  (38300 nm<sup>2</sup>) have the smallest sizes, and zinc ash (251853 nm<sup>2</sup>) have the largest values. The figure shows that the particles of the studied samples have different geometric shapes and their bond nature. So, microsilica of both fractions has a pronounced spherical shape, the particles themselves form conglomerates («clouds»)

of a dense structure, located separately from each other, consisting of many crystallites of various sizes closely spaced to each other. Such a structure suggests that such a substance has increased strength properties.

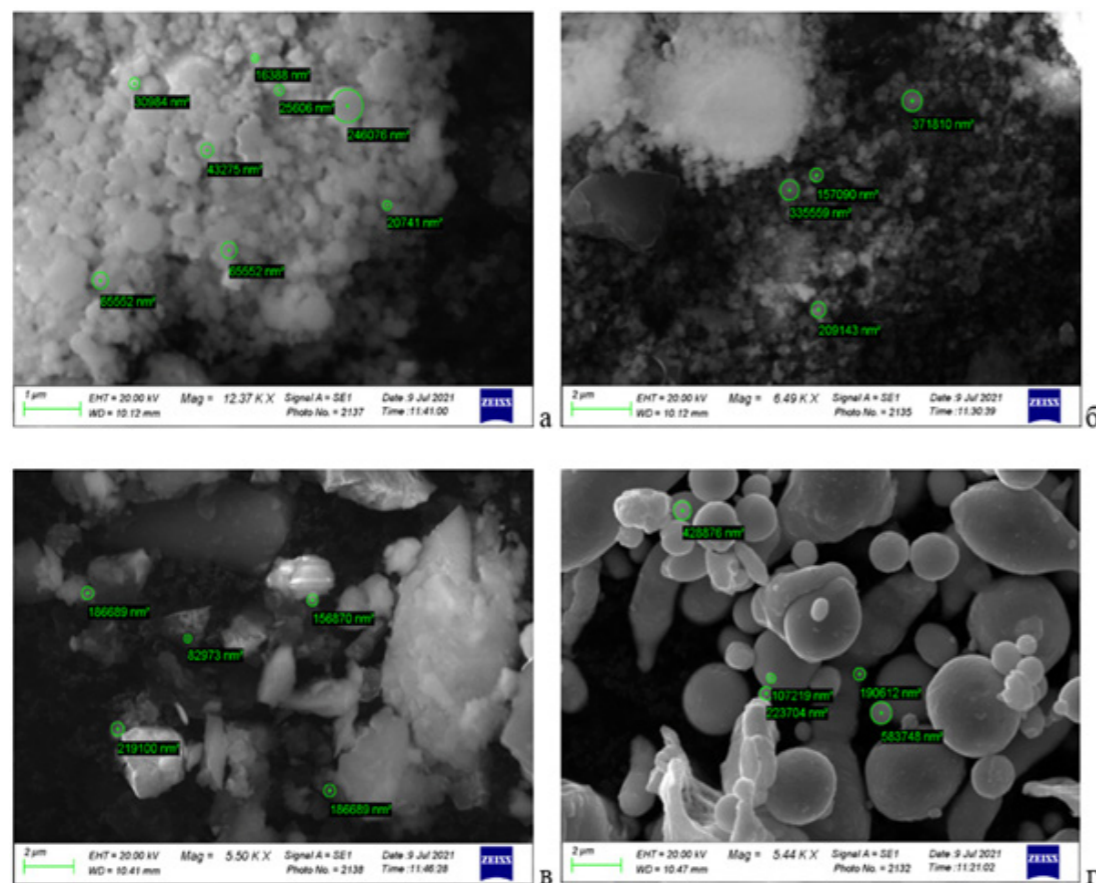


Figure 1 – Microstructure of production waste: a – microsilica >45 nm, 12370x; b – microsilica 45–63 nm, 6500x; c – cutting disc waste, 5500x; d – zinc ash, 5440x

The waste of the cutting disc has crystallites of irregular geometrical, fragmentary shape with sharp edges of various sizes and smooth walls. This suggests the presence of a characteristic increased hardness combined with some brittleness of the ground material. Also, a characteristic feature is the disparate relative position of the particles, which indicates weak cohesive forces.

Waste particles from zinc ash are characterized by a distinct drop-shaped and/or rounded structure. The particles have even smooth walls and are located close enough to each other, which indicates an intermediate position of the specified material in terms of strength properties in comparison with microsilica and cutting disc abrasive.

Determining the shape of particles seems to be one of the simplest and most accessible characteristics of a material to a researcher. The shape of the particles significantly affects the technological properties of the material and through them on the density, strength and uniformity of the properties of the workpiece obtained from

it. For example, the most durable products give particles of a dendritic shape, since in this case, along with cohesive forces, there are purely mechanical causes: jamming of particles, interweaving of protrusions and branches. The surface roughness of the particles increases their excess energy, which subsequently accelerates the formation of the properties of powder nanoproducts during sintering [16].

### Conclusion

Thus, as can be seen from the nature of the mutual arrangement and geometry of the structures of the powders under study, it is possible to grind microsilica to the smallest particle sizes (to individual spheres), which is evidence of the greatest promise of this material in the creation of new materials, including nanocomposites.

### REFERENCES

- 1 Akhmetova, G. E., Ulyeva G. A., Tuyskhan K. On the Issue of Alloying and Modification of Alloys: Using the Waste Products for Creation of Novel Materials // Progress in Physics of Metals. – 2021. – 22. – № 2. – P. 271–289.
- 2 Антипина, С. А., Дроздов, Л. В. Исследование поведения микрокремнезема при термической обработке // Труды X Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – 2010. – Сек.15. – С. 1–2.
- 3 Nandhini, K., Karthikeyan, J. A review on sustainable production of self-compacting concrete utilizing industrial by-products as cementitious materials // Innov. Infrastruct. Solut. – 2022. – 7. – 199.
- 4 Polonina, E. N., Leonovich, S. N., Khroustalev, B. M., Sadovskaya, E. A., Budrevich, N. A. Cement-Based Materials Modified with Nanoscale Additives // Science and technology. – 2021. – Vol. 20. – № 3. – P. 189–194.
- 5 Абразивная пыль и порошок от шлифования черных металлов // [Электронный ресурс]. – URL: <https://eco-profi.info/index.php/othod/sostav/66-3140030011004.html> (Дата обращения 05.02.2023).
- 6 Константинов, В. М. Анализ рынка цинка и цинковых отходов для получения антикоррозионных покрытий / Константинов В.М., Гегеня Д. В., Богданчик М. И. // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск : БНТУ. – 2015. – Вып. 36 – С. 272–283.
- 7 Потапов, В. В., Горев, Д. С., Туманов, А. В., Кашутин, А. Н., Горева, Т. С. Получение комплексной добавки для повышения прочности бетона на основе нанодисперсного диоксида кремния гидротермальных растворов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9. – С. 404–409.
- 8 Крестьянинов, А. Т., Краюхина, С. А., Тимофеев, К. Л., Мысляев, А. Д., Бердышев, Д. А., Кочин, В. А. Патент «Способ извлечения цинка из изгари цинка в процессе цинкования». Дата опубликования 16.04.2018. Бюл. №11.
- 9 Потапов, В. В., Горев, Д. С. Сравнительные результаты повышения прочности бетона вводом нанокремнезема и микрокремнезема // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 9. – С. 98–102.

10 **Потапов, В., Кашутин, А., Сердан, А., Горбач, В., Шалаев, К.** Нанодисперсный диоксид кремния : повышение прочности строительных материалов // Наноиндустрия. – 2012. – № 2 (32). – С. 44–50.

11 Утилизация абразивных отходов // [Электронный ресурс]. – URL: <http://eco-spas.ru/utilizatsiya-abrazivnyh-otkhodov> (Дата обращения 05.02.2023).

12 Утилизация отходов использованного абразивного порошка // [Электронный ресурс]. – URL: <http://daka1.ru/publikatsii/utilizatsiya-otkhodov-ispolzovannogo-abrazivnogo-poroshka.html> (Дата обращения 05.02.2023).

13 Лом абразивных кругов // [Электронный ресурс]. – URL: <https://xlom.ru/nemetal-lom/lom-abrazivnyh-krugov-abrazivnyj-lom> (Дата обращения 05.02.2023).

14 **Москаленко, О. П., Корнев, С. И., Шинка, В. П., Кацнельсон, Я. Е.** Патент «Способ переработки отходов абразивных материалов». Опубликовано: 02.07.1992.

15 **Akhmetova, G. E., Tuyskhan, K., Ulyeva, G. A., and Reshotkina, E. N.** Development of New Composite Materials Based on ‘Metal–Non-Metal’ with Improved Functional Properties // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2022. – 44, № 9. – P. 1137–1146.

16 **Либенсон, Г. А., Лопатин, В. Ю., Комарницкий, Г. В.** Процессы порошковой металлургии. В 2-х томах. Т. 1. Производство металлических порошков : Учебник для вузов. – М. : «МИСИС», 2001. – 368 с.

## REFERENCES

1 **Akhmetova, G. E., Ulyeva, G. A., Tuyskhan, K.** On the Issue of Alloying and Modification of Alloys : Using the Waste Products for Creation of Novel Materials // *Progress in Physics of Metals.* – 2021. – 22. – №. 2. – P. 271–289.

2 **Antipina, S. A., Drozdov, L. V.** Issledovanie povedeniya mikrokremnezema pri termicheskoy obrabotke [Study of the behavior of microsilica during heat treatment] // *Trudy` X Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molody`x uchyonny`x.* – 2010. – Sek. 15. – P. 1–2.

3 **Nandhini K., Karthikeyan J.** A review on sustainable production of self-compacting concrete utilizing industrial by-products as cementitious materials // *Innov. Infrastruct. Solut.* – 2022. – 7. – 199.

4 **Polonina E. N., Leonovich S. N., Khroustalev B. M., Sadovskaya E. A., Budrevich N. A.** Cement-Based Materials Modified with Nanoscale Additives // *Science and technology.* – 2021. – Vol. 20, № 3. – P. 189–194.

5 Абразивная пыль и порошок от шлифования черных металлов [Abrasive dust and powder from grinding ferrous metals] // [Electronic resource]. – URL: <https://eco-profi.info/index.php/othod/sostav/66-3140030011004.html> (Date of application 05.02.2023).

6 **Konstantinov, V. M.** Analiz ry`nka cinka i cinkovy`x otkhodov dlya polucheniya antikorrozionny`x pokry`tij [Analysis of the market for zinc and zinc waste for the production of anti-corrosion coatings] / Konstantinov V.M., Gegenya D.V., Bogdanchik

М.И. // *Metallurgiya : respublikanskij mezhvedomstvenny`j sbornik nauchny`x trudov.* – Minsk: BNTU. – 2015. – Vy`p. 36 – P. 272–283.

7 **Potapov, V. V., Gorev, D. S., Tumanov, A. V., Kashutin, A. N., Goreva T. S.** Poluchenie kompleksnoj dobavki dlya povы`sheniya prochnosti betona na osnove nanodispersnogo dioksida kremniya gidrotermal`ny`x rastvorov [Obtaining a complex additive to increase the strength of concrete based on nanodispersed silicon dioxide hydrothermal solutions] // *Fundamental`ny`e issledovaniya.* – 2012. – № 9. – P. 404–409.

8 **Krestyaninov, A. T., Krayukhina, S. A., Timofeev, K. L., Myslyayev, A. D., Berdyshev, D. A., Cochin, V. A.** Patent «Sposob izvlecheniya cinka iz izgari cinka v processe cinkovaniya» [Method of extracting zinc from zinc ash in the galvanizing process]. Data opublikovaniya 16.04.2018. Byul. № 11.

9 **Potapov, V. V., Gorev, D. S.** Sravnitel`ny`e rezul`taty` povы`sheniya prochnosti betona vvodom nanokremnezema i mikrokremnezema [Comparative results of increasing the strength of concrete by introducing nanosilica and microsilica] // *Sovremenny`e naukoemkie texnologii.* – 2018. – № 9. – P. 98–102.

10 **Potapov, V., Kashutin, A., Serdan, A., Gorbach, V., Shalaev, K.** Nanodispersny`j dioksid kremniya : povы`shenie prochnosti stroitel`ny`x materialov [Nanodispersed silicon dioxide : increasing the strength of building materials] // *Nanoindustriya.* – 2012. – № 2(32). – P. 44–50.

11 Utilizatsiya abrazivny`x otkhodov [Disposal of abrasive waste] // [Electronic resource]. – URL: <http://eco-spas.ru/utilizatsiya-abrazivnyh-otkhodov> (Date of application 05.02.2023).

12 Utilizatsiya otkhodov ispol`zovannogo abrazivnogo poroshka [Disposal of used abrasive powder] // [Electronic resource]. – URL: <http://daka1.ru/publikatsii/utilizatsiya-otkhodov-ispolzovannogo-abrazivnogo-poroshka.html> (Date of application 05.02.2023).

13 Лом абразивных кругов [Scrap of abrasive wheels] // [Electronic resource]. – URL: <https://xlom.ru/nemetal-lom/lom-abrazivnyh-krugov-abrazivnyj-lom> (Date of application 05.02.2023).

14 **Moskalenko, O. P., Korenev, S. I., Shinka, V. P., Katsnelson, Ya. E.** Patent «Sposob pererabotki otkhodov abrazivny`x materialov» [Method of recycling waste abrasive materials]. Opublikovano: 02.07.1992.

15 **Akhmetova, G. E., Tuyskhan, K., Ulyeva, G. A., and Reshotkina, E. N.** Development of New Composite Materials Based on ‘Metal–Non-Metal’ with Improved Functional Properties // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2022. – 44, № 9. – P. 1137–1146.

16 **Libenson, G. A., Lopatin, V. Yu., Komarnitsky, G. V.** Processy` poroshkovej metallurgii [Processes of powder metallurgy]. V 2-x tomax. T.1. Proizvodstvo metallicheskix poroshkov: Uchebnik dlya vuzov. – Moscow : «MISIS», 2001. – 368 p.

Accepted for publication on 29.11.23.



\*К. Туысхан<sup>1</sup>, Г. Е. Ахметова<sup>2</sup>, Г. А. Ульева<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.;

<sup>3</sup>«АрселорМиттал Теміртау» АҚ, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

Басып шығаруға 29.11.23 қабылданды.

### ЖАҢА КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ЖАСАУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ТАЛДАУ

Кремний өндіру кезінде қалдықтардың едәуір мөлшері, яғни атап айтқанда микро- және наносилика пайда болады. Микро- және наносилика өзінің құрылымы және қасиеттері бойынша көптеген елдердің ғалымдарын осы материалды бірегей функционалдық қасиеттері бар жаңа өнімге қайта өңдеу тұрғысынан бірден қызықтырды. Бұл мақалада әртүрлі салалардағы қалдықтарды зерттеу нәтижелері, яғни микрокремнезем - кремний өндірісінің қалдықтары, мырыш күлі – ыстық мырыштау процесінің қалдықтары және абразивті ұнтақ – металдарды механикалық өңдеу қалдықтары ретінде зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Әр түрлі салалардағы қалдықтарды зерттеу үшін авторлар электронды микроскопия әдісін микроқұрылымды, элементтік құрамды және түйір мөлшерін таралу туралы ақпаратты берудің ең оңай және жылдам әдісі ретінде қолданды. Табиғатын тереңірек түсіну және олардан жаңа композициялық материалдарды өндірудің бастапқы компоненттері ретінде одан әрі қолдану мүмкіндігін болжау мақсатында аталған материалдардың микроқұрылымы мен қасиеттеріне салыстырмалы талдау жүргізілді.

Кілтті сөздер: микрокремнезем, микросилика, мырыш күлі, микроқұрылым, қалдықтарды кәдеге жарату, композициялық материал, жаңа материалдардың қасиеттері.

\*К. Туысхан<sup>1</sup>, Г. Е. Ахметова<sup>2</sup>, Г. А. Ульева<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Қарагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

<sup>3</sup>АО«АрселорМиттал Темиртау», Республика Казахстан, г. Темиртау

Принято к изданию 29.11.23.

### АНАЛИЗ СТРОЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

При производстве кремния образуется значительное количество отходов, а именно микро- и наносилика. Микро- и наносилика своими свойствами и структурой сразу заинтересовал ученых многих стран с точки зрения переработки этого материала в новый продукт, обладающий уникальными функциональными свойствами. В статье приведены результаты исследований отходов различных отраслей промышленности – микрокремнезема, как отхода кремниевого производства, изгари цинка – отхода процесса горячего оцинкования и абразивный порошок – отхода механической обработки металлов. Для исследования отходов различных отраслей промышленности авторы использовали метод электронной микроскопии, как наиболее простой и быстрый способ передачи информации о микроструктуре, элементном составе и распределение по размерам зерен. Проведен сравнительный анализ микроструктур и свойств указанных материалов с целью более глубокого понимания природы и прогноза возможности их дальнейшего применения в качестве исходных компонентов для производства новых композиционных материалов.

Ключевые слова: микрокремнезем, микросилика, изгарь цинка, микроструктура, утилизация отходов, композиционный материал, свойства новых материалов.

МРНТИ 73.31.09

<https://doi.org/10.48081/NOWD5861>**\*V. S. Yessaulkov<sup>1</sup>, K. Mahkamov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;<sup>2</sup>Northumbria University, Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom\*e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com)**PONDERING THE CHOICE OF PCM AND MATHEMATICAL MODEL IN AUTOMOTIVE LHTS**

*Phase change materials are latent heat storage materials. As the source temperature rises, the chemical bonds within the PCM break up as the material changes phase. Upon storing heat in the storage material, the material begins to melt when the phase change temperature is reached. The temperature then stays constant until the melting process is finished. The heat stored during the phase change process of the material is called latent heat.*

*Ideally, automotive engine cooling is undesirable from the thermodynamic point of view. If the heat transfer rates from the gas to metal could be reduced, then more power could be produced at a particular fuel flow rate, i.e. the thermal efficiency of the engine would increase. Also the heat removed out via radiator could be reduced and hence smaller radiator size. That is why powertrain thermal management is extremely necessary for good engine reliability and durability with a compromise of the thermal efficiency.*

*One of the most technically and commercially available options for this is the use of latent heat thermal energy storage system. Despite the fact that there are numerous works and reviews covering this topic, the author hopes to draw attention to some aspects of the choice of material and mathematical model for such systems.*

*Keywords: phase-change materials, latent heat, energy storage systems, thermal conductivity, thermo-physical properties, kinetic properties.*

**Introduction**

Phase-change materials (PCM) are latent heat storage materials. When the source temperature increases, the chemical bonds in the PCM break up as the material transitions from solid to liquid (as is the case with solid-liquid PCMs, which are particularly relevant to the author's thesis.). The phase change is a heat-seeking (endothermic) process and therefore, the PCM absorbs heat. As heat is stored in the storage material, it melts at the phase change temperature, and until the melting process is complete, the temperature remains constant. Latent heat is the heat that remains after the material undergoes phase change (melting process) [1].

Changing the internal energy of a material can result in the storage of thermal energy, such as sensible heat, latent heat, and thermo-chemical heat, or a combination of them.

In sensible heat storage (SHS), raising the temperature of a solid or liquid is how thermal energy can be stored. During the process of charging and discharging, SHS systems make use of the material's heat capacity and temperature change. The heat stored is determined by the medium's specific heat, temperature changes, and storage material.

Latent heat storage (LHS) involves heat absorption or release when a storage material changes from solid to liquid, liquid to gas, or vice-versa. Latent heat thermal energy storage is a particularly attractive technique for thermal heat storage due to its ability to provide high energy storage density and its ability to store heat at constant temperature corresponding to the phase transition temperature of the PCM.

On the other hand, automotive ICEs are arguably the most widely used power generators. The efficiency of these systems is unimpressive, using only one-third of the input energy for propulsion. The coolant and exhaust streams both release energy into the environment in similar amounts [2]. Waste heat recovery from automotive systems is essential because there is no alternative to these ubiquitous individual power generation systems.

The use of thermal energy storage is advantageous in recovering heat from a waste stream that can be stored as latent heat in thermal energy storages (LHES). Phase change materials are used as storage media in LHES units, resulting in much higher energy storage capacities. Latent energy storage is facilitated by a phase change process that has an approximative isothermal behavior. The commercial usage of LHES is still limited to sensible heat storages due to low charging and discharging heat rates, and poor thermal conductivity of the phase change material, resulting in start-up times that are impractical. Also, during phase transition, the solid-liquid interface moves away from the convective heat transfer surface, leading to an increase in thermal resistance through the solidified/melted layer.

The choice of a suitable material for the development of a LHES-based device that facilitates starting a car engine in cold conditions, as well as the selection of an optimal mathematical calculation model, form the subject of this scientific article.

**Materials and methods**

When a PCM absorbs heat, it undergoes sensible heat storage until it reaches its fusion temperature, and any additional heat it absorbs is converted to latent heat for phase change.

One of the major criteria in the design of heat recovery system is the proper selection of material with optimum conditions. The extraction of heat and its storage could be achieved either by embedding the heat exchanger coil surface inside the storage tank where the storage material is present and allowed to pass through the warm water through the heat exchanger coil or providing a separate heat exchanger through which heat transferring fluid is circulated to extract heat [3].

The first step should be the selection of the PCM based on the desired melting temperature. Melting temperatures between 15 °C and 90 °C can be applied for heat leveling applications. Secondly, the selected PCM needs to present desirable thermo-physical, chemical and kinetic properties [4]. The PCM should demonstrate the congruent melting for a constant storage capacity of the material with each solidifying/liquefying

cycle as well as the high latent heat of fusion per unit volume in order to limit the required volume of the container to store the given amount of energy, while not failing to provide significant heat storage. Desired kinetic properties include high nucleating rate and high rate of crystal growth thus avoiding supercoolant of the liquid phase. The material as a chemical substance should perform reversible solidifying/liquefying cycles, do not degrade after a large number of aforementioned transformations and do not corrode the construction material either of its own container or the vehicle.

To make a meanwhile conclusion, one can say that while selecting a suitable PCM, the criteria should go as following: high latent heat of phase change, appropriate of the working temperature range, high thermal conductivity at solid state, high specific heat capacity at liquid state, good chemical stability and low vapor pressure at working temperature ranges, high density, inflammability, little volume variation during solidification, minimum thermal storing losses, environment friendly and reasonable price [5].

### Results and discussions

For the low-temperature range the following PCMs are the most useful (names in brackets are given according to IUPAC nomenclature, and not trade and other commercial names):  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (sodium carbonate dodecahydrate),  $\text{NaCH}_3$  (sodium monomethyl),  $\text{CaO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (calcium oxide trihydrate),  $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (sodium hydroxide hydrate),  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (barium hydroxide octahydrate),  $\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (lithium nitrate trihydrate) [5, 6, 7].

Thermal energy stored by thermal energy storage device can also be increased with using different PCM's having high heat of fusion. For heavy duty engine, thermal energy can be increased with increasing dimensions of thermal energy storage device [8].

Thermal energy storages using PCMs with the low thermal conductivity necessitate careful design to ensure complete melting within a desired time by choosing suitable physical geometry and dimensions. The first prototype can be developed once the most suitable PCM and proper heat exchanger are identified with potential enhancement techniques, and following stage is to numerically analyze and evaluate the prototype. The mathematical methodology should be the first step to present the melting and solidification behavior of PCM in theory.

The storage capacity of the thermal energy storage device depends on both sensible heat storage and latent heat storage. In the sensible heat storage, the energy is stored as the temperature of the storage material increases while the energy stored when a substance changes from one phase to another in the latent heat storage. The total amount of energy ( $Q_{\text{stored}}$ ) stored by the storage material can be calculated by following equation:

$$Q_{\text{stored}} = m \left[ \int_{T_i}^{T_l} c_{ps}(T) dT + L + \int_{T_l}^{T_f} c_{pl}(T) dT \right] \quad (1)$$

where  $m$  is the mass of material, kg;  
 $c_{ps}$  is the specific heat of material in solid phase, J/(kg·K);  
 $c_{pl}$  is the specific heat of material in liquid phase, J/(kg·K);  
 $L$  is the latent heat of solid–liquid phase change, J;  
 $T_i$  is the initial temperature of solid state, K;  
 $T_l$  is the temperature of solid–liquid phase change, K;  
 $T_f$  is the final temperature of liquid state, K.

The essential feature of the enthalpy technique [9] for convection/diffusion phase change is the latent-heat source term treatment, in the energy equation. In a system which is undergoing a change of phase under heat transfer the total enthalpy,  $H$ , may be expressed as

$$H = h + \Delta H, \quad (2)$$

where  $h$  is the sensible enthalpy, J;  
 $\Delta H$  is the latent heat, J.

Latent heat storage (LHS) is based on the heat absorption or release when a storage material undergoes a phase change from solid to liquid or liquid to gas or vice-versa. The storage capacity of the LHS system with a PCM medium is given by

$$Q = ma_m \Delta h_m + \int_i^m m c_p dT + \int_m^f m c_p dt = m [a_m \Delta h_m + C_{sp}(T_m - T_i) + C_{lp}(T_f - T_m)], \quad (3)$$

where  $m$  is the mass of heat storage medium, kg;  
 $a_m$  is the fraction melted;  
 $\Delta h_m$  is the heat of fusion, kJ/kg;  
 $C_p$  is the specific heat, kJ/kg·K;  
 $C_{sp}$  is the average specific heat between  $T_i$  and  $T_m$ , kJ/kg·K;  
 $T_m$  is the melting temperature, K;  
 $T_i$  is the initial temperature, K;  
 $C_{lp}$  is the average specific heat between  $T_m$  and  $T_f$ , kJ/kg·K;  
 $T_f$  is the final temperature, K.

However, only a portion of stored thermal energy is available as useful heating. The rest of the energy is dissipated through the thermal losses. The useful heat ( $Q_{\text{useful}}$ ) which is necessary for the heating of the engine over a temperature  $\Delta T$  is determined as

$$Q_{\text{useful}} = \sum_i c_i m_i \Delta T, \quad (4)$$

where  $c_i$  is the specific heat of the engine components,  $J/(kg \cdot K)$ ;  
 $m_i$  is the mass of the engine components, kg [6].

Pure substances have a single temperature of solidification, In the opposite situation, solidification occurs at different temperatures, leading to a two-phase zone (a «mushy region») [10] between the solid and liquid zones. In this latter case, it is appropriate to consider the energy equation in terms of enthalpy for the advective movements (it should be noted that although in fluid mechanics the term convection is often used as a synonym instead of the term «advection», many authors and engineers try to use the word «convection» to describe transport through molecular and eddy diffusion, while «advection» denotes the overall flow of fluid [in a pipe or channel]).

The solution of this equation problem requires knowledge of the enthalpy–temperature functional dependency. Similarly, it is necessary to know the function relating the thermal conductivity and the temperature.

The main advantages of this method are that the equation is directly applicable to the three phases, the temperature is determined at each point and the value of the thermo-physical properties can be evaluated, and finally, according to the temperature field, it is possible to ascertain the position of the two boundaries if so desired, although as indicated above this is not necessary.

#### Conclusions

Latent heat storage system is a good device, which offers the following benefits:

- higher heat capacity;
- isothermal charging and discharging;
- variation in the surface heat transfer rate due to poor thermal conductivity of phase change material is minimized;
- compact size;
- economical operation.

If all the conditions for a competent and rational choice of material for the latent heat accumulation system are met, mathematical calculations show the following:

1. Regardless of load conditions, the effectiveness of these systems reaches its peak at the end of the charging process.
2. The system is capable of recovering nearly fifteen hundredths of total heat that would otherwise be wasted in the atmosphere.
3. By lowering the temperature of the heat transfer fluid below 90 °C, heat can be extracted more efficiently.
4. Heat is transferred in the axial direction of the storage tank by conduction due to the presence of the container and the high conductivity storage wall, thus, no stratification and a temperature that is almost uniform throughout the tank are observed.

Both the charging rate and charging efficiency are very high at higher load and they decrease with respect to load, as seen on Fig. 1. In order to recover the maximum amount of heat, a cascaded latent heat storage system with multiple PCM is suggested and this concept is presently under investigation.

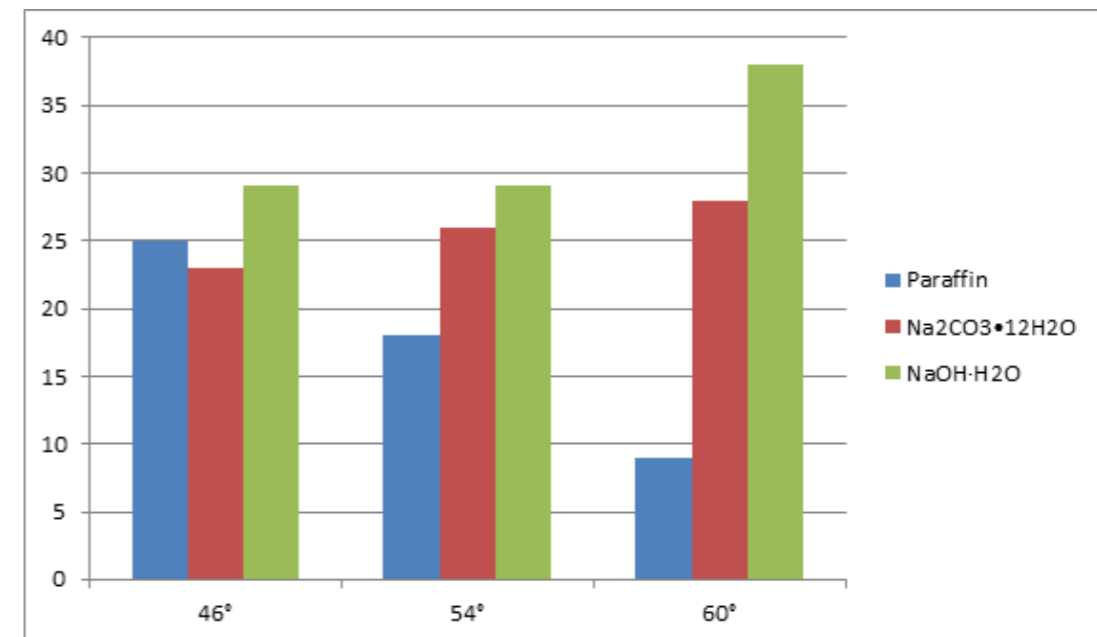


Figure 1 – Phase change enthalpy (in  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) for different phase change materials.

At higher load, both the charging rate and charging efficiency are very high, but they decrease depending on the load. To maximize heat recovery, a latent heat storage system with multiple PCM can be suggested, and this concept is of a significant interest to explore further.

#### REFERENCES

- 1 **Dincer, I., Rosen, M. A.** Thermal energy storage: systems and applications. – John Wiley & Sons, 2021. – 672 p.
- 2 **Moldgy, A., Parameshwaran, R.** Study on thermal energy storage properties of organic phase change material for waste heat recovery applications // Materials Today : Proceedings. – 2018. – T. 5. – №. 8. – P. 16840–16848.
- 3 **Pandiyarajan, V. et al.** Experimental investigation on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system // Applied energy. – 2011. – T. 88. – №. 1. – P. 77–87.
- 4 **Iten, M., Liu, S.** A work procedure of utilising PCMs as thermal storage systems based on air- TES systems // Energy conversion and management. – 2014. – T. 77. – P. 608–627.
- 5 **Kenisarin, M., Mahkamov, K.** Salt hydrates as latent heat storage materials: Thermophysical properties and costs // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2016. – T. 145. – P. 255–286.

6 **Vasiliev, L. L. et al.** Latent heat storage modules for preheating internal combustion engines: application to a bus petrol engine // Applied thermal engineering. – 2000. – Т. 20. – №. 10. – P. 913–923.

7 **Sharma, S. D., Sagara K.** Latent heat storage materials and systems: a review //International journal of green energy. – 2005. – Т. 2. – №. 1. – P. 1–56.

8 **Gumus, M.** Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system //Applied thermal engineering. – 2009. – Т. 29. – №. 4. – P. 652–660.

9 **Hsiao, J. S.** An efficient algorithm for finite-difference analyses of heat transfer with melting and solidification //Numerical Heat Transfer. – 1985. – Т. 8. – №. 6. – P. 653–666.

10 **Faghri, A. et al.** Melting and solidification //Fundamentals of Multiphase Heat Transfer and Flow. – 2020. – P. 257–321.

Accepted for publication 07.12.23

**\*В. С. Есаулкин<sup>1</sup>, Х. Махамбетов<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Нортумбрия университеті, Ұлыбритания, Ньюкасл-апон-Тайн қ.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

#### АВТОКӨЛІКТИҢ ЖАСЫРЫН ЖЫЛУ САҚТАУ ЖҮЙЕСІ ҮШІН ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРТУ МАТЕРИАЛЫ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ТАҢДАУ

Фазалық ауыспалы материалдар жасырын жылу сақтайтын материалдар болып табылады. Көздің температурасы көтерілген сайын, материал фазасы өзгерген кезде фазалық ауыспалы материалдар ішіндегі химиялық байланыстар үзіледі. Материалына жылулы жеткізу сақтай отырып, фазаның өзгеруі температурасына жеткенде материал ери бастайды. Содан кейін температура балқыту процесі аяқталғанда тұрақты болып қалады. Материалдың фазалық өзгеру процесінде жинақталған жылу жасырын жылу деп аталады.

Ең дұрысы, автокөлік моторын салқындату термодинамикалық тұрғыдан қажет емес. Егер газдан металға жылу беру жылдамдығын төмендетуге болатын болса, онда белгілі бір отын ағыны жылдамдығында көбірек қуат өндіруге болады, яғни қозғалтқыштың жылу тиімділігі артады. Сондай-ақ радиатор арқылы шығарылатын жылуды азайтуға, демек, радиатордың өлшемін азайтуға болады. Сондықтан қозғалтқыштың жақсы сенімділігі мен жылу тиімділігін төмендететін ұзақ мерзімділігі үшін қуат блогының жылуын басқару өте қажет.

Бұл үшін техникалық және коммерциялық қол жетімді нұсқалардың бірі жасырын жылу жылу энергиясын сақтау жүйесін пайдалану болып табылады. Осы тақырыпты қамтитын көптеген жұмыстар мен шолулар бар екеніне

қарамастан, автор мұндай жүйелер үшін материалды және математикалық модельді таңдаудың кейбір аспектілеріне назар аударуға үміттенеді.

Кілтті сөздер: фазалық ауыспалы материалдар, жасырын жылу, энергия сақтау жүйелері, жылу өткізгіштік, термофизикалық қасиеттер, кинетикалық қасиеттер.

**\*В. С. Есаулкин<sup>1</sup>, Х. Махамбетов<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Университет Нортумбрия, Великобритания, г. Ньюкасл-апон-Тайн

Принято к изданию 07.12.23.

#### ВЫБОР ПОДХОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЛАТЕНТНОЙ ТЕПЛОТЫ

Материалы с фазовым переходом (МФП) аккумулируют скрытую теплоту. По мере повышения температуры источника тепла химические связи внутри МФП разрушаются, поскольку имеет место фазовый переход. При сохранении теплоподвода материал начинает плавиться по достижению температуры фазового перехода. Затем температура остается постоянной до тех пор, пока процесс плавления не завершится. Тепло, запасаемое в процессе фазового перехода материала, называется скрытой теплотой.

В идеале охлаждение автомобильного двигателя нежелательно с термодинамической точки зрения. Если бы можно было снизить скорость теплопередачи от топливных паров к металлу, то при определенном расходе топлива тепловой КПД двигателя увеличился бы. Однако можно уменьшить тепло, отводимое через радиатор, и, следовательно, уменьшить размер радиатора. Поэтому управление температурным режимом силовой установки крайне необходимо для обеспечения надёжности и долговечности двигателя.

Один из наиболее доступных технически и коммерчески вариантов решения данной проблемы — это применение систем аккумулирования латентной теплоты. Несмотря на то, что существуют многочисленные работы и обзоры, затрагивающие эту тематику, автор надеется обратить внимание на некоторые аспекты выбора материала и расчётной математической модели для таких систем.

Ключевые слова: материалы с фазовым переходом, скрытая теплота, системы накопления энергии, теплопроводность, теплофизические свойства, кинетические свойства.

**А. Н. Конкыбаева<sup>1</sup>, \*К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Я. Циеслик<sup>3</sup>,  
А. Е. Окимбаева<sup>4</sup>, К. И. Имашева<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

<sup>3</sup>AGH-UST Краков университеті, Польша Республикасы, Краков қ.;

<sup>4,5</sup>А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

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

**ҚАЛАЛЫҚ ЖОЛАУШЫЛАР КӨЛІГІ ЖҰМЫСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ МӘСЕЛЕСІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІН ЗЕРТТЕУ**

*Автобус жылжымалы құрамы қалалық жолаушылар қоғамдық көлігінің ең қарапайым түрі. Ол арнайы көлік құрылғыларына (байланыс желілері, электр энергиясымен жабдықтауға арналған құрылғылар, рельс жолдары) айтарлықтай шығындарды қажет етпейді, көлікті пайдалануға беру мерзімі аз, маршруттарды жедел өзгертуге болады, біржолғы қажеттіліктер үшін үлкен көлемдегі тасымалдауды тез ұйымдастыруға да мүмкіндік береді. Ұсынылған мақалада Қазақстанның бес ірі қаласында автобустардың жаппай жолаушылар тасымалына қатысуына талдау жүргізілді, сондай-ақ Астана қаласында тұрақты жолаушылар тасымалының жай-күйі сипатталды.*

*Қаланың жолаушылар көлігі жүйесінің тиімділігіне әсер ететін негізгі көрсеткіштері келтірілген. Жылжымалы құрам паркін пайдалану көрсеткіштерінің есебін кезең ішінде емес, бір күн бөлінісінде жүргізудің орындылығы негізделген.*

*Сонымен қатар, Астана қаласының №1 Автопаркінде қызмет көрсететін жылжымалы құрам желілері бойынша қалалық жолаушылар көлігінің (ҚЖК) жұмысы зерттелді және ҚЖК-де жолаушылар тасымалдауын сапалы түрде ұйымдастыруға сол автобустардың мерзімінен бұрын сынып қалуынан және басты құрылғылар мен тораптардың істен шығуынан да туындайтын тоқтап қалулар айтарлықтай әсер ететіні анықталды.*

*Отандық автоөнеркәсіп жағдайында жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын орындау және жұмыстың ұйымдастыру сапасын зерттеу мен зерделеу қажеттілігі анықталды. Себебі бұл қаланың жолаушылар көлігі жүйесінің тиімділігіне тікелей әсер етеді.*

*Кілтті сөздер: автобус, қалалық жолаушылар тасымалы, жылжымалы құрам, парктің техникалық көрсеткіштері, жылжымалы құрам резерві, жөндеу-қалпына келтіру.*

**Кіріспе**

Ірі елді мекендер мен қалалар сапалы көлік инфрақұрылымының қалыптасу жұмыс істеуін талап ететін күрделі жүйе болып табылады [1,2,3]. Күн сайын үлкен қалалардың тұрғындары тұрғылықты жерінен еңбек қолданылатын жерге ауысады, сондай-ақ басқа жерлерге (мәдени-тұрмыстық қызмет көрсету орындары мен демалыс орындары) барады. Әдетте, қала тұрғындары 2–3 км-ден астам, ал кейде 1 км-ден астам қозғалысты автокөлікпен, көбінесе жалпыға ортақ пайдаланылатын қалалық жолаушылар көлігімен (ҚЖК) жүреді. Қазақстан қалаларында жолаушылар тасымалы басым түрде автомобиль көлігімен (автобустармен, электробустармен және автокөлік-таксимен) жүзеге асырылады. Алматы қаласында ҚЖК-не бұған қоса рельсті көлік (метро) кіреді. Ал Павлодар, Өскемен және Теміртау қалаларында ҚЖК-не трамвай да кіреді. Қалған қалаларда тек жолсыз көлік (автобустар мен электробустар).

Қазіргі кезде, Қазақстан қалаларында тұрақты жолаушылар тасымалын жүзеге асыратын көліктің негізгі түрі автобус болып табылады. Егер 500 мыңнан астам халқы бар Қазақстанның 5 ірі қалаларында жолаушылар тасымалын қарастыратын болсақ, келесідей ақпарат аламыз. 2023 жылғы ақпан айындағы статистика деректері бойынша [4] Астана қаласында күн сайын ҚЖК-де (яғни автобустармен және электробустармен) 500 мың жолаушы тасымалданады (бір айда 14,3 млн.) (қаладағы жолаушылар тасымалының барлық көлемінің 99, 3 %). Ал таксимен күніне 3,5 мың жолаушы (айына 100 мың жолаушы) тасымалданады.

Осыған ұқсас күн сайын Қазақстанның басқа төрт ірі қаласы бойынша автобустармен жолаушылар тасымалданады: Алматыда – 1077 мың (83 %), Шымкентте – 258 мың (99 %), Ақтөбеде – 157 мың (92 %), Қарағандыда – 329 мың (99 %) жолаушылар.

1 кестеде 2023 жылғы ақпандағы ҚЖК-мен тасымалданған жолаушылар саны туралы мәліметтер келтірілген.

Кесте 1 – 2023 жылғы ақпандағы ҚЖК-мен тасымалданған жолаушылар саны, мың адам [4]

Көлік түрі / қала	Алматы		Астана		Шымкент		Ақтөбе		Қарағанды	
	Саны	Пайыз	Саны	Пайыз	Саны	Пайыз	Саны	Пайыз	Саны	Пайыз
Автобус	30181	83%	14294	99%	7226	99%	4394	92%	9204	99%
Метро	2 087	6%	0	0	0	0	0	0	0	0
Трамвай	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Троллейбус	3 187	8%	0	0	0	0	0	0	0	0
Автокөлік-такси	936	3%	105	1%	78	1%	390	8%	61	1%
<b>Барлығы</b>	<b>36391</b>	<b>100%</b>	<b>14399</b>	<b>100%</b>	<b>7304</b>	<b>100%</b>	<b>4784</b>	<b>100%</b>	<b>9265</b>	<b>100%</b>

Жоғарыда келтірілген мәліметтер ҚЖТ-дағы автобустардың үлкен маңыздылығын көрсетеді, тасымалдау көлемінің 90 %-дан астамы (Алматы қаласынан басқа) автобустарға тиесілі.

**Материалдар мен әдістер**

Тиімділік бойынша критеріі тек көлікке ғана тиесілі екені белгілі, бұл дегеніміз көлік желісінің өзара байланысуы мен әрекеттесуінің толық жүйесі көрінетін аймақтағы көлік қызметінің сапалық-сандық нысанын білдіреді [5].

Қазіргі уақытта жолаушылар көлігі жұмысының тиімділігі көрсеткіштерінің жалпыға бірдей танылған тізімі жоқ. Алайда, көп жағдайда жолаушылар кәсіпорнының пайдалану қызметінің жалпыланған көрсеткіштерінің бірі тасымалдау құны болып табылады. Тасымалдау құны көлік-километрге немесе жолаушы-километрге ақшалай қатынаста көрсетілуі мүмкін [5]. Бірақ бұл желіде жұмыс істейтін жылжымалы құрам (ЖҚ) паркінің бір бөлігіне ғана қатысты. ЖҚ паркінің қалған бөлігін есепке алу үшін инвентарлық ЖҚ-ның (кәсіпорындағы барлық ЖҚ) пайдалану дәрежесін ескеру қажет.

Көлік жүйесі қалыптасқан қала үшін сол көлік жүйесінің тиімділігіне әсер ететін негізгі көрсеткіштерге мыналар жатқызылуы керек [5]:

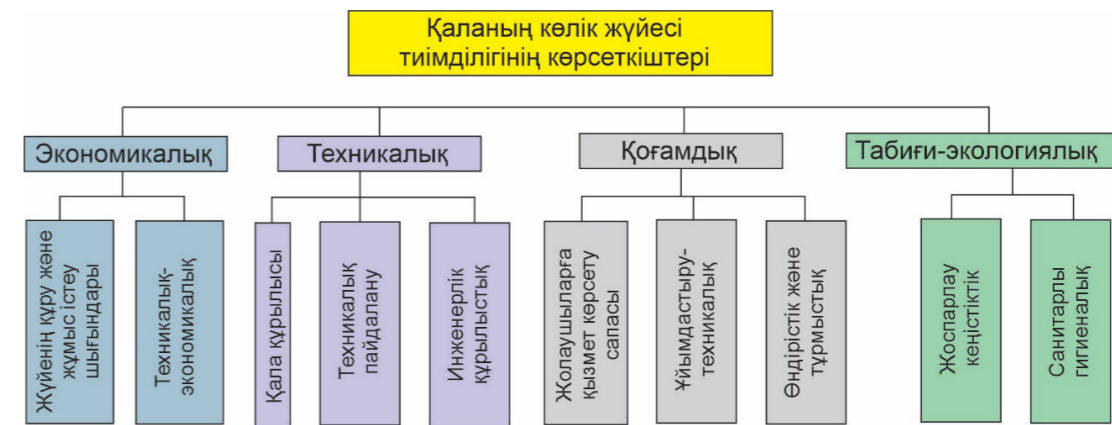
- техникалық-экономикалық;
- техникалық-пайдалану;
- жолаушыларға қызмет көрсету сапасы;
- ұйымдастыру-техникалық;
- өндірістік және тұрмыстық.

1 суретте қала бойынша көлік жүйесінің тиімділік көрсеткіштерінің құрылымы келтірілген [5].

Автокөлік кәсіпорнының жұмысын жоспарлау және талдау үшін, ЖҚ жұмысын есепке алу үшін де автомобиль көлігінің жылжымалы құрамын пайдалану көрсеткіштері қолданады, мысалы, техникалық дайындық коэффициенті, бір жолға автокөліктерді шығару коэффициенті, автокөліктерді пайдалану коэффициенті [6,7,8,9].

Автобустардың резерві  $A_p$  пайдалануға техникалық дайын ЖҚ паркінің  $A_{тд}$  және  $A_n$  желісінде пайдаланылатын парктің айырмашылығы ретінде қалыптастырылады:

$$A_n = A_{тд} - A_p$$



Сурет 1 – Қаланың көлік жүйесінің тиімділік көрсеткіштерінің құрылымы

Жылжымалы құрамның техникалық жарамды күйде болуына байланысты автокөлік-күндер саны жалпы автокөлік-күндер санының қатынасы техникалық дайындық коэффициенті деп аталады.

$$\alpha_{тд} = AK_{тд} / AK_{ж}$$

Аталған коэффициент бір күн үшін келесідей анықталады:

$$\alpha_{тд} = A_{тд} / A_e$$

Шығу коэффициенті – желідегі жылжымалы құрамның шығуын анықтайтын көрсеткіш. Аталған коэффициент бір күн үшін келесідей анықталады:

$$\alpha_{ш} = A_n / A_e$$

ЖҚ паркі үшін көрсеткіштер әдетте белгілі бір кезеңдегі автокөлік-күндерінде есептеледі:

$$\begin{aligned} AK_k &= AK_{тд} + AK_k \\ AK_{тд} &= AK_n + AK_t \\ AK_k &= AK_n + AK_t + AK_k \\ AK_e &= AK_k + AK_n \end{aligned}$$

мұнда,

$AK_k$  – жылжымалы құрам паркін қолданудағы автокөлік-күндер;

$AK_{тд}$  – жылжымалы құрам паркін техникалық пайдаланымға дайын автокөлік-күндер;

$AK_{ж}$  – жылжымалы құрамды жөндеу және техникалық қызмет (ТҚ) үшін автокөлік-күндер;

$AK_n$  – пайдаланымдағы автокөлік-күндер;

$AK_t$  – пайдаланымға дайын тоқтау паркіндегі автокөлік-күндер;

$AQ_e$  – есептік автокөлік-күндер;

$AQ_n$  – нормативтік тоқтаудағы автокөлік-күндер саны (АКМ-нің жұмыс жасамайтын демалыс күндері).

Жүк тасымалынан жолаушылар тасымалының айырмашылығы, «қызметті» болашақта қоймада жүзеге асыру мүмкін еместігі болып табылады. Жолаушылардың тасымалдауға деген сұранысы шұғыл болып табылады, тиісінше, көлікті беру жұмысы дәл уақытында орындалуы қажет.

Сондықтан автомобиль-күндерде ( $AQ_r$ ,  $AQ_{td}$ ,  $AQ_n$ ) ЖҚ паркінің көрсеткіштерін есепке алу орынсыз, ЖҚ резерві күн сайын қажетті мөлшерде болуы шарт. Есепке алуды автокөлік бірліктерінде жүргізу қажет ( $AQ_r$ ,  $AQ_{td}$ ,  $AQ_n$ ).

#### Нәтижелер және талқылау

ҚЖК жұмысын, атап айтқанда Астана қаласындағы автобустардың жұмысын қарастырайық.

Жоспарлы кестеге сәйкес, күн сайын Астана қаласының тұрақты бағыттарында жолаушылар тасымалы 898 дана автобустармен қамтамасыз етіледі, яғни: үлкен (90 орындық) және аса үлкен (150 орындық) сыйымдылыққа ие 798 дана автобус қалалық бағыттарда және 89 дана автобус қала маңындағы бағыттарда, сондай-ақ сыйымдылығы аз (15 орындық) 11 дана автобустар №120 қала маңындағы бағыттарда қызмет көрсетеді.

Жалпы, Астана қаласы бойынша ЖҚ-ның үлкен үлесін Ивеко маркалы автобустар құрайды. Бұл автобустар жоғары жайлылыққа ие болуымен, сенімділігімен, эргономикасымен, үнемділігімен ерекшеленеді. Автобустардың ұзындығы 12–14 м. 2014-2017 жылдары осы маркалы 738 дана автобус сатып алынған [10]. Осы жылдар ішінде ЖҚ паркінің орташа санын айтарлықтай төмендетуге қол жеткізіліп, бұл сәйкесінше жолаушылар тасымалының сапасын және ЖҚ жұмысының тиімділігін арттыруға ықпал жасаған. Сонымен қатар, қалалық жолаушылар тасымалын субсидиялау автокөлік кәсіпорындарының бұрын-соңды болмаған қаржылық жағдайын жақсартты. Енді тасымалдаушы кәсіпорындар ЖҚ-ды жоспарлы жаңартуды өз бетінше жүргізе алады.

Астана қаласында жолаушылар тасымалдауды жүзеге асыратын ең ірі автоөнеркәсіп-тасымалдаушы № 1 Автобус паркі болып табылады. Оның жылжымалы құрамы желіде (бағыттарда) 557 дана автобусты құрайды: қалалық маршруттарда 468 дана және қала маңындағы маршруттарда 89 дана автобустар жұмыс жасайды. Бұл желідегі ЖҚ санының жалпы 62 % құрайды. Жылжымалы құрамның резервтік бөлігі техникалық себептер бойынша желіден шыққан автобустарды ауыстыруға арналған. Алайда, қазіргі уақытта Астана қаласында жылжымалы құрамның тапшылығы орын алған және резервтік саны өте аз екендігі мәлім болды. Әдетте, ағымдағы жөндеуде немесе техникалық қызмет көрсетуде бос тұрған автобустар желіге кірмейді (бағыттарға жүрмейді).

ЖҚ-ның жеткілікті резерві болмаған кезде желіде автобустар ақаулы болған жағдайда маршруттардың жүйелілігі бұзылып, қозғалыс аралығы 2 есеге ұлғаяды. Егер бұл «қарбалас» уақытта орын алса, онда қазірдің өзінде толып жатқан

автобустар қосымша жолаушылар ағынына – «ақаулы» жолаушыларға тап болады. Нәтижесінде, жолаушыларға қызмет көрсету сапасы айтарлықтай төмендейді.

Зерттеу нәтижелері Астана қаласы жағдайында, атап айтқанда №1 Автопаркнің жылжымалы құрамы қызмет көрсететін желілерде ҚЖК жолаушыларды тасымалдауды ұйымдастыру сапасына автобустардың негізгі жауапты бөлшектері мен тораптарының мерзімінен бұрын бұзылуына және істен шығуына байланысты тоқтап қалулар айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Осындай мәселелерге байланысты бұдан кейінгі зерттеу жұмыстары отандық автоөнеркәсіп жағдайында жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын ұйымдастыру мен орындаудың сапасын зерттеуге және зерделеуге бағытталатын болады.

#### Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, көліктің әртүрлі түрлерінің дамуына қарамастан, бүгінде Қазақстан қалаларында автобустар тұрақты жаппай жолаушылар тасымалын жүзеге асыратын көліктің негізгі түрі болып табылады. Автобустың жылжымалы құрамының тиімділігіне басқа көрсеткіштермен қатар, отандық автоөнеркәсіп жағдайында жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын ұйымдастыру және орындау сапасының деңгейі де айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Бұл әрі қарайғы зерттеу бағытын анықтайды.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Спирин, И. В.** Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 5-е изд., перераб. – М. : Издательство центр «Академия», 2010. – Б. 400.

2 **Андреев, К. П., Терентьев, В. В., Темнов, Э. С.** Проблемы качества транспортного обслуживания населения // В сборнике : Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. – 2017. – Б. 105–110.

3 **Андреев, К. П., Терентьев, В. В.** Пассажирские перевозки и оптимизация городской маршрутной сети // Мир транспорта. –2017. – Т. 15. – № 6 (73). – Б. 156–161.

4 Статистика регионов РК. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. режим доступа: [Электронный ресурс]. – <https://new.stat.gov.kz>.

5 **Вельможин, А. В., Гудков, В. А., Куликов, А. В., Сериков, А. А.** Эффективность городского пассажирского общественного транспорта : Монография; Волгоград, гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2002. – Б. 256.

6 **Глущенко, А. А.** Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие для студентов инженерно-физического факультета – Ульяновск: УлГУ, 2019. – Б. 232.

7 **Агеев, Е. В.** Проблемы и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей : монография / Е. В. Агеев, А. Л. Севостьянов, Ю. В. Родионов. – Пенза : ПГУАС., 2014. – Б. 200.



8 Туревский, И. С. Техническое обслуживание автомобилей. Книга 1. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей : учебное пособие. – М. : ИД «Форум» : Инфра-М, 2007. – Б. 432.

9 Бернардский, В. В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст] : учебник / В. В. Бернардский. – Ростов н/Д. : Феникс, 2005. – Б. 448.

10 Интернет ресурс – официальный сайт TOO City Transportation Systems. [Электрондық ресурс]. – <https://cts.gov.kz>.

## REFERENCES

1 **Spirin, I. V.** Organizatsiya i upravleniye passazhirskimi avtomobil'nyimi perevozkami: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniya sred. prof. obrazovaniye. [Organization and management of passenger road transport : a textbook for students. medium institutions. prof. education] – 5-ye izd., pererab. – Moscow : Izdatel'stvo tsentr «Akademiya», 2010. – P. 400.

2 **Andreyev, K. P., Terent'yev, V. V., Temnov, E. S.** Problemy kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya [Problems of the quality of transport services for the population] // V sbornike: Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil'nogo transporta Mezhdunarodnoy nauchno-zaochnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. – 2017. – P. 105–110.

3 **Andreyev, K. P., Terent'yev, V. V.** Passazhirskiye perevozki i optimizatsiya gorodskoy marshrutnoy seti [Passenger transportation and optimization of the urban route network] // Mirovoy transport. – 2017. – Т. 15. – № 6 (73). – P. 156–161.

4 Statistika regionov RK. Byuro natsional'noy statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. [Statistics of the regions of the Republic of Kazakhstan. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan]. – [Electronic resource]. – <https://new.stat.gov.kz>.

5 **Vel'mozhin, A.V., Gudkov, V. A., Kulikov, A. V., Serikov, A. A.** Effektivnost' gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta [Efficiency of Urban Passenger Public Transport] : Monografiya. – Volgograd, Volgograd, gos. tekhn. un-t. 2002. – B. 256.

6 **Glushchenko, A. A.** Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Technical operation of vehicles] : uchebnoye posobiye dlya studentov inzhenerno-fizicheskogo fakul'teta. – Ul'yanovsk : UIGU, 2019. – P. 232.

7 **Ageyev, Ye. V.** Problemy i perspektivy razvitiya tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley [Problems and prospects for the development of technical operation of automobiles] : monografiya / Ye.V. Ageyev, A.L. Sevost'yanov, Yu.V. Rodionov. – Penza : PGUAS, 2014. – P. 200.

8 **Turevskiy, I. S.** Tekhnicheskoye obsluzhivaniye avtomobiley. Kniga 1. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i tekushchiy remont avtomobiley [Car maintenance. Book 1. Maintenance and current repair of automobiles]: uchebnoye posobiye. – Moscow : ID «Forum»: Infra-M, 2007. – B. 432.

9 **Bernardskiy, V. V.** Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont avtomobiley [Maintenance and repair of cars] : uchebnyk / V.V. Bernardskiy. – Rostov n/D. : Feniks, 2005. – P. 448.

10 Интернет ресурс – официальный сайт TOO City Transportation Systems [Internet resource – official site of LLP City Transportation Systems]. – [Electronic resource]. – <https://cts.gov.kz>.

Басып шығаруға 04.09.23 қабылданды.

**А. Н. Коикыбаева<sup>1</sup>, \*К. Т. Шеров<sup>2</sup>, Я. Циеслик<sup>3</sup>,  
А. Е. Окимбаева<sup>4</sup>, К. И. Имашева<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>3</sup>Краковский университет АГН-УСТ, Республика Польша, г. Краков;

<sup>4,5</sup>Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда.

Принято к изданию 04.09.23.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

*Автобусный подвижной состав наиболее простой вид городского пассажирского общественного транспорта. Он не требует значительных затрат на специальные транспортные устройства (контактной сети, устройства для снабжения электроэнергией, рельсовых путей), сроки введения в эксплуатацию небольшие, можно оперативно изменять маршруты, быстро организовывать в больших объемах перевозки для разово возникших потребностей. В настоящей статье произведен анализ участия автобусов в массовых пассажирских перевозках в пяти крупных городах Казахстана, а также описано состояние регулярных пассажирских перевозок в городе Астане.*

*Приведены основные показатели, влияющие на эффективность пассажирской транспортной системы города. Обоснована целесообразность ведения учета показателей использования парка подвижного состава в разрезе одного дня, а не за период.*

*Так же исследована работа ГПТ в условиях г. Астаны, в частности на линиях, которые обслуживаются подвижным составом Автопарка №1 и выявлено, что на качество организации перевозки пассажиров ГПТ оказывает существенное влияние простои, связанные с преждевременной поломкой и выхода из строя основных ответственных деталей и узлов автобусов. Установлено необходимость исследования и изучения качества организации и выполнения ремонтно-восстановительных работ в условиях отечественных автопредприятий. Так как она непосредственно влияет на эффективность пассажирской транспортной системы города.*

*Ключевые слова: автобус, городские пассажирские перевозки, подвижной состав, технические показатели парка, резерв подвижного состава, ремонт и восстановление.*

*N. Konkybaeva<sup>1</sup>, \*K. T. Sherov<sup>2</sup>, J. Cieslik<sup>3</sup>, A. E. Okimbayeva<sup>4</sup>, K. I. Imasheva<sup>5</sup>*

<sup>1,2</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>3</sup>Krakow University AGH-UST, Republic of Poland, Krakow;

<sup>4,5</sup>Karaganda Technical University named after A. Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Accepted for publication 04.09.23.

### RESEARCH OF THE STATE OF THE PROBLEM OF INCREASING THE EFFICIENCY OF PASSENGER URBAN TRANSPORT

*Bus rolling stock is the simplest type of urban passenger public transport. It does not require significant costs for special transport devices (contact network, devices for supplying electricity, rail tracks), the commissioning time is short, you can quickly change routes, quickly organize transportation in large volumes for one-time needs. This article analyzes the participation of buses in mass passenger traffic in five major cities of Kazakhstan, and also describes the state of regular passenger traffic in the city of Astana. The main indicators influencing the efficiency of the city's passenger transport system are given. The expediency of keeping records of indicators of the use of the fleet of rolling stock in the context of one day, and not for a period, is substantiated.*

*The work of the GPT in the conditions of Astana, in particular, on the lines serviced by the rolling stock of Autopark No. 1, was also studied and it was found that the quality of the organization of the transportation of passengers of the GPT is significantly affected by downtime associated with premature breakdown and failure of the main critical parts and bus nodes.*

*The necessity of research and study of the quality of the organization and performance of repair and restoration work in the conditions of domestic auto enterprises has been established. Since it directly affects the efficiency of the city's passenger transport system.*

*Keywords: bus, urban passenger transportation, rolling stock, fleet technical indicators, rolling stock reserve, repair and restoration.*

МРНТИ 55.51.33

<https://doi.org/10.48081/ZZRB7379>

**\*Б. Г. Молдабаев<sup>1</sup>, А. В. Рожков<sup>2</sup>, Б. Ш. Аскароев<sup>3</sup>,  
О. Балабаев<sup>4</sup>, Р. Р. Хайбуллин<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Карагандинский технический университет имени

Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

\*e-mail: [baurmoldabaev62@mail.ru](mailto:baurmoldabaev62@mail.ru)

### ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ КРУТОНАКЛОННОГО КАРЬЕРНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

*Анализ литературных источников показывает, что недостатком классификации крутонаклонных конвейеров является ограниченность, как в конструктивных схемах, так и в требованиях, предъявляемых к крутонаклонному конвейеру. Цель статьи – на основе анализа структурных формул крутонаклонных конвейеров выявить наиболее приемлемые структурные формулы и определить формулу, наиболее соответствующую удовлетворению требованиям эксплуатации открытых горных работ, составить конструктивные схемы крутонаклонных конвейеров, соответствующих выбранной структурной формуле и оценить сравнительный технический уровень конструктивных схем. Для сравнительной оценки конструктивных схем выбраны функциональные критерии: при сравнительной оценке конструкции конвейеров – максимальное допустимое усилие тягового органа; при сравнительной оценке технологических схем – максимально возможная высота подъема горной массы. В качестве показателей сравнения, перечисленных в порядке важности приняты: при сравнительной оценке конструкции конвейеров – максимальный угол установки конвейера, максимальная крупность куска транспортируемого груза, масса движущихся частей конвейера, площадь поперечного сечения груза на конвейере; при сравнительной оценке технологических схем – длина конвейерной линии, общая масса конвейера, крупность куска транспортируемого материала, количество последовательно установленных ставов конвейера. Значения коэффициентов весомости, позволяющих определить комплексные показатели определялись расчетным методом. Минимальные значения комплексных показателей, определяющих технический уровень конструктивных схем, выявлены у специальных типов крутонаклонных конвейеров, причем при оценке технологических схем, технический уровень конструктивной схемы крутонаклонного двухконтурного конвейера, выполненного на базе пластинчатого конвейера является наилучшим.*

*Ключевые слова: структурная формула, конструктивная схема, технический уровень, функциональный критерий, показатели сравнения, комплексный показатель.*

**Введение**

Традиционные виды карьерного транспорта – железнодорожный, автомобильный и конвейерный (ленточный конвейер в классическом исполнении) имеют жесткие ограничения по допустимому углу подъема, что приводит к увеличению длины транспортирования и объемов горно-капитальных работ. При этом значительно увеличиваются затраты на транспортирование, доля которых в общей себестоимости добычи превышает 60 %. В этих условиях одним из целесообразных путей решения транспортных проблем является применение в качестве подъемных – крутонаклонных конвейеров, т.к. последние в большей степени снижают длину транспортирования и упрощают трассу. Крутонаклонные конвейеры для глубоких карьеров представляются наиболее рациональными, так как они универсальны, способны работать под углами наклона до 90°, обеспечивать производительность до 15000 м/час и иметь высоту подъема при современной прочности лент до 300 метров [1–3].

Разработаны различные конструктивные схемы конвейерных подъемников, в которых в качестве способа удержания груза на несущем полотне используется принцип увеличения сцепления груза с несущим полотном (рифленные ленты), и принцип увеличения нормального давления несущего элемента на транспортируемый груз (трубчатые конвейеры; конвейеры с прижимной лентой) [4–6].

При использовании циклично-поточной технологии разработки месторождений полезных ископаемых, в ряде случаев необходимо транспортировать недробленную крупнокусковую горную массу. Этому требованию удовлетворяют конвейеры на ходовых опорах – ленточно-катковые и пластинчатые [7, 8].

Вместе с тем, при обосновании конструктивных схем крутонаклонных конвейеров, не учитываются условия горных разработок, для которых в основном и предназначены данные конвейеры. Кроме того, при сравнительной оценке конструктивных схем отсутствует количественная оценка сравнения.

Целью исследования является выбор и обоснование рациональной конструктивной схемы крутонаклонного пластинчатого конвейера.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- составить и проанализировать структурную формулу крутонаклонного конвейера;
- обосновать структурную формулу крутонаклонного конвейера, удовлетворяющую условиям эксплуатации открытых горных работ;
- выполнить сравнительную оценку технического уровня выбранных конструктивных схем крутонаклонных конвейеров.

**Материалы и методы**

Все классификации крутонаклонных конвейеров используют в качестве основного признака способ удержания груза на несущем полотне [9].

С учетом технических возможностей той или иной конструктивной схемы крутонаклонного конвейера, их классификацию можно представить следующим образом (рисунок 1).

Конструкция конвейера	С гладкой лентой	Лента с рифленой поверхностью	Лента оснащенная кулачками на рабочей поверхности	Лента с гофрированными бортами и перегородками	С прижимной лентой	Ковшовый элеватор
Схема конвейера						
Скорость конвейера, м/с	0-2					
	2-4					
	4-6					
Угол установки конвейера, град	0-20					
	20-35					
	35-45					
	45-60					
	60-87					
Максимальный размер куска, мм	до 100					
	до 200					
	до 300					
	до 400					

1 – с гладкой лентой; 2 – оснащенный лентой с рифленой поверхностью; 3 – лентой, оснащенной косыми кулачками на рабочей поверхности; 4 – с гофрированными бортами и перегородками; 5 – с прижимной лентой; 6 – ковшовый элеватор.

Рисунок 1 – Классификация крутонаклонных конвейеров

Применение структурной систематизации элементов составляющих конструктивную схему крутонаклонного конвейера позволит проанализировать все возможные конструктивные крутонаклонных конвейеров [10].

**Результаты и обсуждение**

Систематизация основана на выделении 4-х структурных элементов, составляющих крутонаклонный конвейер, обозначаемые условно соответствующими буквами: Л– грузонесущий элемент; Т– структурный элемент, увеличивающий коэффициент трения груза о грузонесущий орган; Д– структурный элемент, увеличивающий давление груза на грузонесущий орган; П – структурный элемент, обеспечивающий подпор груза.

Сочленение структурных элементов друг с другом обозначается знаком (+), а совмещение знаком (+). Таким образом общую структурную формулу крутонаклонного конвейера можно представить в виде:

$$КНК = \{Л; Т; П; Д; (+); (+)\} \tag{1}$$

Рассматривая возможные структурные формулы конвейера в сопоставлении с требованиями, предъявляемыми условиями эксплуатации к конструкции крутонаклонного карьерного конвейера, можно выявить наиболее приемлемые конструктивные схемы, по которым может быть выполнен этот конвейер.

Исходя из формулы (1), а также из того, что присутствие грузонесущего элемента необходимо во всех формулах, можно получить 36 возможных структурных формул, которые можно разделить по количеству вырожденных элементов (таблица 1).

Структурные формулы, имеющие в сочленении элементы Л и Т не дают особых преимуществ по сравнению с их совмещением, поэтому их можно считать нецелесообразными.

Таким образом, схемы, описываемые формулами можно из рассмотрения исключить.

Если имеется элемент П в сочленении с Л в сочетании с элементами Т (в совмещении или сочленении), а также элемент П в сочленении с элементами Т или Д, то в этих случаях надежное удержание груза обеспечивается только подпором, и включение других элементов является неоправданным усложнением конструкции, по этой причине схемы, описываемые структурными формулами можно также из рассмотрения исключить.

Структурные формулы, имеющие в составе элементы подпора и давления, тоже следует признать нерациональными, т.к. элемент подпора обеспечивает удержание груза и без элемента давления, использование дополнительного давления увеличивает сопротивление движению конвейера. Поэтому формулы также исключаются из рассмотрения.

Таблица 1 – Структурные формулы

С вырождением 2-х элементов		
1. Л+Т	3. Л+П	5. Л+Д
2. ЛТ	4. ЛП	6. ЛД
С вырождением 1-го элемента		
7. Л+Т+П	12. Л+Т+Д	17. Л+П+Д
8. ЛТ+П	13. ЛТ+Д	18. ЛП+Д
9. ЛП+Т	14. ЛД+Т	19. ЛД+П
10. Л+ПТ	15. Л+ДТ	20. Л+ДП
11. ЛТП	16. ЛТД	21. ЛПД
Без вырождения		
22. Л+П+Т+Д	27. Л+П+ТД	32. ЛТП+Д
23. ЛП+Т+Д	28. Л+Т+ПД	33. ЛТВ+П
24. ЛТ+П+Д	29. ЛП+ТД	34. ЛПД+Т
25. ЛД+Т+П	30. ЛТ+ПД	35. Л+ПДТ
26. Л+ПТ+Д	31. ЛД+ПТ	36. ЛПД

Таким образом рассмотрению с точки зрения удовлетворения предъявляемым требованиям подлежат конвейеры со следующими структурными формулами: Л+П, Л+Д, ЛТ, ЛП, ЛД, ЛТ+П, ЛТ+Д, Л+ДТ, ЛТД.

Степень удовлетворения условиям эксплуатации открытых горных разработок структурных формул представлена в таблице 2.

Символ \* в таблице 2 означает, что структурная формула удовлетворяет данному требованию.

В последней графе таблицы 2 представлено удовлетворение структурных формул всей сумме требований, предъявляемых к крутонаклонному карьерному конвейеру и из которой видно, что наиболее приемлемыми являются конструкции конвейеров, выполненные в соответствии со структурной формулой Л+П т.е. грузонесущее полотно в сочленении с подпорным элементом.

На настоящий момент известны конструктивные схемы конвейеров, предназначенные для транспортирования крупнокусковой (до 1200 мм) крупнокусковой горной массы.

Это конвейер КЛТ – ленточный конвейер, в котором лента опирается на опоры, снабженные ходовыми роликами и соединенными в отдельный контур, движущийся совместно с лентой, и конвейер ПК-140 – пластинчатый конвейер, грузонесущее полотно которого состоит из набора линейных и опорных пластин с ходовыми роликами, укрепленными на тяговой цепи.

Таблица 2 – Степень удовлетворения структурных формул требованиям, предъявляемым к крутонаклонному конвейеру

Требования	Структурные формулы								
	Л+П	Л+Д	ЛТ	ЛП	ЛД	ЛТ+П	ЛТ+Д	Л+ДТ	ЛТД
Транспортировка крупнокускового (до 1200 мм) материала	*			*		*			
Угол установки до 35-40°	*	*		*	*	*	*	*	*
Надежная очистка полотна от налипающего и примерзающего материала	*	*			*				
Возможность установки промежуточных приводов и автономных контуров	*	*	*	*		*	*	*	
Совмещение всех требований	*								

Реализация конструктивной схемы крутонаклонного конвейера, выполненной в соответствии с структурной Л+П, возможна дополнением автономного контура

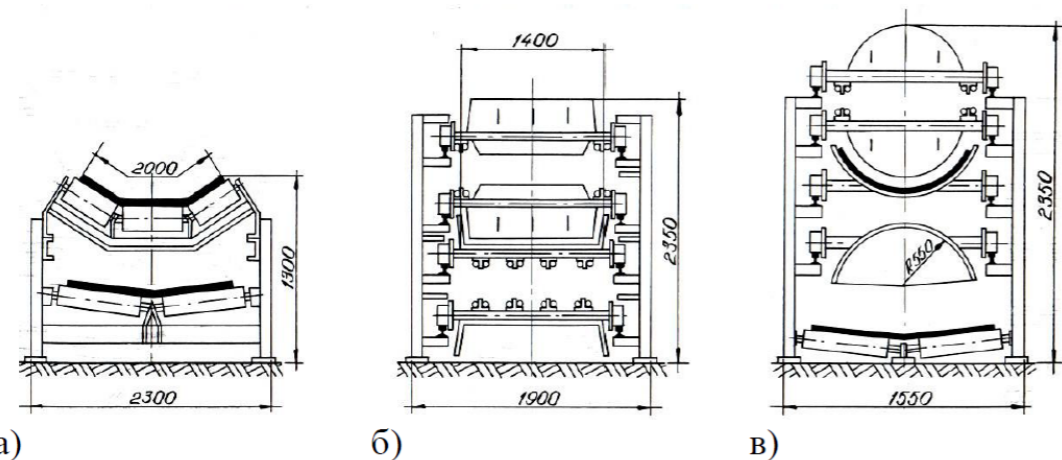
(цепь), с закрепленными на нем подпорными элементами (перегородками), который кроме функции обеспечения удержания груза на несущем полотне, может служить и тяговым органом.

Поперечные сечения конструктивных схем таких конвейеров, условно обозначенных как ПКН-140 и КЛТВ, представлены на рисунке 2 б) и в).

Для получения количественной оценки технического уровня данных конструктивных схем, для сравнения использована конструктивная схема ленточного конвейера тяжелого типа С200200.

Учитывая, что крутонаклонный конвейер предназначен для выдачи крупнокусковой горной массы на поверхность карьера, приняты следующие показатели для оценки технического уровня конструктивных схем, расположенные в порядке убывания степени важности:

- максимальный угол установки конвейера;
- максимальная крупность куска транспортируемого материала;
- линейная масса движущихся частей конвейера;
- скорость конвейера;
- площадь поперечного сечения груза на конвейере.



а) серийный конвейер С200200; б) крутонаклонный пластинчатый ПКН-140; в) ленточно-тележечный КЛТВ

Рисунок 2 – Поперечные сечения сравниваемых конструктивных схем конвейеров для выдачи горной массы из карьера

В качестве функционального критерия, характеризующего конструктивную схему конвейера, принято допустимое усилие тягового органа, характеризующее способность конвейера совершить полезную работу по перемещению груза.

Технический уровень сравниваемых машин оценивается по величине комплексного показателя, рассчитываемого по формуле [10]:

$$K_j \sum y_{i,j} \quad (2)$$

где  $y_{i,j}$  - i-й нормированный показатель, сравниваемой j-й машины;  
 $\beta_i$  – коэффициент весомости i-го показателя.

Нормированные показатели определяются соотношением:

$$y_{i,j} = \frac{y_{i,j}}{y_{\min j}} \quad (3)$$

где  $y_{i,j}$  - нормированные показатели;

$y_{\min j}$  - минимальный из удельных показателей всех сравниваемых машин.

Удельные показатели определяются:

$$y_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{\lambda_j} \quad (4)$$

где  $x_{i,j}$  – i-й абсолютный показатель j-й машины;

$\lambda_j$  – функциональный критерий j-й машины.

Абсолютные показатели определяются по принципу «чем меньше, тем лучше», поэтому для таких показателей, как угол наклона, крупность куска, скорость конвейера, площадь поперечного сечения груза на конвейере в качестве абсолютных показателей берутся обратные величины.

Коэффициенты весомости нормированных показателей определяются расчетным методом из соотношения:

$$\beta_{i+1} = \beta_i \alpha \quad (5)$$

где  $\alpha$  - доля последующего коэффициента от предыдущего.

Задавая коэффициентом весомости первого показателя, можно определить долю  $\alpha$  из решения следующего уравнения:

$$\beta_1(1 - \alpha^n) = 1 - \alpha \quad (6)$$

численным методом.



Рисунок 3 – Единичные и комплексные показатели конструктивных схем конвейеров

Анализ данных расчета показывает, что технический уровень специальных типов крутонаклонных конвейеров, значительно выше, чем применяемых в настоящее время серийных ленточных конвейеров.

Комплексный показатель специальных конвейеров ПКН-140 и КЛТВ оказался одинаковым и равным 1,115, что указывает на равный технический уровень, более высокий, чем у конвейера С200200, комплексный показатель которого равен 3,972.

Так как технический уровень специальных типов конвейеров больше 1, то их конструктивные схемы не являются идеальными, и требуют дальнейшего совершенствования.

Следует отметить, что реальные карьеры отличаются большим разбросом параметров глубины, производительности, угла естественного откоса бортов и т.п., поэтому особый интерес представляет сравнение данных типов конвейеров в технологических схемах.

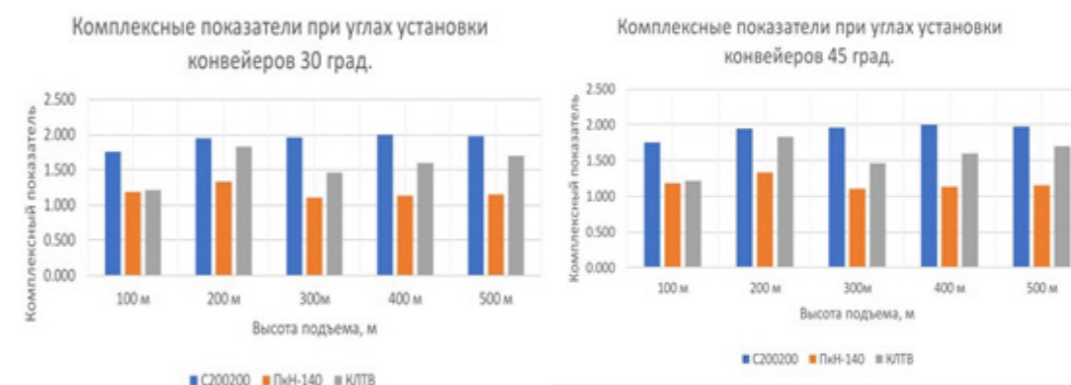
В качестве показателей, характеризующих технический уровень технологической схемы, приняты показатели, определяющие затраты на сооружение конвейерной линии:

- длина конвейерной линии
- общая масса конвейера
- крупность -куска транспортируемого материала
- количество последовательно установленных ставов конвейера.

Конечным результатом функционирования технологической схемы транспорта является подъем определенной массы груза за определенный промежуток времени на определенную высоту, поэтому за функциональный критерий в данном случае

принимается условная транспортную мощность, т.е. произведение расчетной массовой производительности на высоту подъема  $H$  горной массы.

Результаты расчета комплексных показателей технического уровня конвейеров представлены на диаграммах (рисунок 4).



а) 30 град.;

б) 45 град.

Рисунок 4 – Комплексные показатели технологических схем при углах установки

### Выводы

В представленном исследовании обоснована конструктивная схема формула крутонаклонного пластинчатого конвейера. В ходе, проведенных теоретических исследований были решены следующие задачи:

- составлена и проанализирована структурная формула крутонаклонного конвейера;
- обоснована структурная формула крутонаклонного конвейера, удовлетворяющая условиям эксплуатации открытых горных работ;
- выполнена сравнительная оценка технического уровня выбранных конструктивных схем крутонаклонных конвейеров.

Наиболее рациональной конструктивной схемой является конструктивная схема крутонаклонного пластинчатого конвейера. Тем не менее при ее конкретной реализации, необходимо предусмотреть технические решения, позволяющие улучшить абсолютные показатели реальной конструкции.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бурмистров, К. В., Головей, С. И., Крутикова, А. В., Даутбаев, З. Р. Исследование возможности применения конвейерного транспорта в сложных горно-геологических условиях глубоких высокопроизводительных карьеров // Современные проблемы транспортного комплекса России. – Т.6. – № 2. – 2016 – с. 32–38.

2 **Кулешов, А. А.** Основные направления развития механизации открытых и подземных горных работ. – М: Москва, Записки горного института. – т. 2006. – 168. – с. 60–63.

3 **Яковлев В. Л., Тюлькин А. П., Кармаев Г. Д.** Технологические аспекты применения крутонаклонных конвейеров в горно-добывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – вып.7. – С. 34–39.

4 **Картавый, А. Н.** Сравнительная оценка крутонаклонных ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Вып.5. – С. 98–113.

5 **Касаткин, А. А.** Сравнительная оценка крутонаклонных ленточных конвейеров для горной промышленности, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – Вып. 6. – С. 103–108.

6 **Шешко, Е. Е.** Обоснование параметров мощных крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой для подъема из глубоких карьеров. – М. : «Горная промышленность», 2017. – №(136). – С. 80–83.

7 **Мулухов, К. К., Беслекоева, З. Н.** Крутонаклонный конвейерный подъемник для крупнокусковых грузов и глубоких карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГГУ, 2009. – № 3. – С. 249–257.

8 **Сагинов, А. С., Данияров, А. Н., Акашев, З. Т.** Основы проектирования и расчета карьерных пластинчатых конвейеров. – Алма-Ата : Наука, 1984. – 328 с.

9 **Галкин, В. И., Шешко, Е. Е.** Транспортные машины. – М. : МГГУ, 2010. – 587 с.

10 **Жданко, Д. А.** Методы оценки технического уровня машин и оборудования. – Минск : БГАТУ, 2022. – 112 с.

## REFERENCES

1 **Burmistrov, K. V., Golovej, S. I., Krutikova, A. V., Dautbaev, Z. R.** Issledovanie vozmozhnosti primeneniya konvejernogo transporta v slozhny`x gorno-geologicheskix usloviyax glubokix vy`sokoproizvoditel`ny`x kar`erov, Sovremenny`e problemy` transportnogo kompleksa Rossii [Study of the possibility of using conveyor transport in complex mining and geological conditions of deep, highly productive quarries] [Modern problems of the Russian transport complex]. – Т. 6. – № 2. – 2016 – P. 32–38.

2 **Kuleshov, A. A.** Osnovny`e napravleniya razvitiya mekhanizacii otkry`ty`x i podzemny`x gorny`x rabot [Main directions of development of mechanization of open-pit and underground mining]. – М. : Moscow, Zapiski gornogo instituta, 2006. – Vol.168. – P. 60–63.

3 **Yakovlev, V. L., Tyul`kin, A. P., Karmaev, G .D.** Tekhnologicheskie aspekty` primeneniya krutonaklonny`x konvejerov v gorno-doby`vayushhej promy`shlennosti, Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-technicheskij zhurnal) [Technological aspects of the use of steeply inclined conveyors in the mining industry,

Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. – 2002. – 7. – P. 34–39.

4 **Kartavy`j, A. N.** Sravnitel`naya ocenka krutonaklonny`x lentochny`x konvejerov, Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-technicheskij zhurnal) [Comparative assessment of steeply inclined belt conveyors], [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. – 2009. – 5. – P. 98–113.

5 **Kasatkin, A. A.** Sravnitel`naya ocenka krutonaklonny`x lentochny`x konvejerov dlya gornoj promy`shlennosti, [Comparative assessment of steeply inclined belt conveyors for the mining industry], Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-technicheskij zhurnal) Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. – 2007. – 6. – P. 103–108.

6 **Sheshko, E. E.** Obosnovanie parametrov moshhny`x krutonaklonny`x konvejerov s prizhimnoj lentoy dlya pod`ema iz glubokix kar`erov [Justification of the parameters of powerful steeply inclined conveyors with a pressure belt for lifting from deep quarries] Moscow : «Gornaya promy`shlennost`», 2017№ – № (136)–P. 80–83.

7 **Muluxov, K. K., Beslekoeva, Z. N.** Krutonaklonny`j konvejerny`j pod`emnik dlya krupnokuskovy`x грузов i glubokix kar`erov [Steeply inclined conveyor lift for large-piece cargo and deep quarries] // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten. Moscow : MGGU, 2009. – № 3. – P. 249–257.

8 **Saginov, A. S., Daniyarov, A. N., Akashev, Z. T.** Osnovy` proektirovaniya i rascheta kar`erny`x plastinchaty`x konvejerov [Fundamentals of design and calculation of quarry plate conveyors]. – Alma-Ata : Nauka, 1984. – 328 p.

9 **Galkin, V. I., Sheshko, E. E.** Transportny`e mashiny` [Transport machines]. – Moscow. : MGGU, 2010. – 587 p.

10 **Zhdanko, D. A.** Metody` ocenki texnicheskogo urovnya mashin i oborudovaniya [Methods for assessing the technical level of machines and equipment]. – Minsk : BGATU, 2022. – 112 p.

Принято к изданию 22.08.23.

\***Б. Г. Молдабаев<sup>1</sup>, А. В. Рожков<sup>2</sup>,**

**Б. Ш. Аскар<sup>3</sup>, О. Т. Балабаев<sup>4</sup>, Р. Р. Хайбуллин<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанда қ.

Басып шығаруға 22.08.23 қабылданды.

### ЖОҒАРЫ КӨЛБЕУ ТАУ ТАБЫНДЫ КОНВЕЙЕРДІҢ ҚҰРЫЛЫМ СҰМБАСЫН НЕГІЗДЕУ

Әдеби дереккөздерді талдау тік көлбеу конвейерлерді жіктеудің кемиілігі конструкторлық схемаларда да, тік көлбеу конвейерге қойылатын талаптарда да шектеулер екенін көрсетеді. Мақаланың мақсаты – тік көлбеу конвейерлердің құрылымдық формулаларын талдау негізінде, ең қолайлы құрылымдық формулаларды анықтау және ашық тау-кен жұмыстарын пайдалану талаптарына ең жақсы сәйкес келетін формуланы анықтау, тік конвейерлердің құрылымдық схемаларын құру. таңдалған құрылымдық формулаға сәйкес келетін көлбеу конвейерлер және құрылымдық диаграммалардың салыстырмалы техникалық деңгейін бағалау. Конструкциялық сұлбаларды салыстырмалы бағалау үшін функционалдық критерийлер таңдалды: конвейерлердің конструкциясын салыстырмалы бағалауда – тарту органының шекті рұқсат етілген күші; технологиялық сұлбаларды салыстырмалы бағалауда – тау жыныстарының максималды мүмкін биіктігі. Маңыздылығы бойынша тізімделген салыстыру көрсеткіштері ретінде мыналар алынды: конвейерлердің конструкциясын салыстырмалы бағалауда – конвейерді орнатудың максималды бұрышы, тасымалданатын жүк бөлігінің максималды өлшемі, қозғалатын жүктің массасы, конвейердің бөліктері, конвейердегі жүктің көлденең қимасының ауданы; технологиялық сұлбаларды салыстырмалы бағалауда – конвейер желісінің ұзындығы, конвейердің жалпы массасы, тасымалданатын материал бөлігінің өлшемі, дәйекті орнатылған конвейер сатыларының саны. Күрделі көрсеткіштерді анықтауға мүмкіндік беретін салмақтық коэффициенттердің мәндері есептеу әдісімен анықталды. Конструкциялық сұлбалардың техникалық деңгейін анықтайтын кешенді көрсеткіштердің ең аз мәндері тік көлбеу конвейерлердің арнайы түрлері үшін, ал технологиялық схемаларды бағалау кезінде тік көлбеу қос тізбекті конвейердің конструкторлық схемасының техникалық деңгейі пластина конвейері ең жақсы.

Кілтті сөздер: құрылымдық формула, конструктивті схема, техникалық деңгей, функционалдық критерий, салыстыру көрсеткіштері, кешенді көрсеткіш.

\*B. G. Moldabaev<sup>1</sup>, A. V. Rozhkov<sup>2</sup>, B. Sh. Askarov<sup>3</sup>,  
O. T. Balabaev<sup>4</sup>, R. R. Khaibullin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Accepted for publication on 22.08.23.

### JUSTIFICATION OF THE STRUCTURAL DIAGRAM OF A HIGHLY SLOPED MINING PLATE CONVEYOR

An analysis of literary sources shows that the disadvantage of classifying steeply inclined conveyors is the limitation, both in design schemes and in the requirements for a steeply inclined conveyor. The purpose of the article is, based on the analysis of the structural formulas of steeply inclined conveyors, to identify the most appropriate

structural formulas and determine the formula that best meets the requirements of the operation of open pit mining, draw up structural diagrams of steeply inclined conveyors corresponding to the selected structural formula and evaluate the comparative technical level of structural diagrams. For a comparative assessment of design schemes, functional criteria were selected: in a comparative assessment of the design of conveyors – the maximum allowable force of the traction body; in a comparative assessment of technological schemes – the maximum possible height of the rock mass. As indicators of comparison, listed in order of importance, the following were taken: in a comparative assessment of the design of conveyors – the maximum installation angle of the conveyor, the maximum size of a piece of the transported cargo, the mass of the moving parts of the conveyor, the cross-sectional area of the cargo on the conveyor; in a comparative assessment of technological schemes – the length of the conveyor line, the total mass of the conveyor, the size of the piece of the transported material, the number of successively installed conveyor stages. The values of the weighting coefficients, allowing to determine the complex indicators, were determined by the calculation method. The minimum values of complex indicators that determine the technical level of design schemes are found for special types of steeply inclined conveyors, and when evaluating technological schemes, the technical level of the design scheme of a steeply inclined double-circuit conveyor based on a plate conveyor is the best.

Keywords: structural formula, constructive scheme, technical level, functional criterion, comparison indicators, complex indicator.



\*Б. А. Умарова<sup>1</sup>, Н. С. Сембаев<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.\*e-mail: [bulbul186@mail.ru](mailto:bulbul186@mail.ru)**ЖҮК АВТОКӨЛІКТЕРІНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ  
КӨРСЕТУДІ ҰЙЫМДАСТЫРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

*Әлемдік экономиканың соңғы он жылдың ішінде көліктің қажеттіліктерін қанағаттандыруда автомобиль көлігінің рөлі үнемі жылдам артып келеді. Бұл экономиканың жекелеген салаларындағы көліктің осы түрінің елеулі артықшылықтарына ғана емес, сонымен қатар жол инфрақұрылымының қарқынды дамуына, сондай-ақ көлік құралдарын сындарлы жетілдірудегі прогреске байланысты.*

*Автокөлік – бұл қазіргі заманда үнемі үлкен жаһандық міндет, бірақ ол сонымен прогрестің ең үлкен қозғалтқыштарының бірі болып табылады. Бұл көптеген кемшіліктерге байланысты, мысалы, қоршаған ортаға әсерлері, бірақ сонымен бірге көлік құралдары мен адамның көмекшісі ретінде автомобильдерден мүлдем бас тарту мүмкін емес.*

*Мақала қолданыстағы автокөліктердің техникалық дайындығын көтеру мақсатында техникалық қызмет көрсету амалдарын жетілдіруге арналған.*

*Жұмыстың ғылыми жаңалығы автокөліктерге техникалық күтімі мен (ТК) қажетті техникалық жөндеу (ҚТЖ) жұмыстарын жүргізу кестесін жасау негізінде автокөлік кәсіпорындарында автомобильдерге кезекті ТК және ҚТЖ ұйымдастыру мен жоспарлауды жетілдіруге ұсыныс дайындалған.*

*Ұсыныс, автокөлік құралдарын ТК және ҚТЖ жүргізу кестесін құрудың қарастырылып отырған әдістемесі автокөлік кәсіпорындары мен еңбек ресурстарының өндірістік-техникалық базасын ұтымды пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: автокөлік, дайындық, техникалық қызмет көрсету, жөндеу, тиімділік, кесте.*

**Кіріспе**

Қазіргі уақытта әлемнің ең дамыған елдерінде жүк-жолаушылар тасымалының 70–80%-ы автомобиль көлігімен жүзеге асырылады [1].

Соңғы онжылдықта Қазақстан жаһандық интеграциялық процестерге белсенді қатысуда. Экономикалық интеграцияның маңызды элементі қызмет көрсету деңгейі жоғары жүктер мен жолаушыларды ішкі және транзиттік тасымалдауды қамтамасыз ететін тұрақты көлік инфрақұрылымы болып табылады [2].

Өңіраралық және халықаралық тасымалдардың қарқындылығымен автомобиль тасымалдары көлемінің едәуір ұлғаюы негізінен қарқынды автомобиль процестерімен байланысты. Автомобиль көлігі нарықтық инфрақұрылымды дамытуда, ішкі және сыртқы көлікті кеңейтуде маңызды рөл атқарады. Еліміздегі

тасымалданған жүктердің жалпы көлеміндегі автокөліктер үлесі 83,89 %, жүк тасымалы 28,69 %, жолаушылар 87,82 % құрайды [3].

Автомобиль көлігі қымбат және тез бұзылатын жүктерді ұзақ қашықтыққа тасымалдау үшін қолданылады және орташа 500-ден 1000 км-ге дейінгі қашықтықта, әсіресе 100 км-ге дейінгі қысқа қашықтықта басым болады [4].

Автокөлік – бұл қазіргі заманда үнемі үлкен жаһандық міндет, бірақ ол сонымен прогрестің ең үлкен қозғалтқыштарының бірі болып табылады. Бұл көптеген кемшіліктерге байланысты, мысалы, қоршаған ортаға әсерлері, бірақ сонымен бірге көлік құралдары мен адамның көмекшісі ретінде автомобильдерден мүлдем бас тарту мүмкін емес. Автомобиль өнеркәсібі сөзсіз дамитын болады және электр құралдарына және уыттылықты төмендетуге және техникалық жағдайына баса назар аударылады [5,6].

Ресейде 2021 жылдың басында автокөліктерге техникалық қызмет көрсететін бір мекемеге шаққанда 1436 автомобильге қызмет көрсетеді және жөндейді. Ал Европалық Одақта бұл көрсеткіш 586, ал жалпы орташа көрсеткіш 750 автокөлік бірлігін құрайды [7].

Қазақстанда 1990–2020 жылдары техникалық қызмет көрсету кәсіпорындарының үш есе тапшылығы болды.

Мақаланың мақсаты еліміздегі автокөлік парктерінің техникалық дайындық еселігін арттыру амалдарын талқылау және ұсыныс даярлау.

**Материалдар мен әдістері**

Ғылыми зерттеу нәтижесіне келтірілген мәліметтер зерттеудің жалпы әдістемесін қолдануға негізделген, онда орындалған жұмыстар мен зерттеулерді талдау, аналитикалық зерттеулер әдістемелері қолданылған.

21 ғасырда әлемдік көліктегі өзгерістер, энергия тұтынудың өсуі және қоршаған ортаға теріс әсер ету бірқатар жағымсыз салдарлармен қатар жүреді, соның ішінде көлік инфрақұрылымының өткізу қабілетінің жеткіліксіздігі ғана емес, сонымен қатар көліктің барлық түрлерінде адамдар мен жүктер санының үнемі өсуі, көлік ағындарын ұйымдастыру мен басқарудың төмен деңгейі. Бұл проблемалардың ауқымы мен маңыздылығы ұлттық және тіпті континенттік масштабтағы стратегиялық сын-қатерлер ретінде бағаланады.

Экономиканың тасымалдау қажеттіліктерін уақтылы және толық қанағаттандыру автокөліктерге техникалық қызмет көрсету мен жөндеуді ұйымдастырудың ұтымды нысандарына байланысты. Автокөліктерге қызмет көрсету және қайта өңдеу шығындары олардың қызмет ету мерзімі ішінде автомобиль өндірісіне кететін шығындардан 6–7 есе көп. Осылайша, жанармай құю станцияларын жобалау мен жөндеудің маңыздылығы аймақта бәсекелестердің жоқтығында ғана емес, сонымен қатар біздің ізденістеріміз бен құрылыстарымызбен нығайтылған үнемі өсіп келе жатқан автосервис нарығында.

**Нәтижелер және талқылау**

Көпжылдық бақылаулар мен зерттеу нәтижелері автомобильдерде келесі түйіндер мен қондырғылардың жиі бұзылатынын көрсетті (кесте 1).

Кесте 1 – ТМД және шет мемлекеттерден алынған жүк автокөліктерімен тіркемелердің жүйелі істен шығатын техникалық ахаулары

Ахаулары атаулары	Ауыр жүк көліктері	Тіркемелер	ТМД тіркемелері	ТМД елдерінің жүк көліктері	Шет елдерінің жүк көліктері	Шет ел Тіркемелері	Жүк көлігі жүргізушілері сауалнамасы нәтижелері
Амортизатор	40	60	20	25	-	35	-
Қоректендіру жүйесі	35	-	-	-	-	-	-
Мотор	25	-	-	30	20	-	-
Дөңгелек, шина	18	-	-	-	-	-	-
Шанақ	-	45	-	25	-	40	-
Бекіту түйіндері	-	35	-	-	-	15	-
Бекіту түйіндері	-	40	15	-	-	20	-
Электр жүйесі	-	-	-	35	-	-	-
Тежеу жүйесі	-	-	-	-	10	-	-
Сапасыз жолдар	-	-	-	-	-	-	65
Сапасыз техникалық сервис	-	-	-	-	-	-	20
Сапасыз қосалқы бөлшектер	-	-	-	-	-	-	15

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей ТМД-да және шетелде шығарылған жүк көліктері арасында келесі айырмашылықтар бар.

ТМД зауыттары шығарған автомобильдер арасында келесі ақаулар жиі кездеседі: қозғалтқыш, электр бөлігі мен жабдықтары, амортизатор, шиналар, сондай-ақ тіркемелер, амортизаторлар, бекітпелер.

Шетелдік автомобильдер: қозғалтқыш, тежегіш жүйесі және тіркемелер үшін; дөңгелектер мен дискілер, амортизатор, монтаждау жинағы, жақтау.

Жүк көлігі жүргізушілерінің сауалнамасының нәтижелері көрсеткендей, мұндай көрсеткіштердің негізгі себептері жолдардың сапасы, пайдаланудың төмен бағасы, жанар-жағармай материалдарының және қосалқы бөлшектердің сапасы болып табылады.

Автокөліктерге қызмет көрсететін компания-бұл міндетті және пайдалы қызметтердің бірі, өйткені бүгінде әр түрлі көліктердің иелері біздің азаматтарымыздың көпшілігін құрайды. Бұл ретте Қазақстан Республикасында автокөлік иелерінің саны дамыған елдердің көпшілігіне қарағанда 1000 адамға аз, сондықтан ұлттық жүк автокөліктері паркі үнемі өсіп келеді және өсу үрдісін көрсетуде.

Сонымен қатар автокөлік түрлерінің конструкциялық ерекшеліктерімен де, басқада жеке ерекшеленетін автомобильдің әр моделі орнатылған қозғалтқыштың

мақсатына, жанар-жағар май түріне және т.б. байланысты, мысалы, автомобиль иесі автомобильдің құрылысы мен жұмыс режимі туралы білуі керек. ол мұндай параметрлерді толық білмейді [8, 9].

Автокөлік отынын тұтыну, автомобиль режимі және оның қондырғыларының жұмысы (редукторды ауыстыру, тежеу және т.б.) сияқты ерекшеліктер туралы автокөлік иесі тек болжай алады. Нәтижесінде автокөлік жүргізушісі көлік құралының техникалық жағдайын нақты анықтай алмайды, техникалық қызмет көрсету және техникалық қызмет көрсету шығындарын оңтайлы жоспарлай алмайды, ресурстың қалған бөлігін және оны белгілі бір жағдайларда одан әрі пайдаланудың рентабельділігін елестете алмайды [10].

Еліміздегі тасымалдау кәсібімен айналысатын кәсіпорындармен кәсіпкерлерде әртүрлі маркалы автокөліктермен құрылғылардың жұптарын жарамды және жұмыс күйінде ұстау үшін жоспарлы ескерту жүйесі (ЖЕЖ) енгізілді. Жүйенің негізгі кемшілігіне қарамастан, жеке автомобильдер үшін оңтайлы емес режимдер ғана ЖЕЖ- автокөліктер паркінің техникалық дайындығын басқарудың бірыңғай тетігі. Бұл жүйе бірнеше онжылдықтар бұрынғы статистикаға негізделген техникалық қызмет көрсету және ағымдағы түзету стандарттарына негізделген [11]. Әрине, осы кезеңде жаңа тенденциялар пайда болады, олардың арасында келесілер бар.

Біріншіден, бұл реттеуші мамандар жүзеге асыратын сенімділікті арттырудың, демек, аралық дамудың прогрессивті процесі. Алайда, соңғы жиырма жыл ішінде автопарктың құрылымы, инженерлік дизайны, пайдалану шарттары, жылжымалы құрамның техникалық қызметіне әсер ететін экономикалық жағдайлар күрт өзгерді. Мұндай өзгерістер нормативтік базаға әсер етпеді, нәтижесінде өнеркәсіптік кәсіпорындарды технологиялық жобалауға субъективті көзқарастар басым болды.

Екіншіден, техникалық күтім (ТК) және жөндеу режимдері жаңа маркалы автомобильдердің сенімділік көрсеткіштеріне қарама-қарсы стандарттарға сәйкес белгіленеді [12]. Екінші жағынан, келесі кезеңнің уақытын анықтау көбінесе бір-біріне қайшы келетін әртүрлі факторларға байланысты. Бұл қарсылық техникалық қызмет көрсету режимін анықтаудың ақылға қонымды нұсқаларын табу әдістерін әзірлеудің негізгі шарты болып табылады.

Үшіншіден, ағымдағы техникалық пайдалану саясатының негізін құрайтын сақтық шаралары жүктерді тасымалдау шығындарына және осы жұмысты сол кезеңде орындаған автомобильдердің бағасына байланысты нақты жағдайға байланысты жүзеге асырылады. Жоспарлы ескерту жүйесінің тұжырымдамасы дәл осындай жағдай үшін жасалған, сондықтан қолданыстағы стандарттар мен шарт нақты сенімділік көрсеткіштеріне сәйкес келмейді және көбінесе түзетулер арасындағы ресурстарды аз тұтынуға әкеледі. Сондықтан, мысалы, қалалық көлік қолайсыз жағдайда қалады, өйткені автобустарды жөндеу кезінде жоғалған ресурстардың әрбір бірлігі үшін трафиктен 6–10 есе көп төлеуге тура келеді. Қазіргі экономикалық жағдайда нормаларды, режимдерді анықтауға және тұтастай

алғанда белгілі бір технопарктің стратегияларын қалыптастыруға жаңа тәсілдер қажет.

Профилактикалық жоспарлау жүйесінде белгілі бір жылжымалы құрамды қолданудың жиілігі мен күрделілігі келесі шарттарға байланысты коэффициенттер арқылы түзетіледі. Нормативтерді түзетудің алынған коэффициенті мынадай көрсеткіштер үшін жекелеген коэффициенттердің көбейтіндісі ретінде айқындалады:

- еңбек санатындағы жағдайлары –  $K_1$ ;
- автокөліктің жұмысын өзгерту және ұйымдастыру –  $K_2$ ;
- экологиялық және климаттық жағдайлар –  $K_3$ ;
- көлікті пайдалану басталғаннан бастап жүру –  $K_4$ ;
- автокөлік кәсіпорнының (АТП) көлемі және автопарктің жалпы сыйымдылығы кіретін топтар саны –  $K_5$ .

Бейімделу нормативтері үшін тиімді түзету коэффициенті мынадай көрсеткіштер бойынша жекелеген коэффициенттердің қайталануы ретінде айқындалады:

- техникалық күтім өткізу жиілігі –  $K_1, K_3$ ;
- күрделі жөндеуге және қажетті қосалқы бөлшектер –  $K_1, K_2, K_3$ ;
- техникалық күтімнің еңбексыйымдылығы –  $K_2, K_5$ ;
- техникалық жөндеудің өзіндік еңбексыйымдылығы –  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$ .

Жылжымалы құрамның еңбек жағдайлары санатқа байланысты еселіктердің  $K_1$  - бейімделу сандық мәндері 2-кестеде келтірілген .

Жүк көліктерінің негізгі кемшіліктері амортизаторлардағы, қозғалтқыштағы, электр жүйелеріндегі, дөңгелектердегі және жарылысқа қарсы әлсіз жерлер болды.

Кесте 2 –  $K_1$  – еселіктердің бейімделу сандық мәндері

Пайдалану шарттарының санаттары	$K_1$ – еселігінің мәндері		
	ТК жиілігі	Ағымдағы жөндеудің өзіндік еңбексыйымдылығы	Ресурстары
I	1,0	1,0	1,0
II	0,9	1,1	0,9
III	0,8	1,2	0,8
IV	0,7	1,4	0,7
V	0,6	1,5	0,6

Жылжымалы құрамның климаттық жағдайына байланысты  $K_3$  - еселіктің сандық мәндері нормативтік өзгерістерге дейін 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 –  $K_3$  – еселігінің түзету мәндері

ГОСТ 16350-80 сәйкес ауа-райы	$K_3$ – еселігінің мәндері		
	ТК жиілігі	Ағымдағы жөндеудің өзіндік еңбексыйымдылығы	Ресурсы
Орташа	1,0	1,0	1,0
Орташа жылы, орташа жылы ылғалды, жылы ылғалды	0,9	1,1	0,9
Ыстық, құрғақ, өте ыстық құрғақ	0,9	1,1	0,9
Орташа суық	0,9	1,1	0,9
Суық	0,9	1,2	0,8
Қатты суық	0,8	1,3	0,7

1,2 - кестелерден парктің пайдалану сипаттамаларын есептеу үшін кезекті техникалық күтім жұмысының жиілігі нормативтен төмендеу мөлшеріне дейін өзгеруі мүмкін екенін көрсетеді. Бұл ретте талаптарға сәйкес түзетілген мән нормативтік деңгейдің кемінде 0,5 болуы тиіс. Аралас санаттар немесе олардың комбинациялары үшін реттеуге болады. Орташа деректерге негізделген бұл әдісті практикалық қолдану аз және сирек қолданылады. Бұл ретте коэффициенттердің көмегімен техникалық кірістер арасындағы жиілікті реттеу аралықтарын реттеу көзделмеген. Әрине, мұнда түбегейлі басқа міндет түр, оны шешу кезінде сенімділік, жабдыққа техникалық қызмет көрсетудің әртүрлі шығындары және қажетті жөндеу жұмыстарының белгілі бір тәртіптің бірлігі ескеріледі.

Кезекті техникалық қызмет көрсету арасында жылжымалы құрамдарды өткізудің экономикалық негізделген нормативтерінің болуына қарамастан, іс жүзінде көптеген АТП-да автокөліктерді қандай да бір жоспарлы техникалық қызмет көрсетуге қосу сәті нормативтерді ескермейтін күнтізбелік кестеге байланысты болады. Кейде жалпы паркті пайдалану кестесі тәулік бойғы қозғалысқа қарағанда жылжымалы құрамның әртүрлі үлгілерін де, әртүрлі тартылыс жағдайлары бар көліктерді де қамтиды. Бұл тәжірибе қате екені анық.

Екінші жағынан, іс жүзінде спидометрлерді қолдануға негізделген қолданыстағы жүріс негізінде көлікті пайдалануға қайтару әрекеттері де бар. Бірақ егер сіз тек белгілі бір сынақтардан өтіп, оларды қатаң түрде орындасаңыз, 1 және 2 аймақтардың күнделікті кестесі күн сайын айтарлықтай өзгеруі мүмкін және механиктердің санына байланысты өзгерістер тудыруы мүмкін. Бұл жағдайда жөндеуге жататын автомобильдердің тізімін күнделікті түзету соншалықты қиын болады, сондықтан мұндай жұмыстарды арнайы тағайындалған қызметші орындауы керек. Бірақ ең басты мақсат-пайдаланудығы көліктерге техникалық дайындықпен сенімділікті қамтамасыз ету қажет. Бұл, әсіресе, қызмет көрсетілетін көліктердің тізімін уақытша (рейске шығуға бірнеше күн қалғанда) немесе күн сайын максималды жүрісі бар көліктерге арналған көліктердің белгілі бір санын анықтауға тырысатын маманға немесе жеке орындаушыға түсіндіру пайдалы болған жағдайда өте маңызды.

Айта кету керек, бұл әсіресе мұқият салынған ТК кестесін келесі деңгейге дейін сақтау үшін қажет, өйткені нормалардың өзі белгілі бір дәрежеде орташаланған, яғни салынған немесе орындалған кестені жоғарғы деңгейге дейін сақтау, жалпы техникалық қызмет көрсету шығындарының өзгеруі де біркелкі анық болады деп күтіледі. Сондықтан күнтізбелік күнге негізделген, бірақ нақты орындалған жүрістерді ескере отырып, техникалық қызмет көрсетуге назар аудару керек. Мұндай кестелер біздің елде де, шетелде де кеңінен қолданылады.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, мұндай кешенді шешімді теорияда да, практикада да негізделген деп санауға болады, мұнда өндіріс орташа тәуліктік аралықты ескере отырып құрылған кесте бойынша жүзеге асырылады.

Бұл ретте әрбір автомобиль жұмыс күндері сәйкес техникалық қызмет көрсетуге беріледі.

$$D_{TK} = \frac{L_{TK}}{L_{OЖ}}, \quad (1)$$

мұндағылар:

$L_{TK}$  – нормативті бейімделген техникалық күтім жұмысының жиілігі, км;

$L_{OЖ}$  – нақты немесе жоспарланған орташа тәуліктегі жүріс, км.

Бұл одан да ыңғайлы болады, егер техникалық күтім көрсету кестесі белгілі бір күнтізбелік кезеңдерге (апта, онкүндік, айлық) негізделген және әрбір көлік белгілі бір уақыт аралығында белгілі бір күні қызмет көрсетуге арналған болса.

Мұндай кестені құру  $D_{TK}$  – күндердегі күтілетін жиілікті анықтауды керек етеді.

$$D_{TK} = \frac{L_{TK}}{L_{OЖ} * a_u}, \quad (2)$$

мұндағы:  $a_u$  – автокөліктің нақты немесе жоспарланған орташа тәуліктегі жүріс еселігі, км.

Жоспарланған техникалық қызмет көрсету жиілігі былайша анықталады

$$L_{TK} = L_{OЖ} * D_{TK} * a_u. \quad (3)$$

$L_{OЖ}$  – нақты автокөліктің жүрісінің болжамды немесе нақты пайдалану еселігі.

Ұсынылған амал негізінде орындалған техникалық күтім көрсету кестесі ұзақ уақыт түзетілмейді. Кестенің мұндай тұрақтылығы жүргізушілер мен жөндеушілердің техникалық қызмет көрсетуге уақтылы келуін қамтамасыз етеді, ал күнделікті бағдарламаның тұрақтылығы өндірістік учаскелердегі жұмыстарды ұйымдастыруды және автомобильдерді пайдалануды жеңілдетеді. Әрине, жылжымалы құрамның әртүрлі түрлерінде және оны пайдалану жағдайында жиілік автокөліктерге әр түрлі анықталуы керек.

Өндірістік процестерді ұйымдастырудың күрделі формаларында кестені құру тәртібі түріне байланысты өзгереді. Алайда, мұндай кестеде стандарттыдан

мүлдем өзгеше автомобиль топтары үшін әр түрлі техникалық қызмет көрсету кезеңдері арасында жүруі мүмкін. Бұл ретте 2-ші техникалық күтім көрсету (ТК-2) режимінде автомобильдердің барлық топтары үшін техника бірліктерінің бір саны көзделген. Кестені құрудың жоспарланған уақыты аяқталғаннан кейін техникалық қызмет көрсетудің келесі кезеңінің күндері кестеге енгізіледі, ал кестенің өзі өзгеріссіз қалады. Жеке көлік құралдарын алу немесе ауыстыру кестенің тиісті ұяшықтарына өзгерістер енгізеді. Жаңадан келген көліктер үшін кестеде арнаулы бос ұяшықтар қарастырылған.

#### Қорытынды

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, техникалық тұрғыдан дұрыс жағдайларда көлік құралдарын пайдалануды ұйымдастыру түбегейлі реформаларды талап етеді деген қорытынды жасауға болады, өйткені мамандандырылған автосервистердің болмауы Қазақстан экономикасының дамуындағы елеулі инфрақұрылымдық шектеулерге алып келуі мүмкін. Тұрақты көлік құралдары мен уақтылы техникалық қызмет көрсету проблемасы сыни деңгейге жетеді және республикада автомобиль нарығының дамуына кедергі келтіреді.

Бүгінгі таңда Қазақстанда әлемнің басқа елдерімен бірге зияткерлік көлік жүйелерін әзірлеу және енгізу мәселелері өзекті болып қала береді. Осы бағыттағы көптеген зерттеулердің маңыздылығына қарамастан, бұл мәселе ондаған жылдар бойы өзектілігін жоғалтпайды, өйткені процесс салыстырмалы түрде күрделі.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы автокөліктерге техникалық күтімі мен (ТК) қажетті техникалық жөндеу (КТЖ) жұмыстарын жүргізу кестесін жасау негізінде автокөлік кәсіпорындарында автомобильдерге кезекті ТК және КТЖ ұйымдастыру мен жоспарлауды жетілдіруге ұсыныс дайындалған.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Доклад ЮНЕП «Навстречу «зеленой» экономике: путь к устойчивому развитию и искоренению бедности». – [Электрондық ресурс]. – URL: [http://www.unep.org/greenconomy/Portals/88/documents/ger/GER\\_synthesis\\_ru.pdf](http://www.unep.org/greenconomy/Portals/88/documents/ger/GER_synthesis_ru.pdf) / Қол жеткізу күні: 15.04.2013.

2 Попов, В. Городская мобильность: русские решения. – [Электрондық ресурс]. – URL: [http://transler.ru/articles/tehnologija/gorodskaya\\_mobilnost\\_russkie\\_resheniya.html](http://transler.ru/articles/tehnologija/gorodskaya_mobilnost_russkie_resheniya.html). Қол жеткізу күні: 15.05.2013.

3 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. – [Электрондық ресурс]. URL: [http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13008](http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008). Қол жеткізу күні: 15.04.2013.

4 Бортовой компьютер для автомобиля Suzuki. – [Электрондық ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hardtech.ru/rus/medley/bortovoj\\_kompjutjer\\_dlja\\_avtomobilja\\_suzuki.htm](http://www.hardtech.ru/rus/medley/bortovoj_kompjutjer_dlja_avtomobilja_suzuki.htm). Қол жеткізу күні: 15.04.2013.

5 EMIRAI – система управления автомобилем будущего от Mitsubishi. – [Электрондық ресурс]. – Режим доступа: <http://www.novate.ru/blogs/131211/19560>. Қол жеткізу күні: 15.04.2013.

6 **Сосин, Д. А.** Автотроника. Электронное оборудование и системы бортовой автоматизации современных легковых автомобилей: учебное пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 272 с.

7 **Намаканов, Б. В.** Прибор для оперативного контроля систем автомобиля / Б. В. Намаканов, О.А. Максименко, И. А. Абдуллаев // Автомобильная промышленность. – 1994. – Вып. 1. – С. 27–29.

8 Multitronics – URL: www.multitronics.ru. Дата обращения: 24.04.2013.

9 **Frank R.** Wireless technologies simplify wiring harness. – [Электрондық ресурсы]. – URL: www.autoelectronics.com /telematics, 24.04.2013.

10 ISO 24531:2007 Intelligent transport systems – System architecture, taxonomy and terminology – Using XML in ITS standards, data registries and data dictionaries.

11 Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Минавтотранс, РСФСР. – М.: Транспорт, 1986. – 86 с.

12 **Кузнецов, Е. С.** Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2004. – 535 с.

#### REFERENCES

1 Doklad YUNEP «Navstrechu «zelenoy» ekonomike : put' k ustoychivomu razvitiyu i iskoreneniyu bednosti» – [UNEP report «Towards a green economy: the path to sustainable development and poverty eradication»]. – [Electronic resource]. – URL: [http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/GER\\_synthesis\\_ru.pdf](http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/GER_synthesis_ru.pdf) Access date: 15.04.2013.

2 **Popov, V.** Gorodskaya mobil'nost' : russkiye resheniya. [Urban mobility : Russian solutions]. – [Electronic resource]. – URL: [http://transler.ru/articles/tehnologija/gorodskaya\\_mobilnost\\_russkie\\_resheniya.html](http://transler.ru/articles/tehnologija/gorodskaya_mobilnost_russkie_resheniya.html). Access date: 15.05.2013.

3 Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030]. – [Electronic resource]. – [URL:[http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13008](http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008)]. Access date: 15.04.2013.

4 Bortovoy komp'yuter dlya avtomobilya Suzuki [n-board computer for a Suzuki car]. – [Electronic resource]. – Access mode: [[http://www.hardtech.ru /rus/medley/bortovoj\\_kompjutjer\\_dlja\\_avtomobilja\\_suzuki.htm](http://www.hardtech.ru /rus/medley/bortovoj_kompjutjer_dlja_avtomobilja_suzuki.htm)]. Access date: 15.04.2013.

5 EMIRAI – sistema upravleniya avtomobilem budushchego ot Mitsubishi [EMIRAI - control system for the car of the future from Mitsubishi]. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.novate.ru/blogs /131211/19560>. Access date: 15.04.2013.

6 **Sosin, D. A.** Avtotronika. Elektronnoye oborudovaniye i sistemy bortovoy avtomatiki sovremennykh legkovykh avtomobiley : uchebnoye posobiye. – [Electronic equipment and on-board automation systems of modern passenger cars : a textbook.]. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 272 с.

7 **Namakanov, B. V.** Pribor dlya operativnogo kontrolya sistem avtomobilya [Device for operational monitoring of vehicle systems] / B. V. Namakanov,

О. А. Maksimenko, I. A. Abdullayev // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 1994. – Вып. 1. – С. 27–29.

8 Multitronics – [Electronic resource]. – URL: www.multitronics.ru. Дата обращения: 24.04.2013.

9 **Frank R.** Wireless technologies simplify wiring harness. URL: www.autoelectronics.com /telematics, Access date: 24.04.2013.

10 ISO 24531:2007 Intelligent transport systems – System architecture, taxonomy and terminology – Using XML in ITS standards, data registries and data dictionaries.

11 Polozheniye o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta Minavtotrans, RSFSR. [Regulations on the maintenance and repair of rolling stock of road transport. Ministry of Autotransport, RSFSR]. – Moscow : Transport, 1986. – 86 p.

12 **Kuznetsov, Y. S.** Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley : ucheb. dlya vuzov [Technical operation of automobiles: textbook. for universities] / pod red. Ye. S. Kuznetsova. – 4-ye izd., pererab. i dop. – М.: Nauka, 2004. – 535 p.

Басып шығаруға 07.12.23 қабылданды.

\***Б. А. Умарова<sup>1</sup>, Н. С. Сембаев<sup>2</sup>**

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

Принято к изданию 07.12.23.

#### ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*В последние десятилетия мировой экономики роль автомобильного транспорта в удовлетворении потребностей транспорта постоянно возрастает. Это связано не только со значительными преимуществами данного вида транспорта в отдельных отраслях экономики, но и с интенсивным развитием дорожной инфраструктуры, а также с прогрессом в конструктивном совершенствовании транспортных средств.*

*В наше время автомобиль представляет собой все более серьезную глобальную проблему, но он также является одним из величайших двигателей прогресса. Это связано со многими недостатками, например, воздействием на окружающую среду, но в то же время невозможно полностью отказаться от автомобилей как транспортных средств и помощников человека.*

*Статья посвящена совершенствованию методов технического обслуживания существующих автомобилей с целью повышения их технической готовности.*

*Научная новизна работы заключается в предложении совершенствования организации и планирования очередных технических осмотров (ТО) и текущего ремонтного обслуживания (ТРО) автомобилей на автотранспортных предприятиях на основе составления графика проведения необходимых работ по техническому обслуживанию автомобилей.*

*Предлагаемая, рассматриваемая методика построения графика вождения автотранспортных средств по ТО и ТРО позволяет обеспечить рациональное использование производственно-технической базы автотранспортных предприятий и трудовых ресурсов.*

*Ключевые слова: автомобиль, подготовка, техническое обслуживание, ремонт, эффективность, график.*

**\*B. A. Umarova<sup>1</sup>, N. S. Sembayev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Accepted for publication on 07.12.23.

## FEATURES OF THE TRUCKS ORGANIZATION OF MAINTENANCE

*In the last decades of the global economy, the role of road transport in meeting the needs of transport is constantly increasing. This is due not only to the significant advantages of this type of transport in certain sectors of the economy, but also to the rapid development of road infrastructure, as well as progress in the constructive improvement of vehicles.*

*The automobile is an ever-greater global challenge in modern times, but it is also one of the greatest engines of progress. This is due to many disadvantages, for example, the environmental impact, but at the same time, it is impossible to completely abandon cars as vehicles and human assistants.*

*The article is devoted to the improvement of maintenance techniques in order to improve the technical readiness of existing vehicles.*

*The scientific novelty of the work is the proposal to improve the organization and planning of the next TC and KTZ for cars at automobile enterprises based on the development of a schedule for carrying out the necessary technical repair of vehicles with technical maintenance.*

*The proposed, considered methodology for drawing up a schedule for driving motor vehicles TC and KTZ makes it possible to ensure the rational use of the production and technical base of motor enterprises and labor resources.*

*Keywords: car, preparation, maintenance, repair, efficiency, schedule.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Асқаров Бахтияр Шарапиденұлы**, PhD, кафедра менгерушісі, Профессор А. Н. Даниярова атындағы «Оларды Өнеркәсіптік көлік кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Асқаров Бахтияр Шарапиденович**, PhD, заведующий кафедрой «Промышленный транспорт имени профессора А. Н. Даниярова», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Askarov Bakhtiyar Sharapidenovich**, PhD, head of department «Industrial transport named after Professor A. N. Daniyarova, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahtiyar\\_askarov@mail.ru](mailto:bahtiyar_askarov@mail.ru)

**Арынгазин Капар Шакимович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Экострой-НИИПВ» ЖШС директоры, г. Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kapar47@mail.ru](mailto:kapar47@mail.ru)

**Арынгазин Капар Шакимович**, кандидат технических наук, директор ТОО «Экострой-НИИПВ, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, email: [kapar47@mail.ru](mailto:kapar47@mail.ru)

**Aryngazin Kapar**, Candidate of Technical Sciences, Director of «Ekostroy-NIIPV», Pavlodar, 140000, Kazakhstan of Republic, e-mail: [kapar47@mail.ru](mailto:kapar47@mail.ru)

**Аян Рустем**, техника және технология бакалавры, ТОО «ДСК GLB», Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [astanchanin\\_kz@mail.ru](mailto:astanchanin_kz@mail.ru)

**Аян Рустем**, Бакалавр техники и технологий, ТОО «ДСК GLB», Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [astanchanin\\_kz@mail.ru](mailto:astanchanin_kz@mail.ru)

**Ayap Rustem**, Bachelor of Engineering and Technology, LLP «ДСК GLB», Astana, 010000, Kazakhstan Republic, e-mail: [astanchanin\\_kz@mail.ru](mailto:astanchanin_kz@mail.ru)

**Абзалова Диларам Абдурасиловна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dilya0158@mail.ru](mailto:dilya0158@mail.ru)

**Абзалова Диларам Абдурасиловна**, кандидат технических наук, доцент, факультет «Механика и нефтегазовое дело», «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [dilya0158@mail.ru](mailto:dilya0158@mail.ru)

**Abzalowa Dilaram Abdurasulowna**, Kandidat der technischen Wissenschaften, außerordentlicher Professor, Fakultät «Mechanik und Öl- und Gastechnik», GNAG «South Kazakhstan University named after M. Auezov», Schymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dilya0158@mail.ru](mailto:dilya0158@mail.ru)

**Аббас Вахид Даххам**, докторант 3 курс, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abbas.dahham2015@gmail.com](mailto:abbas.dahham2015@gmail.com)

**Аббас Вахид Даххам**, докторант 3 курса, кафедра «Машиностроение и стандартизация», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [abbas.dahham2015@gmail.com](mailto:abbas.dahham2015@gmail.com)

**Abbas Waheed Dahham**, 3rd year doctoral student, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abbas.dahham2015@gmail.com](mailto:abbas.dahham2015@gmail.com)

**Абилберікова Айгерім Аманқосқызы**, магистр, аға оқытушы, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abilberikova90@mail.ru](mailto:abilberikova90@mail.ru)

**Абилберікова Айгерім Аманқосқызы**, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [abilberikova90@mail.ru](mailto:abilberikova90@mail.ru)

**Abilberikova Aigerim Amangoskyzy**, Master, Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abilberikova90@mail.ru](mailto:abilberikova90@mail.ru)

**Ашкеев Жасулан Аманжолович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Ашкеев Жасулан Аманжолович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Ashkeyev Zhassulan Amanzholovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technological Machines and Transport, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [jashkeev@mail.ru](mailto:jashkeev@mail.ru)

**Абишкенов Максат Жарылгасынович**, ғылыми қызметкер, аға оқытушы, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Абишкенов Максат Жарылгасынович**, научный сотрудник, ст. преподаватель, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Abishkenov Maxat Zharylgasynovich**, Researcher, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Technological Machines and Transport, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [maks91.kz@inbox.ru](mailto:maks91.kz@inbox.ru)

**Ахметова Гульжайнат Есенжоловна**, PhD, доцент, Metallургия және машина жасау факультеті, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [agulzhajnat@bk.ru](mailto:agulzhajnat@bk.ru)

**Ахметова Гульжайнат Есенжоловна**, PhD, доцент, Факультет металлургии, и машиностроения, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [agulzhajnat@bk.ru](mailto:agulzhajnat@bk.ru)

**Akhetova Gulzhaynat Yesenzholovna**, PhD, Associate Professor, Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [agulzhajnat@bk.ru](mailto:agulzhajnat@bk.ru)

**Акишев Каршыга Максұтович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Kazakh University of Technology and Business, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Akmail04cx@mail.ru](mailto:Akmail04cx@mail.ru)

**Акишев Каршыга Максұтович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Akmail04cx@mail.ru](mailto:Akmail04cx@mail.ru)

**Akisher Karshyga**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Kazakhstan Republic, e-mail: [Akmail04cx@mail.ru](mailto:Akmail04cx@mail.ru)

**Аманкелдықызы Анар Мухаметжанова**, PhD, докторант, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚРМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [narike.91@mail.ru](mailto:narike.91@mail.ru)

**Аманкелдықызы Анар Мухаметжанова**, PhD, докторант, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [narike.91@mail.ru](mailto:narike.91@mail.ru)

**Amankeldykyzy Anar Mukhametzhanova**, PhD, doctoral student, RSE at the «National Center on Complex Processing Materials», Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan, e-mail: [narike.91@mail.ru](mailto:narike.91@mail.ru)

**Әбішев Қайратолла Қайроллаұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, декан, Инженерлік факультеті, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abishev.k@tou.edu.kz](mailto:abishev.k@tou.edu.kz)

**Абишев Қайратолла Қайроллинович**, кандидат технических наук, доцент, декан, профессор, кафедра Транспортная техника и логистика, Факультет Инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [abishev.k@tou.edu.kz](mailto:abishev.k@tou.edu.kz)

**Abishev Kairatolla Kayrollinovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport Engineering and Logistics, Engineering Faculty, Toraihyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abishev.k@tou.edu.kz](mailto:abishev.k@tou.edu.kz)

**Әбілмәжінов Ермек Төлегенович**, PhD, профессор, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [eras71@mail.ru](mailto:eras71@mail.ru)

**Абилямжинов Ермек Төлегенович**, PhD, профессор, Инженерно-технологический факультет, Университет имени Шакарима г. Семей, г. Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [eras71@mail.ru](mailto:eras71@mail.ru)

**Abilmazhinov Yermek Tolegenovich**, PhD, professor, Engineering-Technological Faculty, Shakarim University of Semey, Semey, 071400, Kazakhstan Republic, e-mail: [eras71@mail.ru](mailto:eras71@mail.ru)

**Әбдірашит Асылбек Мірамханұлы**, «Қара және түсті металдар металлургия» ББ докторанты, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.abdirashit@tttu.edu.kz](mailto:a.abdirashit@tttu.edu.kz)

**Әбдірашит Асылбек Мірамханұлы**, докторант ОО, «Металлургия черных и цветных металлов» кафедра «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [a.abdirashit@tttu.edu.kz](mailto:a.abdirashit@tttu.edu.kz)

**Abdirashit Asylbek Miramkhanuly**, doctoral student EP, «Metallurgy of Ferrous and Non-Ferrous Metals», Department «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.abdirashit@tttu.edu.kz](mailto:a.abdirashit@tttu.edu.kz)

**Әлімжанова Алия Марғұланқызы**, PhD, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚ РМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aliyuchca@mail.ru](mailto:aliyuchca@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темірғалиұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор А. Н. Данияров атындағы «Өнеркәсіптік көлік» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [baalabaev.ot@mail.ru](mailto:baalabaev.ot@mail.ru)

**Байжарикова Марина**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Marina.2288@mail.ru](mailto:Marina.2288@mail.ru)

**Берг Александра Сергеевна**, докторант, «Машина жасау» білім беру бағдарламасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru)

**Берг Андрей Алексеевич**, докторант, «Машина жасау» білім беру бағдарламасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru)

**Алимжанова Алия Марғұлановна**, PhD, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [aliyuchca@mail.ru](mailto:aliyuchca@mail.ru)

**Балабаев Оюм Темірғалиевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Промышленный транспорт имени профессора А. Н. Даниярова», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Байжарикова Марина**, техника ғылымдарының кандидаты, и.о. доцент, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: [Marina.2288@mail.ru](mailto:Marina.2288@mail.ru)

**Берг Александра Сергеевна**, докторант ОО «Машиностроение» Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru)

**Берг Андрей Алексеевич**, докторант ОО «Машиностроение» Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru)

**Алімжанова Алія Марғұлановна**, PhD, RSE at the «National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan», Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aliyuchca@mail.ru](mailto:aliyuchca@mail.ru)

**Balabaev Oyum Temirgalievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Industrial Transport named after Professor A. N. Daniyarov», Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [balabaev.ot@mail.ru](mailto:balabaev.ot@mail.ru)

**Baizharikova Marina**, Candidate of Technical Sciences, acting Associate Professor, M. H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, 080000, Kazakhstan Republic, e-mail: [Marina.2288@mail.ru](mailto:Marina.2288@mail.ru)

**Berg Alexandra Sergeevna**, doctoral student EP «Mechanical Engineering», Abylka Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kibeko\\_1995@mail.ru](mailto:kibeko_1995@mail.ru)

**Berg Andrey Alexeevich**, doctoral student EP «Mechanical Engineering», Abylka Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [22526633@mail.ru](mailto:22526633@mail.ru)

**Базенов Габит Максұтович**, PhD, докторант, «машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Басем Рахим Казем**, докторант, 3 курс, ғылым факультеті, физика кафедрасы, Әл-Мустансирия университеті, Бағдад қ., 10011, Ирак Республикасы, e-mail: [basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq](mailto:basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq)

**Баева Асель Бакытовна**, «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК, Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана ҚР ДСМ КЭК, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

**Байсанов Алибек Сайлаубайұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор «Пирометаллургиялық үрдістер» зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alibekbaisanov@mail.ru](mailto:alibekbaisanov@mail.ru)

**Богомолов Алексей Витальевич**, техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Базенов Габит Максұтович**, PhD, докторант, кафедра «Машиностроения и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

**Басем Рахим Казем**, докторант, 3 курс, Научный факультет, кафедра физики, университет Аль-Мустансирия, г. Багдад, 10011, Республика Ирак, e-mail: [basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq](mailto:basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq)

**Баева Асель Бакытовна**, ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы», Санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

**Байсанов Алибек Сайлаубаевич**, кандидат технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Пирометаллургических процессов», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [alibekbaisanov@mail.ru](mailto:alibekbaisanov@mail.ru)

**Богомолов Алексей Витальевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Bazhenov Gabit Maksutovich**, PhD, doctoral student, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

**Basem Raheem Kazem**, doctoral student, 3rd year, College of Science, Department of Physics, Al-Mustansiriya University, Baghdad, 10011, Republic of Iraq, e-mail: [basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq](mailto:basemraheem@uomustansiriyah.edu.iq)

**Bayeva Assel**, RGF on PCB «National Centre for Expertise», Sanitary-Hygienic Laboratory in Pavlodar Region SCEC MH RK, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

**Baisanov Alibek Sailaubaevich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of «Pyrometallurgical Processes», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alibekbaisanov@mail.ru](mailto:alibekbaisanov@mail.ru)

**Bogomolov Alexey**, Candidate of Engineering Science, Professor, Metallurgy department, Faculty of Engineering, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)



**Быков Петр Олегович**, техникалық ғылымдар кандидаты, Академиялық мәселелер жөніндегі басқарма мүшесі-проректор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bykov\\_petr@mail.ru](mailto:bykov_petr@mail.ru)

**Байсанов Сайлаубай Омарович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Ж. Абишев атындағы химико-металлургиялық институтының директоры, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [hmi2009@mail.ru](mailto:hmi2009@mail.ru)

**Бекбаева Ләззәт Ақылбайқызы**, докторант, «Металлургия» оқу бағдарламасы бойынша, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [lyazzat.bekbayeva@mail.ru](mailto:lyazzat.bekbayeva@mail.ru), 0000-0003-2543-6380

**Ғабдысалық Риза**, PhD, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: [riza.gabdyssalyk@mail.ru](mailto:riza.gabdyssalyk@mail.ru)

**Галиновский Андрей Леонидович**, бас ғылыми қызметкері, техника ғылымдарының докторы, профессор, СМ-12 «Зымырандық-ғарыштық техника технологиялары» кафедрасы, Н. Е. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік

**Быков Петр Олегович**, кандидат технических наук, Член правления по академическим вопросам-проректор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bykov\\_petr@mail.ru](mailto:bykov_petr@mail.ru)

**Байсанов Сайлаубай Омарович**, доктор технических наук, профессор, директор Химико-металлургического института имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [hmi2009@mail.ru](mailto:hmi2009@mail.ru)

**Бекбаева Ләззәт Ақылбайқызы**, докторант, ОО «Металлургия», Машиностроительный факультет, Карагандинский Технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [lyazzat.bekbayeva@mail.ru](mailto:lyazzat.bekbayeva@mail.ru), 0000-0003-2543-6380

**Ғабдысалық Риза**, PhD, ассоц. профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: [riza.gabdyssalyk@mail.ru](mailto:riza.gabdyssalyk@mail.ru)

**Галиновский Андрей Леонидович**, главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, кафедра СМ-12 «Технологии Ракетно-Космического Машиностроения», Московский государственный технический университет

**Bykov Petr**, Candidate of Engineering Science, Member of the Board for Academic Affairs - Vice-Rector, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bykov\\_petr@mail.ru](mailto:bykov_petr@mail.ru)

**Baisanov Sailaubay Omarovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [hmi2009@mail.ru](mailto:hmi2009@mail.ru)

**Bekbayeva Lazzat**, doctoral student EP, «Metallurgy», Faculty of Mechanical, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Engineering, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [lyazzat.bekbayeva@mail.ru](mailto:lyazzat.bekbayeva@mail.ru), 0000-0003-2543-6380

**Gabdysalyk Riza**, PhD, associate professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: [riza.gabdyssalyk@mail.ru](mailto:riza.gabdyssalyk@mail.ru)

**Galinsky Andrey Leonidovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department SM-12 «Rocket and Space Engineering Technologies», Chief Researcher, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, Moscow, 105005,

техникалық университеті, Мәскеу қ., 105005, Ресей Федерациясы, e-mail: [a\\_galinovskiy@bmstu.ru](mailto:a_galinovskiy@bmstu.ru)

**Доненбаев Бақытжан Серікович**, постдокторант, PhD, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Дүкенбаев Дамир Қайратович**, техника ғылымдарының магистрі, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қаласының Шөкәрім атындағы университеті, Семей қ. 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [da\\_mir.1991@mail.ru](mailto:da_mir.1991@mail.ru)

**Досмақанбетова Айбарша Абилқасымовна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kalmurat.2002@mail.ru](mailto:kalmurat.2002@mail.ru)

**Есенғалиев Даурен Амангелдіевич**, PhD, доцент, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

имени Н. Э., г. Москва, 105005, Российская Федерация, e-mail: [a\\_galinovskiy@bmstu.ru](mailto:a_galinovskiy@bmstu.ru)

**Доненбаев Бақытжан Серікович**, доктор PhD, постдокторант, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Дүкенбаев Дамир Қайратович**, магистр технических наук, университет имени Шакарима г.Семей, Инженерно-технологический факультет, Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [da\\_mir.1991@mail.ru](mailto:da_mir.1991@mail.ru)

**Досмақанбетова Айбарша Абилқасымовна**, кандидат технических наук, доцент, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [kalmurat.2002@mail.ru](mailto:kalmurat.2002@mail.ru)

**Есенғалиев Даурен Амангелдіевич**, PhD, доцент, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

Russian Federation e-mail: [a\\_galinovskiy@bmstu.ru](mailto:a_galinovskiy@bmstu.ru)

**Donenbaev Bakhytzhан Serikovich**, PhD, postdoctoral fellow, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahytshan09@mail.ru](mailto:bahytshan09@mail.ru)

**Dukenbayev Damir Kairatovich**, Master of Technical Sciences, Shakarim University of Semey, The engineering - technological faculty, Semey, 071400, Kazakhstan Republic, e-mail: [da\\_mir.1991@mail.ru](mailto:da_mir.1991@mail.ru)

**Dosmakanbetova Aybarsha Abilkasymowna**, Kandidat der technischen Wissenschaften, außerordentlicher Professor, Fakultät «Mechanik und Öl- und Gastechnik», GNAG M. Auesow South Kazakhstan University, Schymkent, 160000, Republik Kasachstan, e-mail: [kalmurat.2002@mail.ru](mailto:kalmurat.2002@mail.ru)

**Yessengaliyev Dauren Amangeldievich**, PhD, Associate Professor, Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dauralga@mail.ru](mailto:dauralga@mail.ru)

**Есиркепова Айым Бақытбековна**, PhD, постдокторант, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru)

**Есаулов 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)

**Жақан Армат Медетұлы**, Инженер, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдісі» зертханасы Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанда қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Жунусов Аблай Каиртасович**, техникалық ғылымдар кандидаты, «Металлургия» кафедрасының меңгерушісі, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Жакунов Алибек Ныгматуллович**, PhD, постдокторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Есиркепова Айым Бақытбековна**, PhD, постдокторант, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru)

**Есаулов Валерий Сергеевич**, магистр Инженерии, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com)

**Жақан Армат Медетұлы**, Инженер, Лаборатория «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Жунусов Аблай Каиртасович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Металлургия» Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Жакунов Алибек Ныгматуллович**, PhD, постдокторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Esirkepova Ayim Bakytbekovna**, PhD, postdoctoral fellow, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bopany@mail.ru](mailto:bopany@mail.ru)

**Yessaulkov Valeriy**, Master of Engineering, Lecturer, Department of Transport Equipment and Logistic, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [yessaulkov.val@gmail.com](mailto:yessaulkov.val@gmail.com)

**Zhakan Armat Medetuly**, Engineer for the laboratory of «Ferroalloys and recovery processes», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [armat.01.01@mail.ru](mailto:armat.01.01@mail.ru)

**Zhunussov Ablay**, Cand. of Eng., Head of Metallurgy department, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Zhakupov Alibek Nygmatullovich**, PhD, Postdoctoral student, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alibek\\_j85@mail.ru](mailto:alibek_j85@mail.ru)

**Жакупова Арай Төлепбергеновна**, PhD, постдокторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жумағалиев Ерлан Уланович**, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі, К. Жубанов атындағы университеті, Ақтобе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [erlan\\_zhumagaliev@mail.ru](mailto:erlan_zhumagaliev@mail.ru)

**Имашева Кулжан Имашевна**, техника ғылымдары магистрі, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [imasheva-gulzhan@mail.ru](mailto:imasheva-gulzhan@mail.ru)

**Ибрагимова Зауре Асилбековна**, PhD, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Итыбаева Галия Тулеубаевна**, Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, меңгеруші, Инженерия факультеті, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Жакупова Арай Төлепбергеновна**, PhD, постдокторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Жумағалиев Ерлан Уланович**, кандидат технических наук, Заведующий кафедры «Металлургии и горного дела», Университет имени К. Жубанова, г. Ақтобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [erlan\\_zhumagaliev@mail.ru](mailto:erlan_zhumagaliev@mail.ru)

**Имашева Кулжан Имашевна**, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [imasheva-gulzhan@mail.ru](mailto:imasheva-gulzhan@mail.ru)

**Ибрагимова Зауре Асилбековна**, PhD, доцент, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Итыбаева Галия Тулеубаевна**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, заведующий кафедрой «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Zhakupova Aray Tolepbergenovna**, PhD, Postdoctoral student, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aray\\_zhakupova86@mail.ru](mailto:aray_zhakupova86@mail.ru)

**Zhumagaliev Yerlan Ulanovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department «Metallurgy and mining», University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [erlan\\_zhumagaliev@mail.ru](mailto:erlan_zhumagaliev@mail.ru)

**Imasheva Kulzhan Imashevna**, Master of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [imasheva-gulzhan@mail.ru](mailto:imasheva-gulzhan@mail.ru)

**Ibragimova Saure Assilbekovna**, PhD, außerordentlicher Professor Kandidat der technischen Wissenschaften, außerordentlicher Professor, Fakultät «Mechanik und Öl- und Gastechnik, GNAG M. Auesow South Kazakhstan University, Schymkent, 160000, Republik Kasachstan, e-mail: [zaure\\_1983\\_as@mail.ru](mailto:zaure_1983_as@mail.ru)

**Itybayeva Galiya Tuleubaeva**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of engineering, Head of the Department of Mechanical engineering and standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [galia-itibaeva@mail.ru](mailto:galia-itibaeva@mail.ru)

**Курбанбаева Сауле Науайевна**, аға оқытушы, «Ақпараттық технологиялар және Энергетика» жоғары мектебі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [saule\\_kurban@mail.ru](mailto:saule_kurban@mail.ru)

**Қасенов Асылбек Жұмабекұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерлік факультеті, Торайғыров атындағы университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:Asylbek_kasenov@mail.ru)

**Қойайдаров Борман Абайұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және машина жасау» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080019, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Карсакова Нургул Жолаевна**, техника ғылымдары магистрі, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Республикасы, e-mail: [karsakova-87@mail.ru](mailto:karsakova-87@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Техникалық факультет, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Курбанбаева Сауле Науайевна**, ст. преподаватель, Факультет Информационные технологии и Энергетика, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [saule\\_kurban@mail.ru](mailto:saule_kurban@mail.ru)

**Касенов Асылбек Жумабекович**, кандидат технических наук, доцент, профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [Asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:Asylbek_kasenov@mail.ru)

**Койайдаров Борман Абаевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Механики и машиностроения», Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080019, Республика Казахстан, e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Карсакова Нургул Жолаевна**, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан e-mail: [karsakova-87@mail.ru](mailto:karsakova-87@mail.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Ақтөбе қ., 030000, Республика Казахстан, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Kurbanbajewa Saule Nauayewna**, Oberlehrerin, HS «Informationstechnologien und Energiewirtschaft», GNAG «M. Auesow South Kazakhstan University» Schymkent, 160000, Republik Kasachstan, e-mail: [saule\\_kurban@mail.ru](mailto:saule_kurban@mail.ru)

**Kasenov Asylbek Zhumabekovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Engineering Faculty, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:Asylbek_kasenov@mail.ru)

**Koiaidarov Bortan Abaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanics and Mechanical Engineering, M. H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, 080019, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

**Karsakova Nurgul Zholaевна**, Master of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: [karsakova-87@mail.ru](mailto:karsakova-87@mail.ru)

**Kelamanov Bauyrzhan Satybaldyuly**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Каменов Алмат Айтасович**, докторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almatkame@gmail.com](mailto:almatkame@gmail.com)

**Камаров Аман Уахитович**, докторант, аға оқытушы, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Конкыбаева Арайлым Ниязбековна**, «Көлік, техникасы және технологиясы» мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Arai\\_janaarka@mail.ru](mailto:Arai_janaarka@mail.ru)

**Молдабаев Бауржан Гылымович**, докторант, «Көліктік техника және логистикалық жүйелер» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [baurmoldabaev62@mail.ru](mailto:baurmoldabaev62@mail.ru)

**Макашева Астра Мундуковна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Нанотехнология және металлургия» кафедрасы, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [astra\\_mun@mail.ru](mailto:astra_mun@mail.ru) 0000-0003-2249-3435

**Каменов Алмат Айтасович**, докторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [almatkame@gmail.com](mailto:almatkame@gmail.com)

**Камаров Аман Уахитович**, докторант, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Конкыбаева Арайлым Ниязбековна**, докторант специальности «Транспорт, транспортная техника и технология», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [Arai\\_janaarka@mail.ru](mailto:Arai_janaarka@mail.ru)

**Молдабаев Бауржан Гылымович**, докторант, кафедра «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [baurmoldabaev62@mail.ru](mailto:baurmoldabaev62@mail.ru)

**Макашева Астра Мундуковна**, кандидат технических наук, профессор, «Нанотехнологиялар және металлургия» кафедрасы, Машиностроительный факультет, Карагандинский Технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [astra\\_mun@mail.ru](mailto:astra_mun@mail.ru) 0000-0003-2249-3435

**Kamenov Almat**, doctoral student, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almatkame@gmail.com](mailto:almatkame@gmail.com)

**Kamarov Aman Uakhitovich**, doctoral student, senior lecturer Department of Metallurgy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kamarov\\_aman@mail.ru](mailto:kamarov_aman@mail.ru)

**Konkybayeva Arailym Niyazbekovna**, doctoral student in «Transport, Transport Equipment and Technology», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Arai\\_janaarka@mail.ru](mailto:Arai_janaarka@mail.ru)

**Moldabaev Baurzhan Gylmovich**, doctoral student, Department «Transport Engineering and Logistic Systems, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [baurmoldabaev62@mail.ru](mailto:baurmoldabaev62@mail.ru)

**Makasheva Astra**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Nanotechnology and Metallurgy, Faculty of Mechanical, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Engineering, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [astra\\_mun@mail.ru](mailto:astra_mun@mail.ru) 0000-0003-2249-3435

**Мырзағалиев Айбар Асқарұлы**, металлургия магистрі, I категориялық инженер-технологы, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инжинирингтік орталығының металлургия зертханасының Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz)

**Муканова Айсәуле Айдарқызы**, 7M07203 «Металлургия» ББ магистранты, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ais\\_mukan@mail.ru](mailto:ais_mukan@mail.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, PhD, «Феррокорытпалар және тотықсыздандыру үрдісі» зертханасының меңгерушісі, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанда қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Мыңжасар Есмұрат Аманғалиұлы**, «Қара және түсті металдар металлургия» ББ докторанты, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ye.myngzhassar@gmail.com](mailto:ye.myngzhassar@gmail.com)

**Мырзағалиев Айбар Асқарұлы**, магистр металлургии, Инженер-технолог I категории, Лаборатория металлургии ТОО Научно-исследовательского инжинирингового центра ERG, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz)

**Муканова Айсәуле Айдаровна**, магистрант ОО 7M07203 «Металлургия», кафедра «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [ais\\_mukan@mail.ru](mailto:ais_mukan@mail.ru)

**Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы**, PhD, заведующий Лабораторий «Ферросплавов и процессов восстановления», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Мыңжасар Есмұрат Аманғалиұлы**, докторант ОО «Металлургия черных и цветных металлов» кафедрасы «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Теміртау, 1014000, Республика Казахстан, e-mail: [ye.myngzhassar@gmail.com](mailto:ye.myngzhassar@gmail.com)

**Myrzagaliyev Aibar Askaruly**, Master of metallurgy, I-category process engineer of Laboratory of Metallurgy Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz](mailto:Aibar.Myrzagaliyev@erg.kz)

**Mukanova Aisaula Aidarovna**, undergraduate, EP, 7M07203 «Metallurgy», Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ais\\_mukan@mail.ru](mailto:ais_mukan@mail.ru)

**Makhambetov Yerbolat Nysanaluly**, PhD, Head of the Laboratory «Ferroalloys and Recovery Processes», Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [makhambetovyerbolat@gmail.com](mailto:makhambetovyerbolat@gmail.com)

**Myngzhasar Esmurat Amangaliuly**, doctoral student EP, «Metallurgy of ferrous and non-ferrous metals», Department «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 1014000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ye.myngzhassar@gmail.com](mailto:ye.myngzhassar@gmail.com)

**Мышенков Константин Сергеевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Н. Е. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу қ., 105005, Ресей Федерациясы, e-mail: [Myshenkov@yandex.ru](mailto:Myshenkov@yandex.ru)

**Маркова Светлана Юрьевна**, аға оқытушы, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, «Инженерия» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Нуркимбаев Сағыныш Маратович**, докторант, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Насад Татьяна Геннадиевна**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Машинажасау технологиясы» кафедрасының меңгерушісі, Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов қ., Ресей Федерациясы, e-mail: [tnas@mail.ru](mailto:tnas@mail.ru)

**Нуржанов Адильхан Арсланбекович**, 7M07203 «Металлургия» ББ магистранты, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Техникалық факультет, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [adilhan2013@inbox.ru](mailto:adilhan2013@inbox.ru)

**Мышенков Константин**, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва, 105005, Российская Федерация, e-mail: [Myshenkov@yandex.ru](mailto:Myshenkov@yandex.ru)

**Маркова Светлана Юрьевна**, ст. преподаватель, кафедра «машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан,

**Нуркимбаев Сағыныш Маратович**, докторант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Насад Татьяна Геннадиевна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина, г. Саратов, Российская Федерация, e-mail: [tnas@mail.ru](mailto:tnas@mail.ru)

**Нуржанов Адильхан Арсланбекович**, магистрант, ОО 7M07203 «Металлургия и горное дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [adilhan2013@inbox.ru](mailto:adilhan2013@inbox.ru)

**Myshenkov Konstantin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Myshenkov@yandex.ru](mailto:Myshenkov@yandex.ru)

**Markova Svetlana Yurievna**, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

**Nurkimbayev Sagynysh Maratovich**, doctoral student, Department «Mechanical Engineering and Standardization», Faculty of engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nursagynysh@mail.ru](mailto:nursagynysh@mail.ru)

**Nasad Tatyana Gennadiyevna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Saratov State Technical University. Yu. A. Gagarin, Saratov, Russian Federation, e-mail: [tnas@mail.ru](mailto:tnas@mail.ru)

**Nurzhanov Adilkhan Arslanbekovich**, undergraduate student, EP, 7M07203 «Metallurgy» of the Department of Metallurgy and Mining, Technical Faculty, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [adilhan2013@inbox.ru](mailto:adilhan2013@inbox.ru)

**Нурғали Нуржан Зулхарнайұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС ERG Пирометаллургия бөлімінің менеджері, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Nurzhan.Nurgali@erg.kz](mailto:Nurzhan.Nurgali@erg.kz)

**Ногаев Кайрош Абилович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [k.nogayev@tttu.edu.kz](mailto:k.nogayev@tttu.edu.kz)

**Окимбаева Асель Еркиновна**, техника ғылымдары магистрі, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [erkinovna89@mail.ru](mailto:erkinovna89@mail.ru)

**Омаров Рахат Қайратұлы**, Мж 302 тобы, студент, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, «Инженерия» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [omarovrahat20@gmail.com](mailto:omarovrahat20@gmail.com)

**Рожков Александр Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, м.а. доценті, «Профессор А. Н. Данияров атындағы өндірістік көлік» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Нурғали Нуржан Зулхарнайұлы**, Кандидат технических наук, менеджер по пирометаллургии, ТОО Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Nurzhan.Nurgali@erg.kz](mailto:Nurzhan.Nurgali@erg.kz)

**Ногаев Кайрош Абилович**, кандидат технических наук, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [k.nogayev@tttu.edu.kz](mailto:k.nogayev@tttu.edu.kz)

**Окимбаева Асель Еркиновна**, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [erkinovna89@mail.ru](mailto:erkinovna89@mail.ru)

**Омаров Рахат Қайратович**, студент, гр Мс302, кафедра Машиностроение и стандартизация, Факультет Инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [omarovrahat20@gmail.com](mailto:omarovrahat20@gmail.com)

**Рожков Александр Владимирович**, кандидат технических наук, и.о. доцента, кафедра «Промышленный транспорт имени профессора А. Н. Даниярова», Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Nurgali Nurzhan Zulkharнайұлы**, Candidate of Technical Sciences, Pyrometallurgy manager of Metallurgy LTD Scientific Engineering Center of ERG, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Nurzhan.Nurgali@erg.kz](mailto:Nurzhan.Nurgali@erg.kz)

**Nogaev Kayrosh Abilovich**, Candidate of Technical Sciences Department of Technological Machines and Transport, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [k.nogayev@tttu.edu.kz](mailto:k.nogayev@tttu.edu.kz)

**Okimbayeva Asel Erkinovna**, Master of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [erkinovna89@mail.ru](mailto:erkinovna89@mail.ru)

**Omarov Rakhat Kairatovich**, student, group Ms302, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [omarovrahat20@gmail.com](mailto:omarovrahat20@gmail.com)

**Rozhkov Alexander Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, acting Associate Professor, Department of Industrial Transport named after A. N. Daniyarov, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alexktpm@mail.ru](mailto:alexktpm@mail.ru)

**Рахымтай Нурсая Нурғалиқызы**, аға оқытушы, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [saya\\_rakhumtay@mail.ru](mailto:saya_rakhumtay@mail.ru)

**Сембаев Нурболат Сақенович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bulbul186@mail.ru](mailto:bulbul186@mail.ru)

**Советбаев Раул Аянович**, докторант, «Машина жасау өндірісін цифрландыру» мамандығы, Қ. И. Сәтбаев атындағы Ұлттық ғылыми-зерттеу университеті, Энергетика және машина жасау институты, г. Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Сахыбаев Рәтбек Телғараұлы**, докторант, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080019, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Сәпинов 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)

**Рахымтай Нурсая Нурғалиқызы**, ст. преподаватель, Южно-Казахстанский университет, имени М. Ауэзова, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: [saya\\_rakhumtay@mail.ru](mailto:saya_rakhumtay@mail.ru)

**Сембаев Нурболат Сақенович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [saule\\_K@mail.ru](mailto:saule_K@mail.ru)

**Советбаев Раул Аянович**, докторант, специальность Ц и ф р о в и з а ц и я машиностроительного производства», Казахский Национальный научно-исследовательский университет имени К. И. Сәтбаева, Институт энергетика и машиностроения, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Сахыбаев Рәтбек Телғараевич**, докторант, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080019, Республика Казахстан, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Сәпинов 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)

**Rachymtay Nursaya Nurgalikysy**, Oberlehrerin, Fakultät «Mechanik und Öl- und Gastechnik», GNAG «M. Auesow South Kazakhstan University» Schymkent, 160000, Republik Kasachstan, e-mail: [saya\\_rakhumtay@mail.ru](mailto:saya_rakhumtay@mail.ru)

**Sembayev Nurbolat Sakenovich**, Candidate of Technical Sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [saule\\_K@mail.ru](mailto:saule_K@mail.ru)

**Sovetbayev Rail Ayanovich**, doctoral student in «Digitalization of machine-building production», Institute of Energy and Mechanical Engineering, K. I. Satbayev Kazakh National Research University, Almaty, 050013, Kazakhstan Republic, e-mail: [rsovetbayev@mail.ru](mailto:rsovetbayev@mail.ru)

**Sakhybayev Ratbek Telgaraevich**, doctoral student, M. H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, 080019 Republic of Kazakhstan, e-mail: [Sakhybayev@mail.ru](mailto:Sakhybayev@mail.ru)

**Sapinov Ruslan Viktorovich**, PhD, associate professor, F Department of «Mechanical Engineering and Standardization», aculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslan.sapinov@mail.ru](mailto:ruslan.sapinov@mail.ru)

**Суюндиков Мерхат Мадениевич**, техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [suyundikovm@mail.ru](mailto:suyundikovm@mail.ru)

**Сахова Бану Тілеубергенқызы**, PhD, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚРМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [banu\\_st@mail.ru](mailto:banu_st@mail.ru)

**Сладковский Александр**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Силезия техникалық университеті, Катовице қ., Польша, e-mail: [aleksander.sladkowski@polsl.pl](mailto:aleksander.sladkowski@polsl.pl)

**Терлікбаева Алма Жолдасқызы**, техника ғылымдарының докторы, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы ШЖҚРМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alma\\_terlikbaeva@mail.ru](mailto:alma_terlikbaeva@mail.ru)

**Туысхан Курметбек**, докторант, «Инженериядағы Нанотехнологиялар» мамандығы, Metallurgy және машина жасау факультеті, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kura\\_tuyskhan@mail.ru](mailto:kura_tuyskhan@mail.ru)

**Суюндиков Мерхат Мадениевич**, кандидат технических наук, профессор кафедра «Металлургия» Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [suyundikovm@mail.ru](mailto:suyundikovm@mail.ru)

**Сахова Бану Тілеубергеновна**, PhD, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [banu\\_st@mail.ru](mailto:banu_st@mail.ru)

**Сладковский Александр**, доктор технических наук, профессор, Силезский технический университет, г. Катовице, Польша, e-mail: [aleksander.sladkowski@polsl.pl](mailto:aleksander.sladkowski@polsl.pl)

**Терликбаева Алма Жолдасовна**, доктор технических наук, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья, Республики Казахстан», г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [alma\\_terlikbaeva@mail.ru](mailto:alma_terlikbaeva@mail.ru)

**Туысхан Курметбек**, докторант, специальность «Нанотехнологии в инженерии», Факультет металлургии и машиностроения, Карагандинский индустриальный университет, г. Теміртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [kura\\_tuyskhan@mail.ru](mailto:kura_tuyskhan@mail.ru)

**Suyundikov Merhat**, Candidate of Engineering, Professor, Department of Metallurgy, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [suyundikovm@mail.ru](mailto:suyundikovm@mail.ru)

**Sakhova Banu Tileubergenovna**, PhD, RSE at the National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan, e-mail: [banu\\_st@mail.ru](mailto:banu_st@mail.ru)

**Sladkowski Aleksander**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Technical Sciences, Silesian University of Technology Katowice, Poland, e-mail: [aleksander.sladkowski@polsl.pl](mailto:aleksander.sladkowski@polsl.pl)

**Terlikbaeva Alma Zholdasovna**, Doctor of Technical Sciences, RSE at the National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alma\\_terlikbaeva@mail.ru](mailto:alma_terlikbaeva@mail.ru)

**Tuyskhan Kurmetbek**, doctoral student in «Nanotechnology in Engineering», Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kura\\_tuyskhan@mail.ru](mailto:kura_tuyskhan@mail.ru)

**Умарова Булбул Аскарровна**, докторант, «Көлік, көлік техникасы және технологиялар» мамандығы, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bulbul186@mail.ru](mailto:bulbul186@mail.ru)

**Ульева Гульнара Анатольевна**, техника ғылымдарының кандидаты, Металтану және дефектоскопия зертханасының аналитикалық бақылау орталығының жетекші маманы, «АрселорМиттал Теміртау» АҚ, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [g.ulyeva@mail.ru](mailto:g.ulyeva@mail.ru)

**Ұлмаганбетов Нұрсұлтан Асқарұлы**, металлургия магистрі, I категориялық инженер-технологы, ЖШС ERG Ғылыми зерттеу инженерингтік орталығының металлургия зертханасы, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Хайбуллин Рашид Равильевич**, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, «Профессор А. Н. Данияров атындағы өндірістік көлік» кафедрасы, Абылкас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Умарова Булбул Аскарровна**, докторант специальность «Транспорт, транспортная техника и технологии», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bulbul186@mail.ru](mailto:bulbul186@mail.ru)

**Ульева Гульнара Анатольевна**, кандидат технических наук, ведущий специалист Центра аналитического контроля лаборатории металловедения и дефектоскопии, АО «АрселорМиттал Теміртау», г. Теміртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [g.ulyeva@mail.ru](mailto:g.ulyeva@mail.ru)

**Улмаганбетов Нұрсұлтан Асқарович**, магистр металлургии, Инженер-технолог I категории, Лаборатория металлургии ТОО Научно-исследовательского инженерингового центра ERG, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Хайбуллин Рашид Равильевич**, доктор технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Промышленный транспорт имени профессора А. Н. Даниярова», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Umarova Bulbul Askarovna**, doctoral student in «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bulbul186@mail.ru](mailto:bulbul186@mail.ru)

**Ulyeva Gulnara Anatolyevna**, Candidate of Technical Sciences, Leading specialist of the Center for Analytical Control of the Laboratory of Metallurgy and Flaw Detection, JSC «ArcelorMittal Temirtau», Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [g.ulyeva@mail.ru](mailto:g.ulyeva@mail.ru)

**Ulmaganbetov Nursultan Askarovich**, Master of Metallurgy, 1-category Process Engineer, Laboratory of Metallurgy Scientific Engineering Center of ERG, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz](mailto:Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz)

**Khaybullin Rashid Ravilevich**, Doctor of Technical Sciences, Senior lecturer, Department of «Industrial Transport named after professor A. N. Daniyarov», Abylkaas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [medtex2000@mail.ru](mailto:medtex2000@mail.ru)

**Хамид Махкамов**, PhD, Инженерия магистры, профессор, «Машина жасау және құрылыс кафедрасы, Нортумбрия университеті, Ньюкасл-апон-Тайн қ., Ұлыбритания, e-mail: [khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk](mailto:khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk)

**Хамид Махкамов**, PhD, магистр Инженерии, профессор, кафедра «Машиностроения и строительства», Университет Нортумбрия, г. Ньюкасл-апон-Тайн, Великобритания, e-mail: [khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk](mailto:khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk)

**Khamid Mahkamov**, PhD, Master of Engineering, Professor, Department of Mechanical and Construction Engineering, Northumbria University, Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom, e-mail: [khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk](mailto:khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk)

**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)

**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)

**Sherov Karibek**, Doctor of Technical Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru)

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, аға оқытушы, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шаяхметов Ержан Ярнирович**, PhD, ст. преподаватель, Инженерно-технологический факультет, Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Shayakhmetov Yerzhan Yarnarovich**, PhD, senior lecturer, Engineering - technological Faculty, Shakarim University of Semey, Semey, 071400, Kazakhstan Republic, e-mail: [shaiakhmeterzh@mail.ru](mailto:shaiakhmeterzh@mail.ru)

**Шахова Светлана Станиславовна**, техника ғылымдарының магистрі, Инженерлік-технологиялық факультеті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sshakhova.70@mail.ru](mailto:sshakhova.70@mail.ru)

**Шахова Светлана Станиславовна**, магистр технических наук, Инженерно-технологический факультет, Университет имени Шакарима г. Семей, г. Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: [sshakhova.70@mail.ru](mailto:sshakhova.70@mail.ru)

**Shakhova Svetlana Stanislavovna**, Master of Technical Sciences, Shakarim The engineering - technological faculty, University of Semey, Semey, Kazakhstan Republic, e-mail: [sshakhova.70@mail.ru](mailto:sshakhova.70@mail.ru)

**Шумейко Иван Алексеевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Машина жасау және стандартизация» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Шумейко Иван Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Shumeiko Ivan Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department «Mechanical Engineering and Standardization», Faculty engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ivan\\_shumeiko@mail.ru](mailto:ivan_shumeiko@mail.ru)

**Шошай Жансерик**, аға оқытушы, «Инженерия» факультеті, Торайғыров университеті, «Металлургия» кафедрасы, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Шошай Жансерик**, ст. преподаватель, Факультет инженерии, кафедра металлургия, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

**Shoshay Zhanserik**, Senior Lecturer, Faculty of Engineering, Department of Metallurgy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

**Шаяхметова Роза Абдрахманқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚ РМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Шаяхметова Роза Абдрахмановна**, кандидат технических наук, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Shayakhmetova Roza Abdrakhmanovna**, Candidate of Technical Sciences, RSE at the National Center On Complex Processing Materials, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Шаяхметова Роза Абдрахманқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚ РМК, Алматы қ., 050036, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Шаяхметова Роза Абдрахмановна**, кандидат технических наук, РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Shayakhmetova Roza Abdrakhmanovna**, Candidate of Technical Sciences RSE at the National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan, e-mail: [rozozhka@mail.ru](mailto:rozozhka@mail.ru)

**Яцек Циеслик**, техника ғылымдарының докторы, профессор, АГН-УСТ Краков университеті, Краков қ., Польша Республикасы, e-mail: [cieslik@agh.edu.pl](mailto:cieslik@agh.edu.pl)

**Яцек Циеслик**, доктор технических наук, профессор Краковский университет АГН-УСТ, г. Краков, Республика Польша, e-mail: [cieslik@agh.edu.pl](mailto:cieslik@agh.edu.pl)

**Jacek Cieślík**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Krakow University AGH-UST, Krakow, Republic of Poland, e-mail: [cieslik@agh.edu.pl](mailto:cieslik@agh.edu.pl)

**Юрченко Василий Викторович**, PhD, доцент м.а., «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандартизация» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [juvv76@mail.ru](mailto:juvv76@mail.ru)

**Юрченко Василий Викторович**, PhD, и.о. доцента, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [juvv76@mail.ru](mailto:juvv76@mail.ru)

**Yurchenko Vassily Viktorovich**, PhD, Acting Associate Professor of the Department «Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [juvv76@mail.ru](mailto:juvv76@mail.ru)

**Янюшкин Александр Сергеевич**, техникалық ғылым докторы, профессор, мүше-корреспондент SAN VS, академик MAN VS, Машина жасау технологиясы кафедрасы, Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, 428000, Ресей Федерациясы, e-mail: [yanyuishkinas@mail.ru](mailto:yanyuishkinas@mail.ru)

**Янюшкин Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, Член-корр. САН ВШ, академик МАН ВШ, кафедра Технологии машиностроения, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 428000, Российская Федерация, e-mail: [yanyuishkinas@mail.ru](mailto:yanyuishkinas@mail.ru)

**Yanyushkin Alexander Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member SAN VS, academician MAN VS, Department of Mechanical Engineering Technology, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, 428000, Russian Federation, e-mail: [yanyuishkinas@mail.ru](mailto:yanyuishkinas@mail.ru)

**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 рецензирование 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	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 «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZZKX 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*

**Материалы и методы**

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Результаты и обсуждение**

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Выводы**

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Список использованных источников**

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 2 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.
- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

### References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogisches modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogisches 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. Toraiyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

**С. К. Антикеева**

Торайгыров 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 құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің 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 құзіреттерін 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, құзіреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.*

S. K. Antikayeva

Toraighyrov 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_antikayeva@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_antikayeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikayeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikayeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**Публикационная этика научных журналов  
«Вестник Торайғыров университета»,  
«Краеведение», «Наука и техника Казахстана»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

**Ответственность экспертов (рецензентов)**

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

**Ответственность авторов**

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета

номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 08.12.23 ж. жіберілді. Басуға 29.12.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,26 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4166

«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